

Análisis empírico de la IMO 2020 en los SO_x de España

Nombre del estudiant: Lorena Reche Fernandez

Nombre del tutor/a: Jordi Rosell Segura

28/06/20

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL DE GRADO

Curso: 4º

Estudios: Grado en Logística y Negocios Marítimos

Agradecimientos

A mi familia y amigos, por su apoyo incondicional y porque sin ellos terminar esta etapa de mis estudios no hubiera sido posible.

A Jordi Rosell, por su implicación y soporte durante todo el curso para llevar a cabo este proyecto.

Resumen

Como importante medida para la reducción de las emisiones de óxido de azufre en la atmósfera procedente de los buques, la Organización Marítima Internacional ha establecido, a partir del 1 de enero del 2020, una nueva regulación para la flota mundial durante la navegación marítima, fuera de las zonas ECAs (emission control áreas). La misma consiste en la reducción de SO₂, pasando de permitir combustibles con un contenido máximo de azufre del 3,5% hasta un 0,5% actual. Este documento se centra en investigar los efectos que se pueden empezar a apreciar a la atmósfera de 5 ciudades españolas, y así comprobar la efectividad que esperan los expertos. Aparentemente, gracias a la IMO 2020 y según los resultados obtenidos, la concentración de SO₂ en toda la península ha disminuido durante el primer trimestre del año 2020. Así mismo, lo han hecho los diversos gases emitidos por los buques. Este proyecto también presenta recomendaciones para futuros estudios sobre la evaluación de la normativa sin intervención del agente externo de la COVID-19.

Resum

Com a important mesura per a la reducció de les emissions d'òxid de sofre en l'atmosfera procedent dels vaixells, l'Organització Marítima Internacional, a partir de l'1 de gener del 2020, ha establert una nova regulació per la flota mundial durant la navegació marítima, fora de les zones ECAs. La mateixa consisteix en la reducció de SO₂, passant de permetre combustibles amb un contingut màxim de sofre del 3,5% fins a un 0,5% actual. Aquest document es focalitza en investigar els efectes que es poden començar a apreciar a l'atmosfera de 5 ciutats espanyoles i així, comprovar l'efectivitat que esperen els experts. Aparentment, gràcies a la IMO 2020 i segons els resultats obtinguts, la concentració de SO₂ a tota la península ha disminuït durant el primer trimestre de l'any 2020. Així mateix ho han fet els diversos gasos emesos pels vaixells. Aquest projecte també presenta recomanacions per a futurs estudis sobre l'avaluació de la normativa sense la intervenció de l'agent extern de la COVID-19.

Abstract

As an important measure for the reduction of sulfur oxide emissions in the atmosphere from the ships, the International Maritime Organization has established, from the first of January of 2020, a new regulation for the global fleet sailing all seas, outside the ECAs zones (Emission control areas). This consists in the reduction of SO₂, allowing a maximum content of sulfur in the fuel of 0,5%, instead of the previous maximum content which was 3.5%. This document focuses in investigating the effects that we can begin to appreciate in the atmosphere of 5 Spanish cities, and thus verify the effectiveness that the experts expect. Apparently thanks to the IMO 2020 and according to the results, during the first quarter of 2020, the concentration of SO₂ in the whole peninsula has decreased, in addition, the different gases emitted by the ships have also decreased. This project also presents recommendations for future studies for the evaluation of the regulations without the intervention of the external agent of COVID-19.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1 El transporte marítimo versus el transporte terrestre	9
2.2 Normativa de la Organización Marítima Internacional (OMI)	13
2.3 Regulación del Óxido de Azufre y entrada en vigor IMO 2020	14
2.4 Las zonas ECA	16
2.5 Métodos para el cumplimiento de la normativa	18
2.5.1 Utilización de combustible bajo en niveles de azufre	20
2.5.2 Utilización de combustible GNL (gas natural licuado)	21
2.5.3 Utilización del combustible convencional HFO (Heavy fuel oil) con instalación de con sistema de post-tratamiento de gases de escape.	22
2.6 Estudio de los impactos ambientales en zonas ECA o SECA	25
2.7 Conclusiones del marco teórico	27
3. OBJETIVOS	28
4. METODOLOGÍA	29
4.1 Metodología de recogida de datos	30
4.1.1 Elección de las ciudades españolas para analizar	30
4.1.2 Obtención de datos de los gases contaminantes	33
4.2 Metodología de análisis de datos	34
5. RESULTADOS	37
5.1 Media mensuales	37
5.2 Comparación de medias por periodo de tiempo	40
5.2.1 Enero – febrero – marzo – 20 abril	40
5.2.2 Enero – febrero – 14 marzo	46
6. CONCLUSIONES	51
7. LIMITACIONES	53
8. BIBLIOGRAFÍA	54
9. ANEXOS	60

1. INTRODUCCIÓN

Los estudios sobre las actividades que causan un impacto negativo en el medioambiente están muy presentes en nuestro día a día. Es muy importante la investigación para saber cómo mitigar y prevenir los efectos contaminantes provenientes de las actividades que se realizan a diario y, sobretodo, de aquellas que son necesarias para un buen funcionamiento global y que se van a realizar independientemente de los niveles de contaminantes que emitan. Las investigaciones no sólo nos llevarán a saber cómo reducir los efectos, sino poder concienciar a la población de las alteraciones que estamos causando al medio ambiente y qué actuaciones se puede llevar a cabo por parte de la población para su reducción.

La contaminación atmosférica tiene una clara relación en la contribución de la aparición de enfermedades cardiovasculares o respiratorias afectando a diario a la salud de toda la población, aunque no a todos de la misma manera, y reduciendo los años de esperanza de vida. Por ejemplo, las personas que sufren más los efectos son los niños, las personas mayores, las mujeres embarazadas o aquellos con problemas de salud preexistentes. Según la Agencia de Salud Pública de Barcelona, en un estudio realizado el 2017, la contaminación del aire provoca unas 350 muertes prematuras al año y su reducción podrían evitar 650 muertes al año sólo en la ciudad de Barcelona. En referencia esta misma ciudad, y gracias a un estudio de la "European Federation for Transport and Environment", Barcelona es la ciudad europea con mayor polución causada por los cruceros, y estos emiten 4,8 veces más de SO_x del total de óxido de azufre que emiten a la atmósfera la flota total de turismos de circulan por Barcelona (Cerrillo, 2019).

Como es sabido, el transporte ejerce un papel esencial en la sociedad y en el desarrollo económico, siendo al mismo tiempo, uno de los principales contribuyentes al cambio climático, a la contaminación atmosférica y al ruido. También, ocupa grandes áreas de terreno, como por ejemplo en el continente europeo el cual está conectado mediante una gran red de transporte terrestre que ha ido aumentando al paso de los años debido al incremento de volumen de mercancías transportadas.

En el transcurso del proyecto nos centraremos en el cas concreto del transporte marítimo que, según datos de la UNCTAD, la mayor parte del comercio mundial se lleva a cabo mediante el comercio marítimo, para ser más exactos más del 90% se realiza con buques (Matthias et al., 2016). Durante el 2018 se transportaron aproximadamente

un total de 10.700 millones de toneladas, lo que equivale a 792.658.667 TEU de tráfico marítimo de contenedores de 20 pies. Es decir, respecto el 2017, que fue de 758.559.160 TEUs transportados, representa un incremento del volumen del comercio del 4,5% (*Banco Mundial, 2020*). En consecuencia, durante los últimos años el tamaño de los buques ha ido aumentando debido a la creciente demanda del mercado y esta tendencia de evolución de los buques portacontenedores y graneleros parece no haber terminado. (*Baird, 2002*). Concretamente, según el informe de la UNCTAD del 2018 señala que la flota comercial mundial aumentó un 3,2%, llegando a una capacidad de carga de 21.400 TEUs y, en cambio, el actual portacontenedor en funcionamiento más pequeño es de 4.100 TEUs. Sin embargo, debemos tener en cuenta que este crecimiento puede tener una repercusión en el aumento de las emisiones contaminantes y, son las regulaciones las encargadas de que esto no suceda, intentando que los nuevos motores de los buques sean más eficientes y así conseguir una reducción de las externalidades por TEU transportado.

Sin olvidar que, gracias a las grandes dimensiones de los buques, el transporte marítimo es uno de los más eficiente en el uso de energía según la relación de emisiones por cantidad de mercancía y/o de pasajeros transportados. Todo y así, los buques son los principales emisores de óxido de azufre en el aire en las ciudades con influencia del comercio marítimo.

Aunque la contaminación atmosférica provocada por el transporte ha ido disminuyendo durante los últimos años gracias a la entrada en vigor de nuevas normativas, la legislación tiene que ir aumentando su exigencia con respecto al cuidado del medioambiente, y así, gracias a las mejoras tecnológicas y el descubrimiento de nuevos combustibles podemos ir reduciendo las emisiones, cuidar del planeta y aumentar la calidad de vida de la población. Gracias a la entrada de la nueva normativa IMO 2020, se prevé que se reduzcan los niveles de gases contaminantes a las ciudades y principalmente del óxido de azufre, ya que es el principal contaminante que obliga a modificar sus emisiones. Más concretamente, la OMI prevé un descenso del 77% en el total de las emisiones de óxido de azufre, lo que supondrá una reducción anual 8,5 millones de toneladas métricas aproximadamente.

Posteriormente de la entrada en vigor se debe de analizar qué efecto tiene esta regulación sobre la reducción de la contaminación de las ciudades, y observar si se llega a los efectos esperados o seguir investigando para llegar a saber que otras medidas se podrían llevar a cabo para llegar a los objetivos previamente marcados. Ya que, las

previsiones esperadas puede que no sean las finalmente producidas y se deberán de ajustar para llegar a tener un planeta más sostenible.

De esta manera, debido a la introducción de una nueva regulación para las emisiones del transporte marítimo, con el presente trabajo se pretende analizar la regulación que ha regido durante todos los años pasados en el transporte marítimo, que pretende y como afecta la nueva normativa IMO 2020 y, finalmente, observar que efectos está teniendo la entrega en vigor y como se prevé su evolución.

Finalmente, la motivación para la realización del trabajo final de grado sobre un tema medioambiental tiene una clara relación con la preocupación del cambio climático que está sufriendo nuestro planeta, siendo los humanos los únicos capaces de frenarlo y no seguir con la destrucción de los recursos naturales. Además, en el transcurso de los años desde el grado nos han ido formando para concienciarnos del impacto medioambiental que producen las empresas del sector del transporte, mostrándonos como éstas pueden imponer sistemas de gestión para minimizar el impacto o hasta como hacer un estudio para saber que tipo de combustión deben de utilizar la flota de vehículos de la empresa, con el objetivo de maximizar la eficiencia y para la reducción de costes y contaminación. Así que, gracias a la formación que he recibido me he interesado a investigar más sobre el impacto que causa el transporte marítimo en la sociedad y que deben de hacer las empresas del sector para cumplir con las normativas, pensando en que me gustaría encaminar mi futuro laboral hacia los negocios marítimos y puede que algún día sea yo la encargada de que la empresa cumpla con todas las regulaciones.

2. MARCO TEÓRICO

En el transcurso del marco teórico se pondrá al lector en contexto para una mejor comprensión de la nueva regulación que tiene como objetivo analizar este proyecto. Para ello, primero de todo, se hará un análisis de los niveles de contaminación que emite el transporte marítimo en comparación con el transporte terrestre, para dar conciencia de la necesidad de la intervención de las organizaciones del sector marítimo respecto las emisiones y, al mismo tiempo, se dará a conocer cual es la institución encargada de hacerlo y mediante que convenios realiza la prevención.

Una vez conocida la organización marítima internacional y sus convenios, nos centraremos a comprender en profundidad la nueva regulación respecto las emisiones de óxido de azufre de los buques, la IMO 2020 y, además, observar cómo al paso de los años la OMI ha ido intensificando las prohibiciones de polución. Asimismo, de la mano de toda regulación tienen que ir métodos para el cumplimiento al alcance de todas las empresas, así que se explicarán todos los sistemas disponibles para ello.

Finalmente, para terminar el marco teórico, se analizarán las zonas de especial control de las emisiones de los buques. Las cuales se tendrán en cuenta en este proyecto para saber que efectos se han observado en las ciudades cercanas a las áreas respecto la contaminación y el nivel de calidad de vida, posteriormente de la puesta en marcha de una regulación más exigentes. Es decir, serán las zonas de referencia para el análisis de la entrada en vigor de la nueva normativa, esperando que suceda algo parecido en las ciudades cercanas con influencia de la actividad marítima.

2.1 El transporte marítimo versus el transporte terrestre

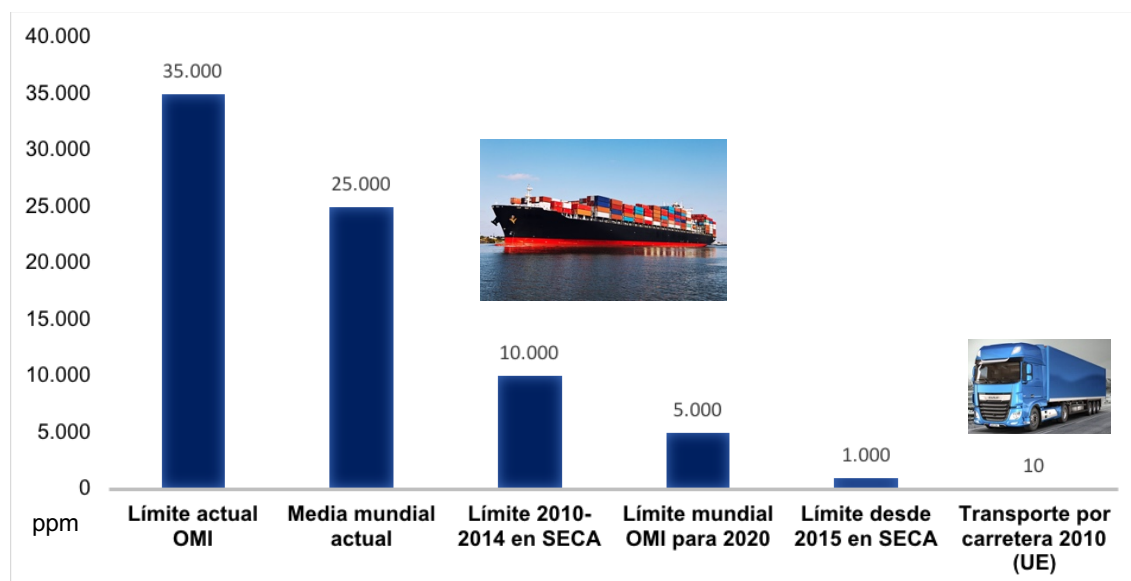
La industria de la navegación marítima hace años que empezó a notar la gran presión para la reducción de las emisiones de gases contaminantes, de igual forma que lo ha notado el sector del automóvil o la industria química, térmica, siderúrgica, ... debido a que, según estudios que realizó *The Guardian* hace unos años estimó que los 15 barcos más grandes del mundo emiten tanta contaminación como unos 760 millones automóviles. También, mostró que los automóviles que conducen unos 15.000 km al año emiten aproximadamente 101 gramos de gases de SO_x y, en cambio, los buques más grandes que suelen trabajar unos 280 días al año durante 24 horas generan 5.200 toneladas de óxido de azufre (*Vidal, 2009*). Además, un buque contamina de diversas

maneras que no lo hacen otras industria, por ejemplo, por el uso de aguas de lastre, por la basura generada, las aguas negras, el uso de lubricante,... de modo que el total de las emisiones de gases contaminantes son mayores que cualquier otra industria.

Como ya hemos dicho, los buques son los principales emisores de contaminación de óxido de azufre, óxido de nitrógeno y partículas en suspensión en el aire de los puertos y, en consecuencia, a las ciudades próximas a ellos. (Schembari et al., 2012) Concretamente, y según datos de la OMI en un estudio del 2014 realizado por Smith et al., 2015, el tráfico marítimo mundial ocasiona el 13% de las emisiones globales de óxido de azufre y el 15% de las de NO_x. En el caso de España, según datos oficiales del Gobierno de España en 2016, el tráfico marítimo es el responsable del 44% de las emisiones en la atmósfera de SO_x, el 40% de NO_x, y el 22% de PM. (Bravo & Buschell, 2019)

Para una comprensión más sencilla del contenido de azufre en el combustible de los modos de transporte comparados anteriormente, en la siguiente imagen (Figura 1) se puede observar una comparativa del contenido de azufre en combustibles marinos versus los combustibles terrestres en el año 2010, sin que se reflejen las emisiones, pero sabiendo que como más contenido de azufre tenga el combustible más gases contaminantes se emitirán.

Figura 1. Comparativa del contenido de azufre y emisiones en combustibles marinos versus combustibles terrestres



Fuente: Elaboración propia con información de The Danish Ecological Council, 2019

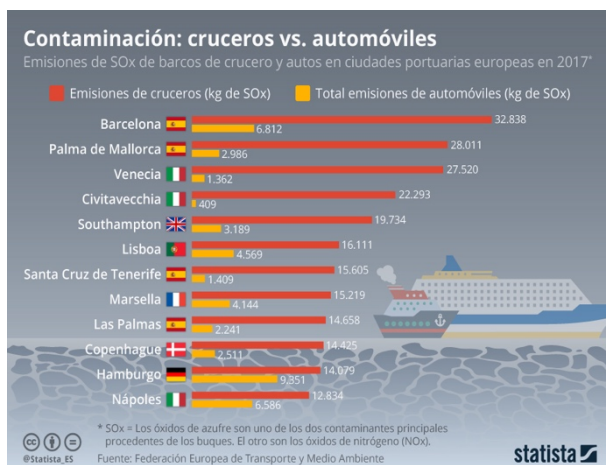
Como podemos observar, los límites del contenido de azufre en el combustible de los buques son mucho menos restrictivos que en el transporte terrestre, siendo el gráfico una muestra de la evolución desde el año 2010. Estos límites han cambiado, y a partir del 1 de enero del 2020, la IMO introdujo un nuevo límite máximo de contenido de azufre y de emisiones de SO_x de los buques. Esta impone un límite de 5.000 ppm (1 mg/L) en el contenido de azufre que, incluso así, seguirá siendo 500 veces superior que el permitido para el diésel en carretera que no ha variado. (*Bravo & Buschell, 2019*) El análisis de la nueva normativa y los efectos observados de esta aplicación en el primer trimestre del año es el principal objetivo de este proyecto, por lo que en el transcurso del trabajo se explicará más rigurosamente la normativa IMO 2020 detallando como modifica las emisiones permitidas respecto el 2019 y todo aquello relacionado con este reglamento.

Hasta el momento se ha tenido en cuenta los buques mercantes, los responsables del transporte de mercancías entre territorios y los facilitadores del comercio, pero no podemos olvidar la otra parte del transporte marítimo que son los cruceros, pequeñas ciudades flotantes impulsadas por combustibles muy sucios.

Según el periódico *The Guardian*, Barcelona tiene el peor puerto de Europa en términos de la contaminación del aire causada por los cruceros de lujo, debido a que en 2017 se registró que los cruceros que entraron en el puerto emitieron 32,8 toneladas de óxido de azufre, seguido de Palma de Mallorca con 28 toneladas, Venecia con 27,5 y Southampton con 19,7 toneladas de SO_x. (*Burgen, 2019*). Estos anteriores países están tan expuestos a la contaminación a causa de los cruceros debido a que son importantes destinos turístico, pero también debido a que los límites de azufre en el combustible no son tan estrictos como en algunas zonas del norte de Europa, que se detallaran más adelante (*Abbasov et al., 2019*).

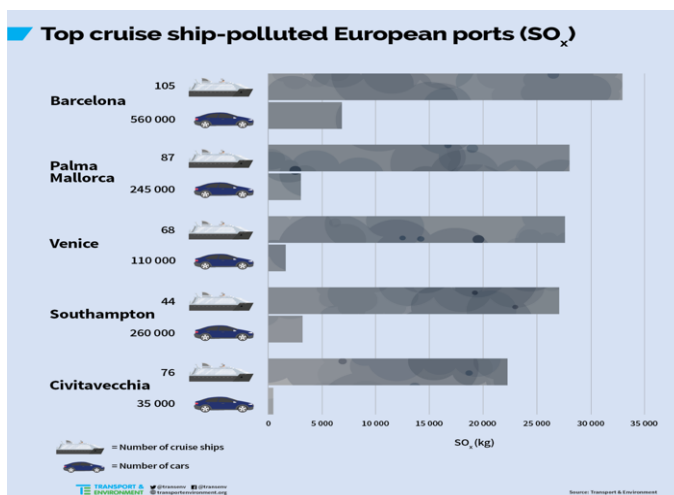
En las siguientes imágenes (*Figura 2 y Figura 3*) podemos observar gráficamente los datos detallados anteriormente de los estudios realizados durante el 2017.

Figura 2. Contaminación de SO_x de cruceros respecto vehículos



Fuente: Statista, 2019

Figura 3. Principales puertos europeos contaminados por los cruceros. Relación cruceros y vehículos



Fuente: Transport & Environment, 2019

Como vemos en las figuras anteriores, la ciudad de Barcelona es la más contaminada por las emisiones de SO_x de los cruceros, y el total de 105 cruceros que visitaron la ciudad el año 2017 emiten una cantidad muy superior que el total de 560.000 vehículos que circularon por ella. Lo mismo pasa en las otras ciudades europeas, y así obtenemos la confirmación que los buques son los mayores contribuyentes de óxido de azufre.

Todo ello es debido a que los buques utilizan fuelóleo pesado para su propulsión, que es un combustible muy sucio y altamente peligroso para la humanidad. Además, la mayoría de los buques no utilizan técnicas de tratamiento para la emisión de los gases de escape como es obligatorio en los sectores industriales que trabajan en tierra, como el transporte terrestre.

Aún así, el transporte marítimo siempre ha sido un facilitador del comercio y teniendo en cuenta que, actualmente, un 80% del volumen de comercio mundial se mueve por mar debemos de imaginar que existe alguna organización que regula la normativa de este sector, tanto de seguridad como de protección del medioambiente (UNCTAD, 2018). Esta es la organización marítima internacional y a continuación, empezaremos a conocer la normativa que regula la contaminación y las regulaciones que ha ido imponiendo hasta comprender la última actualización, la cual afecta al objetivo principal de esta investigación.

2.2 Normativa de la Organización Marítima Internacional (OMI)

A causa del carácter internacional del transporte marítimo, se reconoció que las medidas para mejorar la seguridad en las operaciones en el mar era la elaboración de normativas internacionales en lugar de depender de la acción unilateral de cada país sin tener cooperación con el resto. Debido a este conflicto, en 1948 se celebró una conferencia de las Naciones Unidas en el que se adoptó el Convenio de la Organización Marítima Internacional (OMI), el cual fue el primer organismo internacional especializado en cuestiones marítimas. La OMI regula una lista de convenio que adoptan normas sobre la protección y seguridad marítima (SOLAS), la eficacia de la navegación en cuanto a la formación y titulación de la gente de mar, y la más importante para el presente trabajo, la prevención y control de la contaminación ocasionada por los buques (MARPOL). (OMI, 2019). Cabe decir que, la OMI es una rama especializada de la Naciones Unidas - ONU -, la cual estudia y lleva a cabo normativas globales sobre la salud, la seguridad y el cuidado del medio ambiente con el principal objetivo de mejorar el bienestar de las personas.

El Convenio MARPOL, para prevenir y reducir al mínimo la contaminación procedente de los buques, tanto por accidentes como procedente de las operaciones diarias, fue adoptado el 2 de noviembre de 1973 pero no entró en vigor hasta el 1978. El Convenio ha sido objeto de diversas actualizaciones mediante la imposición de enmiendas para introducir nuevas regulaciones más estrictas o que antes no se habían tenido en cuenta a partir de mejoras tecnológicas al paso de los años. (OMI, 2019)

Actualmente, dentro del MARPOL existen seis anexos técnicos especializados en la prevención de la contaminación de determinadas circunstancias a nivel internacional, y en la mayoría de los anexos existen zonas especiales en las que se realizan controles

operacionales más estrictos en comparación con el resto. En este caso, para la investigación de la nueva normativa referente a las emisiones de óxido de azufre nos debemos de centrar en el Anexo VI del Convenio MARPOL. Este anexo, que impone las reglas para prevenir la contaminación atmosférica ocasionada por los buques, se decidió adoptar durante una de las modificaciones del convenio en 1997 pero no fue hasta el 19 de mayo del 2005 que entró en vigor. El Anexo establece los límites globales de emisiones de óxido de azufre, óxido de nitrógeno y materias particulares contaminantes, prohibiendo las emisiones de sustancias que agotan el ozono, y designa algunas zonas de control de emisiones con normas más estrictas respecto la emisión de los contaminantes anteriores. (OMI, 2019)

2.3 Regulación del Óxido de Azufre y entrada en vigor IMO 2020

La primera revisión del Anexo VI se realizó el 19 de mayo del 2005, donde el Comité de protección del medio marino (MEPC) acordó revisar el Anexo con el objetivo de reducir los límites de emisiones máximas y fue desde entonces que, se han ido endureciendo las regulaciones progresivamente mediante enmiendas (OMI, 2019).

En esta primera regulación se limitó la cantidad de azufre contenida en los combustibles marinos y fue del 4,5% y, paralelamente, el reglamento introdujo las áreas de control de emisiones de azufre (SECA), en la que los barcos tenían la obligación de quemar combustible con un porcentaje máximo de 1,5% de azufre (Gard, 2004). Posteriormente, se consideró que el reglamento no estaba teniendo el efecto deseado y en 2008 se produjo una nueva enmienda donde se redujo aún más el contenido de azufre pasando a un límite máximo de 3,5%, el cual entró en vigor en 2012 en navegación por aguas fuera de las zonas ECA. Finalmente, en 2010 se decidió que dentro de las zonas especiales el combustible podía contener hasta un máximo de 1% de azufre. (Topali, 2019)

Hasta el momento los niveles de emisiones de azufre no se habían vuelto a modificar y es en octubre del 2017 cuando la OMI aprueba una nueva regulación que pasará a estar en vigor el 1 de enero del 2020. En esta nueva normativa obligará a que todos los barcos, independientemente de la bandera y en navegación por aguas de todo el mundo, reduzcan sus niveles de azufre en el combustible marino. (Nikopoulou, 2017) Los niveles de azufre en el combustible deberán de reducirse hasta un 0,5%, mientras estén navegando fuera de las zonas ECA, y hasta el 0,1% dentro de estas zonas, todo

y que esta última limitación dentro de las áreas de control entró en vigor en 2015 y no será nada nueva para las navieras (Chrysouli, 2018).

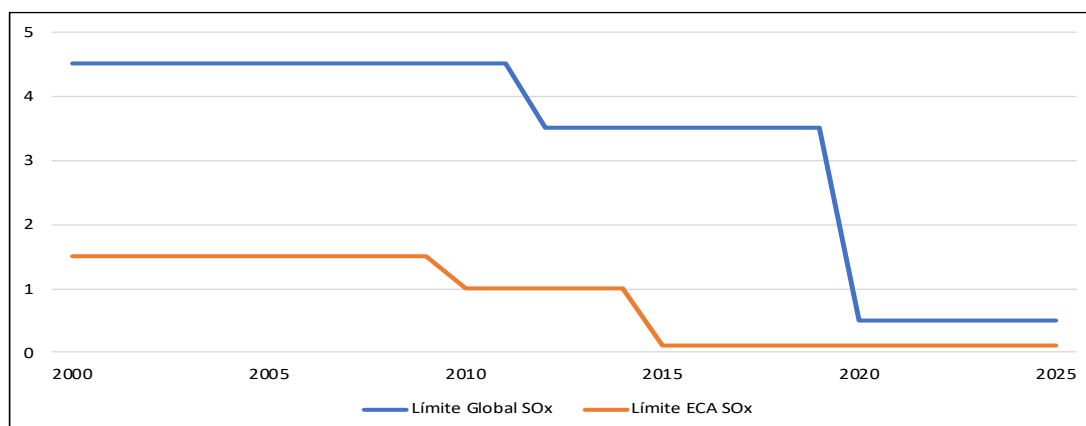
A continuación, podemos observar una tabla resumen con los límites que ha ido aplicando la OMI a lo largo de la década y también un gráfico para una comprensión más rápida y de manera visual, esto es en la tabla 1 y en la figura 4:

Tabla 1. Limite de emisiones de SO_x

Límite de las emisiones de SO _x fuera de las zonas ECA	Límite de las emisiones de SO _x dentro de las ECA
4.50% m/m hasta el 1 de enero de 2012	1,50% m/m hasta el 1 de julio de 2010
3,50% m/m a partir del 1 de enero de 2012	1,00% m/m a partir del 1 de julio de 2010
0,50% m/m a partir del 1 de enero de 2020	0,10% m/m a partir del 1 de enero de 2015

Fuente: Elaboración propia con información IMO.org, 2019

Figura 4. Disminución progresiva de las emisiones de SO₂ impuestas por la OMI



Fuente: Elaboración propia con datos de IMO.org, 2019

Como podemos observar, tanto en la gráfica como en la tabla, las emisiones de SO_x permitidas fuera de las zonas ECA siempre han sido bastante más elevadas hasta llegar al punto del año actual que se empiezan asemejar, con un contenido máximo de azufre en combustible de 0,5% a nivel global y de 0,1% en navegación por las zonas ECA.

2.4 Las zonas ECA

Posteriormente de explicar los límites de emisiones de óxido de azufre para los buques en el mundo nos centraremos a conocer en más profundidad aquellas zonas con controles más rigurosos en los niveles de contaminación.

Las áreas de control de emisiones de óxido de azufre (SECA) están reguladas a efecto de la regla 14 del Anexo VI del MARPOL. Estas son zonas europeas de especial nivel de protección para la contaminación marítima, donde los niveles de emisiones de azufre están estrictamente controlados en comparación con otras zonas marinas. Estas zonas fueron creadas a consecuencia de los problemas provenientes de las lluvias ácidas en el norte de Europa por la contaminación atmosférica y la OMI designó dentro de la UE como zonas SECAs: el Mar Báltico (en vigor desde mayo de 2006), el Mar del Norte y el Canal Inglés (en vigor desde noviembre de 2007). (*Carlier, 2011*)

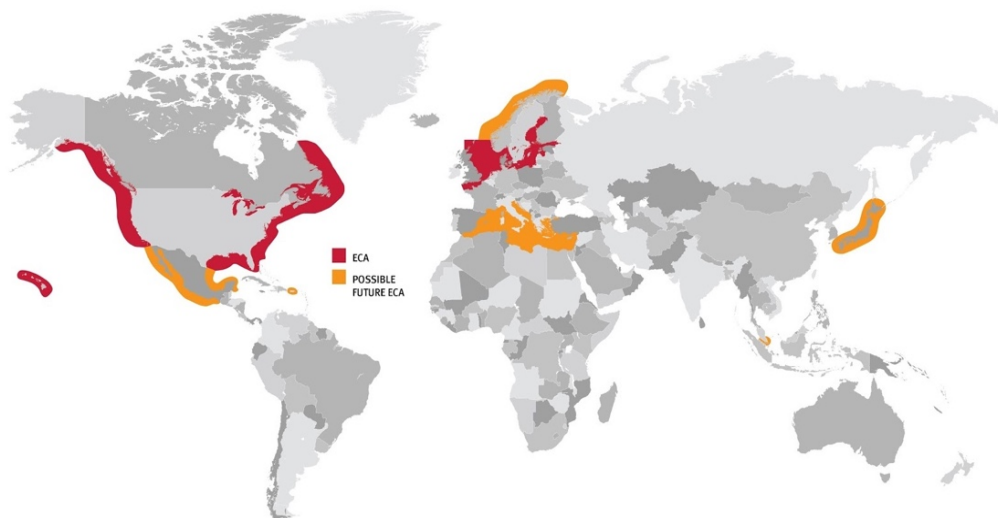
Posteriormente, se crearon las ECAs (Áreas de Control de Emisiones), que son zonas de controles de emisiones más estrictas y engloban a más países fuera de la Unión Europea. En cuanto a la vigilancia y restricción se tiene en cuenta el control de las emisiones de SO₂, NO₂, CO₂ y partículas en suspensión, pero el máximo de contenido de azufre de los carburantes seguirá siendo de 0,1% igual que las SECA.

Por lo que, en el transcurso del proyecto solo se hablará de las zonas ECAs porque se engloban más áreas (Europa y América) y se tiene el control de más tipos de emisiones contaminantes (SO_x, NO_x, PM). En este caso los países y zonas que actualmente están adheridas a esta regulación son (*González-Cancelas, 2013*):

1. Zona del mar Báltico (solo restricción para los SO_x) - entró en vigor en mayo del 2006 -.
2. Zona del mar del Norte (solo restricción para los SO_x) - entró en vigor noviembre del 2007 -.
3. Zona de Norteamérica (restricción para SO_x, NO_x y PM) - entró en vigor el 1 de agosto del 2012 -.
4. Zona del mar Caribe de los Estados Unidos (restricción de SO_x, NO_x y PM) - entró en vigor el 1 de enero del 2014 -.

A continuación, podemos observar una imagen (*Figura 5*) de las actuales zonas ECA y las futuras posibles zonas que se está estudiando su entrada:

Figura 5. Actuales y futuras zonas ECA



Fuente: Naucher.com, 2014

Como podemos percibir en la imagen una de las posibles y futuras zonas ECA sería el mar Mediterráneo. La Comisión Europea ha empezado analizar la posibilidad de convertir el Mediterráneo como una zona más de estricto control de emisiones de óxido de azufre, lo que supondría un requisito de exigencia de cinco veces más que el actual límite que se empezó aplicar el 1 de enero del 2020 para toda la flota mundial, pasando del 0,5% al 0,1%.

Desde el Ministerio de Fomento del estado español el señor Pedro Saura, secretario de infraestructura, mostró ser partidario de formar parte de la zona ECA y esto lo hizo en una conferencia internacional sobre la reducción de la contaminación aérea provocada por los buques en el Mediterráneo. Sin embargo, el apoyo lo condicionó a que todos los países que están en contacto con el Mar Mediterráneo respaldasen la entrada, ya que como sabemos el Mediterráneo está formado por países europeos y africanos. Saura argumentó que, si la iniciativa es solo de la Unión Europea, sin que se suscriban los países de la ribera africana, no se originaría ningún beneficio en la reducción de las emisiones y además se perjudica a los puertos europeos y a la industria marítima. El perjuicio lo justifica a la proximidad de las distintas opciones de rutas que encontramos en el Mediterráneo y la facilidad de desviar el tráfico hacia zonas de menos regulación. Esto causaría una alteración de las rutas con un impacto negativo en la economía española hacia un beneficio de la ribera africana, y además, planteó que la medida se debía adaptar dentro de la Organización Marítima Internacional y no de la Unión Europea porque, por ejemplo, a lo largo del Mediterráneo y el Estrecho de Gibraltar

transcurre gran parte del tráfico marítimo internacional y es una zona donde se provocaría una contradicción de regulaciones, ya que en la zona africana el nivel de emisiones sería de 0,5% y en territorio español de 0,1%. (Cerrillo, 2019),

Todas las áreas que quieran formar parte de las zonas ECA deben de emitir una solicitud a la Organización Marítima Internacional. Para que se apruebe dicha solicitud se deberá de mostrar la necesidad de prevenir, reducir y controlar las emisiones de SO_x, NO_x y PM de procedencia de los buques con más estricta regulación que la de aplicación mundial, como por ejemplo los riesgos del aumento de lluvias ácidas y un elevado porcentaje de muertes prematuras. Más concretamente podemos consultar el Apéndice III del Anexo VI del MARPOL donde aparecen los criterios específicos para la solicitud. (OMI, 2006)

2.5 Métodos para el cumplimiento de la normativa

Con la combustión interna, que es en el momento de la quema del combustible, es cuando se produce la emisión de las distintas emisiones de gases. Es debido a que, el principal hidrocarburo utilizado como combustible es el fueloil pesado, derivado de residuo de la destilación del petróleo crudo, el cual produce grandes emisiones de óxidos de azufre, entre otros más tipos de contaminantes (OMI, 2019). Es decir, las emisiones de SO_x van asociadas a la cantidad de contenido de azufre presente en el combustible. Es por este motivo que, los buques utilizarán distintos tipos de fueloil dependiendo de la zona de navegación, por ejemplo, cuando se produce la entrada en áreas de especial protección de emisiones se utilizará uno con menos cantidad de azufre.

Antes de entrar en una ECA, se deberá de haber cambiado totalmente el fueloil utilizado en las máquinas principales y auxiliares, habiendo limpiado los tanques de combustible y, al mismo tiempo, se deberá de escribir el procedimiento que indique en que momento de la navegación se realiza y que cantidad combustible se utiliza porque en caso de control se pueda mostrar, es decir, anotar cuándo y cuánto. Del mismo modo, una vez fuera de las zonas ECA se volverá a realizar el procedimiento inverso, se hará el cambio hacia el combustible en alto nivel de azufre y que tiene un coste menor, debido a que ha tenido un menor tratamiento en las refinerías. Más concretamente en 2011, el combustible residual costaba 582\$ y el destilado con bajo nivel de azufre 841\$, lo que supone unos 260\$ por tonelada. (Chang, 2012)

Los armadores deben tener claro que la tripulación, en cada operación de cambio de combustible hacia uno con más o menos cantidad de azufre, debe de realizar el registro de las cantidades de fueloil reglamentario que lleven a bordo, la fecha, hora y situación del buque, tanto al finalizar como al comienzo de la operación. (OMI, 20019)

Para la entrada en vigor de la nueva normativa IMO 2020, que empezó el 1 de enero del 2020 y es de aplicación obligatoria para todos los buques y en todos los mares fuera de las zonas especiales, existen diferentes opciones viables para el cumplimiento de los límites máximos de emisiones de azufre. Todo y que, como anteriormente las zonas ECA ya requerían combustibles con menos niveles de azufre, muchas de estas opciones ya se han empezado a utilizar hace años.

La elección que finalmente se elija llevarse a cabo dependerá de la posición estratégica que quiera adquirir el propietario del buque, ya que cada una tiene unos costes y unos efectos medioambientales distintos. Por lo tanto, la elección afectará tanto a la imagen empresarial que quiera ofrecer la empresa como valores comerciales, como a los balances económicos internos (Olaniyi, 2019). Cabe decir que, la dependencia hacia el petróleo en el transporte marítimo es casi total, ya que las alternativas hacia el uso de biocombustibles (como bioetanol y biodiesel) actualmente es poco satisfactoria, debido a que, los buques no pueden quemar únicamente este tipo de combustibles para realizar largas rutas como lo hacen los mercantes y además por los riesgos secundarios derivados del cultivo de las materias primas necesarios. También, las opciones como la energía solar o eólica se están estudiando y desarrollando para que su utilización se realice con éxito como un sustituto total y no complementario (González-Cancelas, 2013).

Según Orive, A. en su estudio del 2013, las navieras disponen de tres métodos para cumplir con los nuevos límites de emisiones de azufre en el ambiente. La elección del método de cumplimiento no es sencilla para el armador, ya que cada uno implica aspectos operacionales y técnicos distintos acompañados de diferentes costes fijos y variables, es decir todo forma parte de decisiones estratégicas que se deberá de tomar con antelación. (Nikopoulou, 2017) En cualquier caso, el método finalmente utilizado deberá de ser aprobado por el Estado de abanderamiento, el cual rige los requisitos necesarios sobre las medidas necesarias para garantizar la seguridad y así conceder la nacionalidad al buque. (OMI, 2019)

La Organización Marítima Internacional, según sus estudios, anunció los tres métodos que actualmente disponen las navieras para el cumplimiento de la reducción de las emisiones de óxido de azufre aplicado a partir del 2020 en todos los mares, que es de 0,5%, y del 0,1% para las zonas ECAs. Las alternativas posibles para aplicar son:

2.5.1 Utilización de combustible bajo en niveles de azufre

Esta opción consiste en el uso de un combustible que cumpla con los requisitos más estrictos de un bajo contenido de azufre y que las emisiones de SO_x sean igual o por debajo del 0,5%. Para la preparación hacia el uso de los nuevos combustibles se requiere una previa limpieza de los tanques y durante el cuarto trimestre del año 2019 – octubre, noviembre y diciembre – una gran cantidad de buques fueron sacados de servicio para su rigurosa limpieza y preparación. (ABC, 2019).

Este cambio de normativa requiere también un cambio en las refinerías en el proceso de producción del nuevo combustible para el abastecimiento de toda la flota, ya que serán fuelóleos con menos nivel de azufre presente y deberán de sufrir otro tipo de tratamiento a través de cambios en los destilados con el uso de nuevas técnicas de desulfuración. El cambio ha supuesto un desafío para las refinerías, con grandes inversiones en investigación para que los combustibles no superen los límites de azufre y las instalaciones estén preparadas, tanto para el suministro del nuevo combustible como del hasta ahora mayoritariamente utilizado con alto contenido de azufre, ya que, como veremos más adelante éste último estará disponible y se seguirá utilizando en aquellos buques que utilicen *scrubbers*. Los combustibles utilizados son los llamados MGO (Marine Gas Oil), MDO (Marine Diesel Oil) o VLSFO (Very Low Sulphur Fuel Oil). (Van at al., 2019)

Cepsa, empresa líder del sector energético en España con desarrollo de su actividad en los 5 continentes, en 2019 ya empezó a ofertar los combustibles adaptados a la normativa IMO 2020. Antes de su utilización, para corroborar su seguridad y eficiencia operativa, se realizó una prueba a 9 buques durante aproximadamente 60 días y se corroboró que es un combustible eficaz como el de alto contenido de azufre. (Cepsa, 2019)

Para el control del combustible se comienza desde que el proveedor abastece el buque y es en este momento cuando el suministrador debe de declarar ante el buque los niveles de azufre que contiene el combustible. En caso de que se realizara un control y

se detectara que las emisiones de óxido de azufre son superiores, la responsabilidad recaería sobre el proveedor porque se ha comprometido en que éste cumplía con la normativa. La tripulación deberá de chequear y supervisar que solo se suministre el combustible estipulado y no se mezcle con otros con un mayor nivel de azufre, y así evitar la pérdida de control de las emisiones.

2.5.2 Utilización de combustible GNL (gas natural licuado)

Según la compañía multinacional de extracción de petróleo y gas natural “Shell”, en sus declaraciones en 2016 expuso que, el GNL es aquel que tiene con un impacto ambiental menor, ya que prácticamente no emite óxido de azufre y consigue la reducción de otros tipos de emisiones contaminantes como el óxido de nitrógeno y las emisiones de gases de efecto invernadero, abriendo la alternativa hacia una movilidad marítima más sostenible, es decir más económica y limpia. Cabe decir que, como desventajas, se destaca el gran espacio necesario para su almacenamiento en los buques, lo que provoca una pérdida de espacio de carga y en consiguiente un aumento del coste por unidad transportada y, por otro lado, la necesidad de la reforma de las infraestructuras en los puertos para garantizar el aprovisionamiento de todos los buques demandantes.

Para la utilización del gas natural las navieras tendrán dos opciones: podrán adaptar los buques ya en propiedad, los que supondrá un elevado coste debido a que son estructuras totalmente diferentes que para el uso del fueloil convencional y deberá de reformarse mucha parte mecánica del buque perdiendo espacio de carga o, por otro lado, tendrán la opción de compra de nuevos buques ya preparados para el funcionamiento con gas. En los dos casos tendremos elevados costes de inversión, lo que deberá de realizarse un estudio de amortización teniendo en cuenta las posibilidades financieras de la empresa.

Desde hace años la ciudad de Barcelona está impulsando la utilización del gas natural como combustible limpio para la movilidad, y según declaraciones del puerto de Barcelona es un combustible que reduce un 80% los óxidos de nitrógeno (NO_x) y no emite óxidos de azufre (SO_x), con lo cual las navieras conseguirían cumplir con la regulación vigente y estar preparadas para cualquier modificación más estricta o para la entrada en zonas ECA. Según estudios del Puerto de Barcelona se prevé que para el 2030 el 30% de los buques de pasaje y el 15% de los mercantes sean propulsados por gas, y en el mismo puerto también se sigue apostando por la utilización del GNL en la

maquinaria de las terminales y en el transporte terrestre, y así seguir creciendo como un “GreenPort”. Actualmente, el Puerto de Barcelona es el primer hub de abastecimiento de GNL del Mediterráneo, y realiza las operaciones de bunkering de forma regular a los dos primeros cruceros del mundo totalmente propulsados por gas – l’AIDAnova y el Costa Esmeralda –.

En la jornada sobre “El impacto de la normativa IMO 2020 en el sector marítimo” que se realizó en Barcelona el pasado mes de noviembre del 2019 en mano de la Asociación de Consignatario de Barcelona, la naviera CMA CGM expuso su proyecto hacia la utilización del GNL en la totalidad de sus buques, ya que actualmente dispone de 9 portacontenedores propulsados totalmente con gas y, además, posee el portacontenedores propulsado con este combustible más grande del mundo. También, según su ponencia, CMA es una empresa comprometida con el cambio climático, ya que confirmó que los altos costes de inversión y cambio en el combustible se hacen para llegar a tener un transporte más ecológico.

En la jornada se dijo que este tipo de combustible provocaría una reducción del 99% del óxido de azufre y de las partículas en suspensión, un 20% de la reducción de CO₂,... y que supondría el mayor acontecimiento de la industria marina con una mejora significativa en la salud pública y el medioambiente.

2.5.3 Utilización del combustible convencional HFO (Heavy fuel oil) con instalación de con sistema de post-tratamiento de gases de escape.

La última opción existente para limitar las emisiones y cumplir que la nueva regulación es con la instalación de *scrubbers*.

Los scrubbers son limpiadores para los gases emitidos y son depuradoras que permiten al buque el uso de combustibles con altos niveles de azufre. Mediante un sistema cerrado con agua de mar permite eliminar gran cantidad del óxido de azufre que se produce con la quema de combustible y así se emitirán unos gases más limpios de SO_x (*Lindstad, 2017*). El agua utilizada se mezcla con productos químicos durante el proceso de neutralización de los óxidos de azufre y, posteriormente, esta es descargada directamente al océano, por lo que, en lugar de contaminar el aire se contaminará más los mares y seguiremos teniendo problemas medioambientales. La instalación de las

depuradoras es una elección atractiva para las navieras porque el combustible bajo en azufre tiene un precio de mercado más elevado. Sin embargo, existen algunas dudas y se dice que este aparato no solventa la emisión de CO₂, que es el principal contaminante causante del efecto invernadero. (Krakowski, 2017)

Posteriormente de la explicación de los tres métodos efectivo que podrán utilizar las navieras para el cumplimiento de la regulación IMO 2020, a continuación, podemos observar una tabla resumen (Tabla 2) de las emisiones atmosféricas de los tipos de combustible marino usuales.

Tabla 2. Emisión de contaminantes según tipo de combustible

Tipo de combustible	SO _x (g/kWh)	NO _x (g/Wh)	PM (g/kWh)	CO ₂ (g/kwh)
Fuel Residual (3.5% azufre)	13	9-12	1.5	580-630
Diesel Marino (0.5% azufre)	2	8-11	0.25-0.5	580-630
Gasoil (1.1 azufre)	0.4	8-11	0.15-0.25	580-630
Gas Natural (LGN)	0	2	0	430-480

Fuente: Revista Transporte y Territorio - González-Cancelas et al., 2013

De este modo podemos ver que la utilización de GNL es el más respetuoso con el medio ambiente y, todo y que supone grandes costes de inversión para las navieras y cambios en las infraestructuras de los puertos, ya que actualmente no disponen es estas todas las comunidades portuarias, los avances tecnológicos deberían de ir hacia la utilización del gas natural licuado para la eliminación al máximo del fuel con contenido de azufre. Además, para futuras regulaciones para tratar de reducir más las emisiones de gases contaminantes sería el combustible más adecuado, siempre pensando con lo que actualmente tenemos en el mercado.

Por otro lado, aunque las limitaciones aportan importantes beneficios medioambientales a nivel mundial, las más estrictas regulaciones en las zonas ECAs también conlleva desventajas para dichas áreas en concreto. Los buques antes de entrar deberán de cambiar el combustible, por lo que supondrá un aumento en los costes y se verá repercutido en un aumento del precio del flete que perjudicará a los clientes. Tanto las navieras como los clientes no van a querer asumir el aumento de costes y para remediarlo podría suponer un posible desvío de las rutas de transporte a otros países fuera de las ECAs y, en consecuencia, los puertos interiores sufrirán una pérdida de competitividad al encontrarse sin mercado o, por otro lado, se podría ver modificado los

modos de transporte que hacen llegar las mercancías en estos puntos concretos, pasando a un aumento de las entregas por vía terrestre. *(González-Cancelas, 2013)*

Asimismo, con la entrada de nuevas regulaciones siempre encontramos acompañado diversas incertidumbres que no podrán ser resueltas hasta que se empiece aplicar y se vea el efecto y respuesta de los agentes implicados, como pasa en cualquier novedad regulatoria o cambio de costumbres, todo y haber estudios que aportan mucha certeza a las posibles problemáticas. En este caso, la aplicación de la IMO 2020 viene acompañada de un alto nivel de incertidumbre respecto la disponibilidad del combustible bajo en niveles de azufre para toda la flota mundial y también de cómo va a fluctuar el precio del combustible en el mercado. Todo y los estudios que nos aseguran la disponibilidad de suministro para todos los buques, lo que si es una realidad que no es posible indicar del todo cierto el precio de mercado ni cómo serán sus variaciones, debido a que el valor se ve afectado por muchos factores externos que actúan a diario, pero según estudios se predice que el combustible con menos cantidad de azufre tendrá un precio de mercado más elevado que el combustible actual. *(Kuehne+Nagel, 2019)*

El coste del aumento del combustible no lo va a asumir la naviera, ya que no es la solicitante del transporte, en este caso lo deberá de asumir el cliente que utiliza el medio de transporte para el movimiento de las mercancías y el que actualmente paga el combustible y las variaciones de precio. Como ya es de costumbre, todo contrato de transporte tiene un porcentaje de variación en el precio del combustible, de manera ascendente o descendente, mediante el parámetro del BAF (Bunker Adjustment Factor) y de esta manera, será como las navieras seguirán modificando el precio del flete según el precio del combustible en el mercado.

Teniendo en cuenta las incertidumbres o problemas que puedan aparecer a raíz de las normativas hace falta decir que, las regulaciones para la reducción de la contaminación son esenciales para la salud y el medio ambiente y ayuda a que la industria naval esté en constante proceso de investigación e innovación de técnicas para una mejora de la competitividad en el mercado, desarrollando una industria eficiente y comprometida con el planeta. *(González-Cancelas, 2013)*

2.6 Estudio de los impactos ambientales en zonas ECA o SECA

Desde el inicio del proyecto se ha empezado a plantear investigar que modificaciones se observan en los niveles de óxido de azufre (SO_x) en el aire de distintas ciudades españolas posteriormente de la aplicación de la normativa IMO 2020, la cual modifica las emisiones de este contaminante reduciendo de un límite permitido del 3,5% hasta el 0,5%. Como base de referencia para el desarrollo de este proyecto tendremos en cuenta los efectos ya visibles en las zonas ECAs, las cuales desde el 2015 los buques tienen un límite de emisiones de óxido de azufre del 0,1%, y así podremos plantear que vamos a poder observar un efecto parecido a todas las ciudades portuarias del mundo.

Como hemos comentado anteriormente, desde enero del 2015 en las zonas ECAs se aplicó un nuevo límite más estricto en comparación con las áreas externas a ésta, el cual obligaba a una reducción del azufre en el combustible de máximo un 0,1% en comparación con el anterior valor permitido del 1%. Con la implementación de nuevas regulaciones siempre se espera poder observar mejoras así que, posteriormente de la entrada en vigor de las zonas ECAs, los expertos realizaron estudios para observar qué efectos tiene esta normativa sobre la calidad de vida de los humanos y del medio ambiente, es decir, como se ven modificados los niveles de contaminación en las ciudades que tratan con la industria marítima.

En un estudio realizado a bordo de un buque en el mar Báltico, *Zetterdhal et al. (2016)*, una de las áreas de control de emisiones de azufre, encontraron que un barco que utilizaba fuelóleo pesado (HFO) y, posteriormente, estuvo obligado a utilizar un combustible marino residual bajo en azufre para cumplir con la normativa, se observó que redujo la contaminación por SO_x en un 80%. Además, se dio una reducción de las partículas en suspensión que también son nocivas para la salud de la población y tienen una alta presencia en las ciudades industriales.

Sún Tran Y Mölder (2012), observaron que la calidad del aire en la costa de Alaska, zona de emisiones controladas del Norte de América, había mejorado y, todo gracias a la reducción de las emisiones de SO_x de los buques en un 22%. Concluyen que hay una mejora potencial en la calidad del aire y de los habitantes de esta zona, ya que hay una reducción en los compuestos de azufre y nitrógeno de las emisiones de los buques. Se especifica que, donde hay más notoriedad es en el Golfo de Alaska, lugar por el cual hay una mayor concentración de buques debido al paso de las rutas marítimas internacionales.

Otro estudio que encontramos es el que fue realizado por *Hammingh et al. (2007)*, referente a distintas ciudades holandesas y la efectividad de las medidas internacionales de control de emisiones, y que tuvieron en cuenta que el volumen de movimiento del comercio marítimo se vería incrementado al paso de los años. Predijeron que, entre los años 2000 y 2020, habría una reducción aproximada del 8% de las emisiones de dióxido de azufre más un 45% de las de óxido de nitrógeno, teniendo en cuenta que en el 2005 había un 20% de concentración de azufre en la calidad del aire. Llegado al 2020 es cuando se debería de volver hacer un estudio para la comparación de estos valores esperados y los que finalmente se han obtenido, ya que se preveía que la entrada a una zona de control mejoraría mucho la calidad del aire de esta zona y así debería de suceder igual que en los casos anteriormente comentados.

El puerto de Shanghai, siendo el puerto de contenedores más grande del mundo, sufre importantes problemas de contaminación del aire local y regional causados por las emisiones de los barcos. Para resolver estos problemas, el Ministerio de Transporte de China, a partir del año 2016 designó las aguas del delta del río por donde se adentran los buques hasta el puerto como zonas ECAs para controlar las emisiones. En esos momentos obligó a que los buques a usaran un combustible con un contenido de azufre no superior a 0,5% en masa, lo que ahora impone la IMO 2020. Para comprobar si la política de implementación de un área de control de emisiones en Shanghai reducía la concentración de óxido de azufre en la ciudad se ha realizado un estudio que ha sido recientemente publicado por *Zhang et al. (2020)*. Posteriormente de los estudios, los expertos afirman la efectividad de la política ECA en el puerto de Shanghai, la cual contribuye a la reducción de la concentración de SO₂, específicamente disminuyó al menos 0,229 ug/m³ por día en promedio.

Como hemos podido percibir en la lectura de distintos análisis realizados en ciudades posteriormente a la entrada en una zona ECA, las emisiones en estas áreas siempre se han visto reducidas provocando una mejora en la calidad del aire de las ciudades y, en consecuencia, un aumento de la calidad de vida de las personas que viven en estas zonas. Así que, se espera que la nueva regulación aplicada por la OMI en 2020 origine unos efectos parecidos a estas zonas, pero alrededor del mundo. Una vez conocida la normativa, y los efectos ya vistos en algunas zonas empezaremos nuestra parte de investigación para el caso concreto de España.

2.7 Conclusiones del marco teórico

Como un pequeño resumen de todo el anterior marco teórico se desprenden los siguientes hechos e ideas en forma de conclusión:

- El transporte marítimo es el principal facilitador del comercio mundial, pero también es el responsable de la mayor parte del SO_x presente en la atmósfera de las ciudades. Más concretamente, los miles de coches presentes en las ciudades no emiten ni una pequeña parte de todos los buques que entran en puerto durante un año.
- La nueva normativa de la Organización Marítima Internacional, entrada en vigor el 1 de enero del 2020, regula sólo las emisiones de óxido de azufre de toda la flota mundial y en aguas de cualquier parte del mundo, excepto dentro las zonas ECAs que existe una normativa más rigurosa y, en ellas, ya se han podido observar los beneficios medioambientales de la obligación de reducción de emisiones. La recién regulación, IMO 2020, obliga a reducir las emisiones de SO_x en el gas emitido en la combustión, pasando de permitir un contenido máximo de azufre en el combustible de 3,5% a un 0,5%
- Para el cumplimiento de la regulación, las navieras disponen de distintas opciones para no superar los límites máximos de emisiones de azufre, y estos son: utilización de un nuevo combustible bajo en niveles de azufre, utilización de gas natural licuado, o instalación un sistema de tratamiento de los gases de escape (*scrubbers*) para reducir las emisiones utilizando el HFO convencional.
- La estricta normativa frente la contaminación de los buques en las zonas ECAs ya han empezado a tener sus efectos beneficiosos para la sociedad. ¿Se podrán observar unos efectos parecidos en España gracias a la IMO 2020 que afecta a todos los mares alrededor del mundo?

3. OBJETIVOS

El objetivo general por el cual se realiza este proyecto de investigación tiene una clara relación con la preocupación del cambio climático que está sufriendo nuestro planeta. Así que, centrándonos en el medio de transporte que mueve más cantidad de mercancía por todo el mundo y emite una gran cantidad de emisiones contaminantes, se ha planteado un estudio de la nueva normativa que entró en vigor éste 2020 por la Organización Marítima Internacional, donde se regulan las emisiones de óxido de azufre de los buques. De manera que se han plantado las siguientes investigaciones y cuestiones como objetivos del proyecto:

- Análisis la nueva normativa IMO2020. ¿Que tipo de contaminante regula, a quién afecta, cómo afecta, que deberán de hacer las navieras para cumplirla y poder seguir con la actividad económica?
- ¿Qué comportamientos se pueden observar en los niveles de SO_x posteriormente de la entrada en vigor de la regulación? ¿Se puede observar un importante cambio en la tendencia de los niveles en las ciudades portuarias?
- Debido a que la normativa solo regula las emisiones de óxido de azufre y no tiene en cuenta los demás contaminantes emitidos como el óxido de nitrógeno ni las partículas en suspensión, ¿se puede observar una tendencia de continuidad en los niveles de contaminación no regulados en la normativa IMO 2020?

Para finalizar, en el caso de no observarse una clara efectividad de la reciente regulación, se intentarán dar hipotéticas recomendaciones para que con el paso de los años se puedan aplicar medidas más exigentes frente a la contaminación que provocan los buques en las ciudades.

4. METODOLOGÍA

En este caso la metodología ha sido dividida en tres principales bloques, explicados de manera clara a continuación:

En primer lugar, se ha reunido y revisado la literatura disponible sobre el tema del cual se habla en el transcurso del trabajo, es decir, de la nueva normativa aplicada por la Organización Marítima Internacional y las precedentes normativas a esta última. Para ello, se utilizarán diversos recursos de búsqueda, principalmente encontraremos, buscadores especializados y recomendados por la universidad, artículos, informes hechos por empresas y profesionales tanto del sector marítimo como de la contaminación del medio ambiente, artículos de diarios, revistas científicas, ...

Al tener ya la revisión literaria y conociendo la raíz del problema a investigar, como por ejemplo, a quién afecta y cómo se puede respetar la nueva normativa de prevención de la contaminación, o conocer cuales son las zonas en el mundo que aplican una regulación más exigente para tenerlas como zonas de referencia para nuestros resultados, llegaremos al segundo bloque del proyecto. Esta segunda parte irá ligada a los objetivos prácticos previamente marcados y en concordancia a la literatura recogida, esperando a mostrar numéricamente los efectos teóricos que han señalado los expertos que se esperan observar posteriormente de la entrada en vigor. Por ello, se llevará a cabo un estudio estadístico detallado con los conjuntos de datos extraído de distintas bases de datos de las principales ciudades españolas escogidas de antemano. De esta manera, se pretende mostrar numéricamente si se observa un cambio de tendencia en los niveles de contaminación posteriormente de la entrada en vigor de la nueva regulación, aplicada el 1 de enero del 2020, y así observar y confirmar si las hipótesis de los estudios previamente realizados por los expertos son acertadas.

Por último, y basado en los resultados obtenidos del estudio numérico anterior, se intentará reflejar la realidad de la contaminación en las ciudades españolas y qué efecto ha tenido la implantación de una importante regulación marítima. Además, dependiendo de los resultados obtenidos, se tratará de aportar nuevas ideas con el fin de mejorar la calidad medioambiental de las ciudades y con ello la salud de la población.

4.1 Metodología de recogida de datos

Para la realización de la investigación empírica primeramente deberemos de elegir de donde recoger los datos para iniciar el análisis. La obtención de datos de calidad es primordial para un buen estudio y éstos sólo se pueden obtener de bases oficiales, ya que serán el soporte principal para llegar a dar respuesta los objetivos previamente marcados y, finalmente, poder aportar mejoras en referencia a la problemática de manera firme con apoyo de datos veraces.

4.1.1 Elección de las ciudades españolas para analizar

En primer lugar, para la elección de las ciudades españolas con puerto que se van a analizar se buscará la base de datos que cada año actualiza Puertos del Estado, donde se podrán observar cuáles son los principales puertos con mayor volumen de tráfico portuario, por toneladas, del año 2019. Aquellas ciudades que tengan los puertos con mayores volúmenes de tráfico serán las elegidas para la recolecta y análisis de datos, ya que son las que sufren más los efectos de la contaminación procedente de los buques. Sobre todo del óxido de azufre, ya que los barcos son los principales agentes emisores de este gas contaminante y es el que más nos interesa, debido a su obligada reducción en la nueva regulación de la OMI.

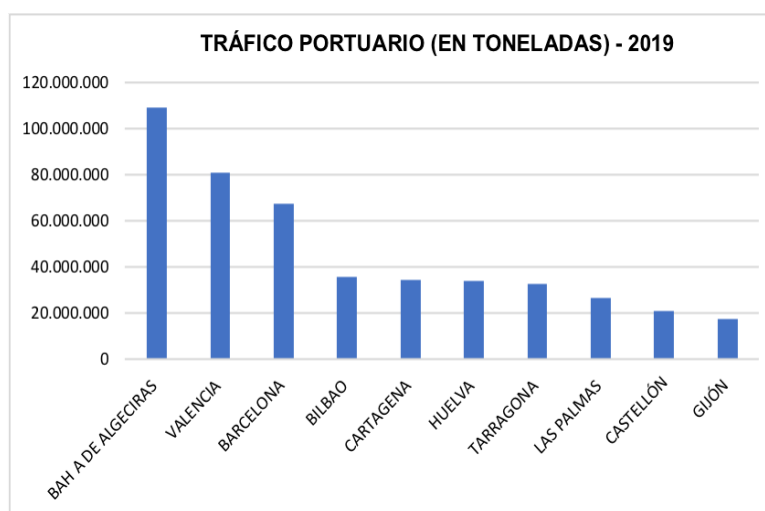
A continuación, para la justificación de la elección de las ciudades costeras, se adjuntan los datos (*Tabla 2*) extraídos del Ministerio de Transporte y Movilidad del gobierno de España, donde se puede observar por cada autoridad portuaria el movimiento de tráfico marítimo por el total de toneladas durante el año 2019. El tráfico que se analiza incluye las cargas, descargas, tránsitos y transbordos en todas las ciudades en valores de toneladas. Además, los datos se reflejan de manera visual mediante un gráfico de barras (*Figura 6*).

Taba 2. Tráfico por toneladas de los puertos españoles

Autoridad Portuaria	Acumulado desde enero 2019
BAHÍA DE ALGECIRAS	109.373.622
VALENCIA	81.076.041
BARCELONA	67.672.481
BILBAO	35.562.269
CARTAGENA	34.548.852
HUELVA	33.848.933
TARRAGONA	32.801.976
LAS PALMAS	26.625.859
CASTELLÓN	20.720.618
GIJÓN	17.398.917

Fuente: Elaboración propia con datos de Puertos del Estado - 2019

Figura 6. Tráfico portuario español 2019



Fuente: Elaboración propia – 2020

Como podemos observar, las ciudades con mayor tráfico portuario en toneladas durante el 2019 son Algeciras, Valencia, Barcelona y Bilbao. De estas 4 ciudades españolas se hará una primera búsqueda de las bases de datos que refleje las emisiones de los principales contaminantes presentes en el aire emitida por los buques y, en caso de que alguna ciudad no muestre disponible estos datos deberá de ser descartada porque no podríamos seguir con el estudio numérico para resolver los objetivos planteados.

Posteriormente de una exhaustiva búsqueda de los datos referentes a los niveles de contaminación atmosférica y, sobretodo, que estén reflejados los de óxido de azufre, óxido de nitrógeno y partículas en suspensión debemos de descartar la Bahía de Algeciras. Por motivos desconocidos, ninguna ciudad cercana al puerto de Algeciras pone a disposición pública una base de datos anual donde se recojan diariamente la

presencia de estas emisiones. Como no disponemos de estos datos no podremos observar ni realizar los análisis pertinentes para la comparación de los niveles de contaminación con las otras ciudades ni con ella misma para ver el resultado de la aplicación de la normativa. Así que, las ciudades con presencia de puerto que finalmente han sido elegidas para el estudio estadístico son:

- **Valencia**, con un tráfico portuario de 81.076.041 toneladas
- **Barcelona**, con un tráfico portuario de 67.672.481 toneladas
- **Bilbao**, con un tráfico portuario de 35.562.269 toneladas

Además, como ya sabemos, los buques son el principal transporte emisor del óxido de azufre, de manera que, las ciudades portuarias deberían de tener unos valores más elevados de estas partículas en los niveles de contaminación atmosférica con relación a las ciudades del interior de la península que no tienen afectación de la industria marítima. Por lo tanto, para la recogida de datos también se elegirán 2 importantes ciudades españolas sin afectaciones por el tráfico marítimo, pero con gran importancia logística, como son Madrid y Soria.

Soria es elegida porque es la ciudad que facilita todos datos necesarios para el análisis siendo la más cercana a Zaragoza (con 150 kilómetros de distancia), que es la ciudad que primeramente se tenía pensado elegir por los siguientes motivos, pero que tuvo que ser descartada por falta de datos abiertos: Zaragoza es conocido como un “hub logístico” o puerto seco gracias a la Terminal Marítima o más concretamente terminal ferroportuaria. Es un centro de referencia en el interior de España especializado en el almacenamiento y distribución de carga en contenedor, tanto de mercancía bajo control de temperatura como carga general, y se usa como punto de conexión entre Asia y el continente europeo. Por lo que, Zaragoza es una zona que recibe altos niveles de mercancía por tierra – camión y ferrocarril – y es una ciudad importante para tener en cuenta en cuanto a los niveles de contaminación atmosférica para comparar con las ciudades con puerto.

Por otro lado, la otra ciudad que analizaremos los niveles de contaminación es Madrid. Es la capital de España y está situada en el centro de la península, por lo que, recibe y ve pasar a diario grandes cantidades de mercancía transportadas en vehículos. También, debemos decir que es la ciudad española que cuenta con más infraestructura

logística y de transporte gracias a la situación privilegiada que es usada como punto de conexión a toda la península. Así que, será otra importante ciudad para tener en cuenta para observar sus niveles de contaminación atmosférica.

De manera resumida las ciudades que tenemos en cuenta para el análisis de datos son:

VALENCIA, BARCELONA, BILBAO, MADRID Y SORIA.

4.1.2 Obtención de datos de los gases contaminantes

Una vez elegidas las ciudades españolas para tener en cuenta en el proyecto se decide obtener y analizar los demás gases contaminantes emitidos por los buques, es decir, no sólo el óxido de azufre, si no también analizar los demás gases que se producen en el momento de la quema de combustible.

Posteriormente, se procederá a la descarga de los datos. Las bases de datos serán obtenidas de las estaciones de control de emisiones contaminantes de los distintos ayuntamientos de las ciudades, en la cual se encontrará desglosado los distintos tipos de gases presentes en las ciudades y que son registrados a diario. Cabe añadir que, para las ciudades del interior de la península se escogerá una estación de control que analice todos los contaminantes. En cambio, para las ciudades cercanas a la costa se elegirán dos estaciones de control, una cercana al puerto y una más al interior, así se podrá observar si en la misma ciudad portuaria cambia la presencia de contaminación cuando nos alejamos del puerto y también tendremos más datos para que el estudio sea representativo y mostrar los datos finales con una relevancia científica.

Para una aclaración final, a continuación, se muestra en forma de tabla las ciudades elegidas y los tipos de contaminantes para tener en cuenta para el proyecto (*Tabla 3*). Sin olvidar que, el principal contaminante que se quiere observar la evolución es el óxido de azufre (SO_x) porque es sobre el que recae la normativa IMO 2020, y que se tiene en cuenta dos ciudades control las cuales no están afectadas por la nueva regulación y, por lo tanto, sus niveles de SO_x se deberían de mantener constantes con el paso del tiempo mientras que en las otras ciudades deberíamos de observar algún cambio.

Tabla 3. Ciudades y contaminantes para tener en cuenta en el desarrollo del proyecto

CIUDADES		CONTAMINANTES
Valencia	}	Óxido de azufre (SO _x)
Barcelona		Óxido de nitrógeno (NO _x)
Bilbao		Partículas en suspensión (PM)
Madrid		
Soria		

Fuente: Elaboración propia

Una vez que ya se tengan los datos de los ayuntamientos de las ciudades elegidas se podrá proceder al análisis de estos y, a continuación, se especifica cómo se realizará para dar respuesta a las preguntas objetivos marcadas anteriormente.

4.2 Metodología de análisis de datos

Los valores de la contaminación que se recogerán serán los del pasado 2019 y el primer trimestre del actual 2020, para ser más exactos hasta el 20 de abril, y los valores de las bases de datos son registrados con valores diarios. De cada estación de control se obtienen las bases de datos y, antes de nada, se diseñará una hoja de cálculo donde se unifiquen todos los valores, es decir, los tres contaminantes de cada estación de control de cada ciudad, para poder trabajar con todos los valores agrupados que nos permita hacer los cálculos necesarios con las 11.300 observaciones.

Una vez diseñada nuestra base de datos empezaremos con el análisis para observar los niveles de contaminación anterior y posteriormente de la aplicación de la normativa IMO 2020, para así observar si existe algún cambio de tendencia sobretodo del SO_x al entrar en vigor la obligación de su reducción, y además de los no regulados. Para poder llegar a las conclusiones se realizará el análisis de la siguiente manera, con tres pasos principalmente a seguir:

- Primero de todo, como los valores que nos facilitan las estaciones de contaminación son valores registrados a diario se elaborará una tabla resumen con medias mensuales para todos los meses del 2019 y 2020. Es decir, se cogerán todos los valores diarios del mes de enero y se realizará una media, y así con todos los meses y todos los contaminantes de cada ciudad. Esta tabla resumen se elaborará para tener una primera idea de la media de contaminación

para cada mes y poder observar rápidamente si para el mismo mes hay un cambio de tendencia para el 2020 respecto el 2019. Esta tabla solo se hará para tener un primer conocimiento de los niveles de contaminación de media para todas las ciudades, no se podrán sacar conclusiones de estas tablas.

- Posteriormente se seguirá con la comparación de medias, pero para un mismo periodo de tiempo concreto de los dos años de estudio, así poder observar si hay algún cambio en la tendencia de la contaminación posteriormente de la entrada en vigor de la IMO 2020, sobretodo del óxido de azufre. Los periodos de tiempo que se compararán serán dos y a continuación se explica los motivos de su elección:
 - Enero – febrero – marzo – 20 abril del 2019 y del 2020. Serán comparadas las medias del total de los datos que se disponen por igual de los dos años.
 - Enero – febrero – 14 de marzo del 2019 y del 2020. Está fecha es elegida porque el 14 de marzo es cuando en España entra en vigor el estado de alarma debido a la crisis sanitaria causada por la COVID-19. Anteriormente de esta fecha se da por entendido que no hay ningún factor externo que pueda modificar excesivamente la contaminación en el año 2020 solo la entrada en vigor de la nueva normativa, ya que se mantiene aproximadamente constante el movimiento tanto de personas como mercancías de un año al otro. Es decir, se analiza este periodo de tiempo para comprobar la tendencia de la contaminación en las ciudades antes de la entrada en vigor del estado de alarma que es cuando se paraliza el país por completo y en el anterior periodo de tiempo analizado no se tendrá en cuenta este motivo y así se podrán contrastar los datos.
- Finalmente, una vez hechas las comparaciones de medias para los distintos periodos de tiempo, se deberá de comprobar si las diferencias de medias entre los dos periodos son estadísticamente significativas o no. Es decir, mediante el test estadístico de medias podremos afirmar que el aire de las ciudades está más libre de óxido de azufre gracias a la IMO 2020 o rebatir que esta no esta mostrando los efectos esperados en la atmósfera de las ciudades. Este será el análisis clave para dar respuesta a los objetivos previamente marcados, ya que los diferentes tests nos permitirán saber si ha variado la contaminación.

Las herramientas que se usarán para la realización de esta investigación empírica serán las hojas de cálculo de Excel, principalmente para tener todos los datos agrupados y las medias mensuales y, por otro lado, el programa estadístico R donde se realizarán las operaciones finales para poder sacar las conclusiones al saber si las diferencias de medias son o no estadísticamente significativamente distintas.

Con esta metodología se llevará a cabo el estudio estadístico con el cual se pretende dar respuesta al principal objetivo del proyecto, de si la atmosfera de las ciudades empieza a observar los efectos positivos de la reducción del óxido de azufre, del mismo modo que ya han observado otras zonas las cuales hace años que han obligado su reducción y, en el marco teórico del presente trabajo se puede leer cuales son los resultados obtenidos por los expertos.

5. RESULTADOS

En esta sección vamos a dar respuesta a los objetivos de investigación marcados en el apartado dos de este proyecto, mediante la metodología comentada en el apartado anterior.

En las próximas subsecciones, primero se hablará de las medias mensuales de los contaminantes para todas las estaciones y, posteriormente, se analizarán los datos por los periodos de tiempos estipulados mediante comparaciones de medias y los test estadísticos de medias.

5.1 Media mensuales

Para iniciar con los resultados, como bien se explica en la metodología, se ha empezado con la elaboración de una tabla resumen donde se puede observar la media mensual de cada contaminante por cada estación de control de las ciudades, y en esta se recogen todos los meses de los cuales se disponen datos, es decir, los 12 meses del 2019 y hasta el abril del 2020.

A continuación, en la tabla 4, se muestra como ejemplo una parte de la tabla final que se puede observar en los anexos, pero en esta solo están los valores del caso de la estación del Prat de Llobregat, la más cercana al puerto de Barcelona y la que sufre más de cerca los problemas de la contaminación procedentes del óxido de azufre. Pero, se remarca que, de seguido se comenta la tabla general y no solo el caso concreto de Barcelona, esta es solo como ejemplo para entender mejor como se interpretan los resultados sin tener que ir a los anexos.

Tabla 4. Niveles de contaminación Barcelona

		EL PRAT -BCN (Jardins de la Pau) - Influencia puerto		
Promedio por meses		Estación B (SO ₂)	Estación B (NO ₂)	Estación B (PM ₁₀)
2 0 1 9	Enero	2,035	38,697	22,829
	Febrero	4,762	45,715	
	Marzo	3,973	35,401	27,192
	Abril	2,698	42,857	20,681
	Mayo	2,520	30,958	18,953
	Junio	3,217	27,206	27,331
	Julio	2,260	29,516	26,008
	Agosto	3,087	34,237	22,587
	Septiembre	2,669	23,206	21,392
	Octubre	1,496	30,032	22,518
	Noviembre	1,609	31,575	15,723
	Diciembre	1,503	34,233	20,857
2 0 2 0	Enero	2,094	34,659	24,796
Febrero	1,898	32,520	29,356	
Marzo	1,462	21,506	19,959	
Abril	1,352	15,632	15,916	

Fuente: Elaboración propia con información de Ayuntamiento de Barcelona

Mediante la observación de las medias mensuales nos podemos hacer una idea más sencilla de la cantidad de cada contaminante que se encuentra de media en las ciudades y de cómo evolucionan los niveles de contaminación al paso de los meses, como por ejemplo para ver si para el mismo mes, pero de distinto año, hay un cambio de tendencia en los valores.

Para el caso del óxido de azufre, que como se explica anteriormente, es el principal gas contaminante emitido por los buques y el foco de atención de este proyecto. La tabla resumen nos muestra que en el caso de las ciudades con puerto se detecta con mayor cantidad en las estaciones de control más cercanas a los puertos que las del interior de la ciudad, siendo Bilbao la única ciudad que muestra una tendencia distinta, y la presencia de SO₂ es un poco más elevada en el interior que en la estación cercana al puerto. También, en esta primera toma de contacto con los valores se puede observar que para todas las ciudades la presencia de SO₂ de media durante los meses del 2020 es menor que para los mismos meses del 2019, y la tendencia cambiante empieza sobretodo en febrero del último año y no durante los últimos meses del 2019.

Para el caso de Madrid, la estación de control elegida está situada en el centro de la ciudad, muy cercana al Parque del Retiro. Los datos nos revelan que es la ciudad de entre las elegidas con una mayor presencia de contaminación en la atmósfera, independientemente del contaminante que se observe los valores de media son más

elevados que en cualquier otra estación durante todo el periodo de tiempo estudiado. Estos datos nos confirman que la capital es la zona de España con más polución y, según los expertos de la OMS, se incumple el valor límite horario establecido para el NO₂, causando que la población madrileña respire un aire perjudicial para la salud. Todo y no sufrir los efectos del tráfico marítimo, se publica que la principal causa de los altos niveles de contaminación es el abundante tráfico rodado que circula diariamente por los corredores de entrada y salida de la ciudad. (El Mundo, 2019)

Con el mismo formato que el caso de Barcelona, a continuación, se adjunta la tabla resumen de la contaminación de Madrid (tabla 5), en la cual se puede observar como es la ciudad con más presencia de contaminación, teniendo unos valores muy elevados respecto la tabla analizada anteriormente o para más comparaciones podemos acudir al anexo en el cual están todas las estaciones de control.

Tabla 5. Niveles de contaminación Madrid

		MADRID (Escuelas Aguirre)		
Promedio por meses		Estación G (SO2)	Estación G (NO2)	Estación G (PM10)
2 0 1 9	Enero	11,323	74,5161	25,5161
	Febrero	9,929	77,071	30,571
	Marzo	9,097	57,065	25,355
	Abril	8,700	48,467	14,467
	Mayo	9,129	43,032	14,935
	Junio	9,500	41,933	25,367
	Julio	10,065	39,032	28,323
	Agosto	5,742	34,065	15,290
	Septiembre	4,467	45,233	18,133
	Octubre	5,419	55,000	22,194
	Noviembre	5,433	42,033	11,200
	Diciembre	6,516	49,871	16,613
2 0 2 0	Enero	7,387	55,903	23,645
Febrero	7,241	52,241	29,621	
Marzo	7,323	32,194	13,774	
Abril	7,200	16,550	11,150	

Fuente: Elaboración propia con información del Ayuntamiento de Madrid

Una vez observado el promedio por meses de la contaminación en las 5 ciudades y conocida la tendencia de los tres contaminantes durante los 16 meses de estudio, se procede hacer una comparación de medias durante los dos periodos de tiempo definidos en la metodología, para proceder a dar respuesta a los objetivos planteados.

5.2 Comparación de medias por periodo de tiempo

A continuación, se procede hacer las comparaciones de medias por tiempo para poder observar si posteriormente de la entrada en vigor de la IMO 2020 se observa un cambio de tendencia en la contaminación de las ciudades, sobretodo del óxido de azufre que el único contaminante regulado en la normativa, la cual es el centro de atención del presente proyecto.

Cabe decir que, el análisis se separará en los dos periodos de tiempo, los cuales han sido elegido por unos motivos que se explican en el apartado anterior de metodología. Los resultados se comentarán por separado por cada período, y dentro de cada uno se analizarán e interpretarán los valores obtenido de los distintos contaminantes de manera independiente, con especial hincapié en el SO_x.

Posteriormente de obtener las medias de cada fase y tenerlas resumidas en una tabla, donde se puede observar claramente la separación de cada agente contaminante en las distintas estaciones de control de las ciudades, se procederá hacer la explicación de los resultados obtenidos del test estadístico de medias. El producto de este último apartado nos ayudará a la elaboración de las conclusiones con relación a los objetivos planteados, es decir, podremos saber si la diferencia de medias de un año al otro es estadísticamente significativa y, por lo tanto, si la normativa empieza a mostrar sus efectos beneficiosos a la atmósfera de las ciudades como se espera.

5.2.1 Enero – febrero – marzo – 20 abril

El primer periodo de tiempo estudiado es el que tenemos el total de datos por igual en los dos años, ya que al hacer una comparación de medias por tiempo debemos de tener en cuenta los mismos días para los dos periodos y no podemos coger todo el año 2019 en comparación con 4 meses del 2020. Por lo tanto, el motivo de escoger hasta el 20 de abril es tener los mismos meses y días del año para un periodo con las nuevas restricciones de la OMI y otro sin.

A continuación, se puede observar unas tablas resumen (*tabla 6*) donde se muestra las medias de los 110 días escogidos, por cada año y de los contaminantes seleccionados (SO₂ – NO₂ – PM₁₀), en las 8 estaciones de control de las 5 ciudades elegidas, ya que en las afectada por el tráfico marítimo se eligen dos.

Como se ha comentado anteriormente, la principal misión de la nueva regulación IMO 2020 es la reducción de las emisiones de óxido de azufre de los buques, lo que tendría que provocar una mejora de este contaminante de las ciudades cercanas a los puertos. Por tanto, el análisis de los datos estará principalmente centrado en este contaminante, con además un pequeño estudio de los otros dos ya que no deberían de verse afectados en gran medida de un año al otro.

Tabla 6. Medias por periodo de tiempo de todos los contaminantes

	BARCELONA (Eixample) - No influencia			EL PRAT -BCN (Jardins de la Pau) - Influencia puerto		
	Estación A (SO ₂)	Estación A (NO ₂)	Estación A (PM ₁₀)	Estación B (SO ₂)	Estación B (NO ₂)	Estación B (PM ₁₀)
2019 (E-F-M-20A)	1,765	52,572	28,435	3,442	40,928	22,907
2020 (E-F-M-20A)	1,502	37,963	25,781	1,733	26,998	23,036

	VALENCIA (Avd. Francia) - Influencia Puerto			VALENCIA (Politecnica) - No influencia		
	Estación C (SO ₂)	Estación C (NO ₂)	Estación C (PM ₁₀)	Estación D (SO ₂)	Estación D (NO ₂)	Estación D (PM ₁₀)
2019 (E-F-M-20A)	4,727	33,534	27,718	4,209	27,445	24,391
2020 (E-F-M-20A)	4,063	20,838	20,470	3,577	16,009	19,306

	BILBAO (Santurce) - Influencia Puerto			BILBAO (Abanto) - No influencia		
	Estación E (SO ₂)	Estación E (NO ₂)	Estación E (PM ₁₀)	Estación F (SO ₂)	Estación F (NO ₂)	Estación F (PM ₁₀)
2019 (E-F-M-20A)	5,873	26,091	16,160	7,782	19,651	12,364
2020 (E-F-M-20A)	4,627	21,045	15,630	4,798	16,991	14,552

	MADRID (Escuelas Aguirre)			SORIA		
	Estación G (SO ₂)	Estación G (NO ₂)	Estación G (PM ₁₀)	Estación H (SO ₂)	Estación H (NO ₂)	Estación H (PM ₁₀)
2019 (E-F-M-20A)	9,855	65,645	24,864	2,850	23,200	12,860
2020 (E-F-M-20A)	7,297	41,234	20,198	1,937	19,162	13,856

Fuente: Elaboración propia con información de las estaciones de control

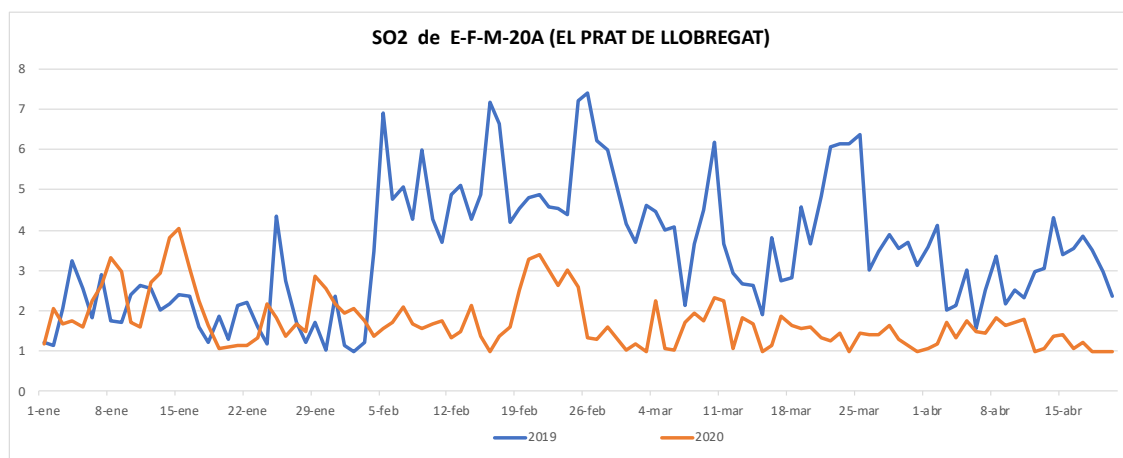
Primero de todo se procederá hacer el análisis solo observando los valores del SO₂:

En cualquier estación, de las 5 ciudades, la presencia de óxido de azufre de media para los meses del año 2020 es notablemente inferior que para el año anterior. En la mayoría de las estaciones de control se observa un importante cambio de los valores con un importante cambio de la media, lo que ya nos indica que algún factor externo ha hecho que mejore la calidad del aire de las ciudades.

Una de las ciudades que muestra un cambio de media más apreciable es Barcelona, en la estación del Prat de Llobregat y, a continuación, se muestra un gráfico lineal del periodo de tiempo estudiado, para que se pueda apreciar de manera visual el cambio de los valores y la tendencia, para así tener una comprensión más fácil de lo que sucede a partir del 1 de enero del 2020, que es cuando entra en vigor la regulación de la organización marítima internacional.

En la figura 7 de a continuación, podemos visualizar como durante el año 2020, y sobretodo a partir de febrero, los valores de la contaminación están bastante por debajo que el 2019. En 2019, todo y tener una media de 3,44 microgramo el metro cúbico observamos que durante un largo periodo los valores fueron registrados cercanos al 7-8 microgramos el metro cúbico, que es a partir del momento que visualmente es más notable el cambio, ya que durante el 2020 en la mayor parte del período no sobrepasa los 2-3 microgramos el metro cúbico.

Figura 7. SO₂ de E-F-M-20A Barcelona



Fuente: Elaboración propia

Para todas las otras ciudades, gráficamente se podría observar que sucede algo parecido, y para el año 2020 la gráfica de los valores del óxido de azufre esta dibujada por debajo de los del 2019. Para ello en los anexos se adjunta los gráficos.

Cabe decir que, en el interior de la península, donde no tienen afectación de la contaminación de SO₂ a causa del tráfico marítimo, la disminución también está presente y de media presentan unos valores parecido a las ciudades costeras o hasta superiores. El caso de Madrid, que ya se ha comentado anteriormente, todo y tener una mejora en el último año los valores siguen siendo bastante más elevados que cualquier otra estación de control. Y en el caso de Soria, presenta unos valores parecido a Barcelona, siendo esta última una de las ciudades más importantes respecto el tráfico de buques o cruceros. Por lo tanto, no hay una discriminación en la presencia ni en la reducción de polución de SO₂ del interior a la costa.

Una vez vista la tendencia del óxido de azufre, otro de los objetivos que nos planteamos es observar como es el comportamiento de los demás contaminantes no regulados por la IMO 2020 pero que los buques siguen emitiendo a la atmosfera en grandes cantidades, que son el óxido de nitrógeno y las partículas en suspensión.

En la tabla resumen anterior (*tabla 6*) podemos observar cual es la presencia de media para los dos años y, de igual manera que con el óxido de azufre, los niveles de NO₂ y PM₁₀ para el año 2020 se han visto reducidos en una medida considerable, y sin distinción de cual es la estación de control que se mire los niveles de polución.

Después de saber que existe una diferencia de medias para todas las estaciones de control y todos los contaminantes de un año al otro, con y sin la entrada en vigor de la IMO 2020, se procede analizar los resultados de t-test para muestras relacionadas donde definitivamente sabremos si la diferencia de medias es significativamente importante o no desde el punto de vista estadístico.

5.2.1.1 Test estadístico de medias (t-test)

El objetivo principal de este test es comparar las medias de los valores obtenidos de un mismo sujeto, que en este caso será la misma estación de control de contaminación, en dos momentos distintos de tiempo, es decir anterior y posteriormente de la entrada en vigor de la IMO 2020.

Para poder afirmar si la diferencia de las medias es una desigualdad significativa primeramente nos plantearemos dos hipótesis, la hipótesis nula y la alternativa. Posteriormente, con los resultados del t-test para cada contaminante en cada estación, observaremos el valor de "p-value" obtenido y podremos dar respuesta a la cuestión.

Para ello nos marcamos un nivel de confianza en los resultados del 95% y, para aceptar o rechazar la hipótesis nula, miraremos el valor de p-value que sea inferior o superior del 0,05. Es decir, en caso de obtener un resultado de p-value inferior a 0,05 rechazaremos la hipótesis nula y aceptaremos la alternativa.

El enunciado de la hipótesis nula y alternativa irán variando según la estación de control que se este analizando, el contaminante y el periodo de tiempo. A modo de ejemplo, tenemos como hipótesis:

- **H₀ = la media de SO_x para los meses de enero – febrero – marzo – 20 abril del año 2020 respecto el 2019 se mantiene constante en la estación de El Prat**
- **H₁ = la media de SO_x para los meses de enero – febrero – marzo – 20 abril del año 2020 respecto el 2019 es diferente en la estación de El Prat**

A continuación, se adjuntan las tablas resumen (*tabla 7*) con las medias que hemos podido observar anteriormente y en la última fila el valor resultante del t-test para aceptar o rechazar las hipótesis y afirmar si la diferencia de medias es estadísticamente significativa o no.

Tabla 7. Medias por periodos de tiempo con resultado del t-test

	BARCELONA (Eixample) - No influencia			EL PRAT -BCN (Jardins de la Pau) - Influencia puerto		
	Estación A (SO ₂)	Estación A (NO ₂)	Estación A (PM10)	Estación B (SO ₂)	Estación B (NO ₂)	Estación B (PM10)
2019 (E-F-M-20A)	1,765	52,572	28,435	3,442	40,928	22,907
2020 (E-F-M-20A)	1,502	37,963	25,781	1,733	26,998	23,036
t-test para datos relacionados -> p-value	0,010	<0,001	0,1349	<0,001	<0,001	<0,001

	VALENCIA (Avd. Francia) - Influencia Puerto			VALENCIA (Politecnica) - No influencia		
	Estación C (SO ₂)	Estación C (NO ₂)	Estación C (PM10)	Estación D (SO ₂)	Estación D (NO ₂)	Estación D (PM10)
2019 (E-F-M-20A)	4,727	33,534	27,718	4,209	27,445	24,391
2020 (E-F-M-20A)	4,063	20,838	20,470	3,577	16,009	19,306
t-test para datos relacionados -> p-value	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

	BILBAO (Santurce) - Influencia Puerto			BILBAO (Abanto) - No influencia		
	Estación E (SO ₂)	Estación E (NO ₂)	Estación E (PM10)	Estación F (SO ₂)	Estación F (NO ₂)	Estación F (PM10)
2019 (E-F-M-20A)	5,873	26,091	16,160	7,782	19,651	12,364
2020 (E-F-M-20A)	4,627	21,045	15,630	4,798	16,991	14,552
t-test para datos relacionados -> p-value	<0,001	<0,001	0,6689	<0,001	<0,001	0,02528

	MADRID (Escuelas Aguirre)			SORIA		
	Estación G (SO ₂)	Estación G (NO ₂)	Estación G (PM10)	Estación H (SO ₂)	Estación H (NO ₂)	Estación H (PM10)
2019 (E-F-M-20A)	9,855	65,645	24,864	2,850	23,200	12,860
2020 (E-F-M-20A)	7,297	41,234	20,198	1,937	19,162	13,856
t-test para datos relacionados -> p-value	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,219

Fuente: Elaboración propia

De igual forma que se ha hecho anteriormente, primero se analizara el valor resultado del test solo para los óxidos de azufre y, posteriormente los demás contaminantes.

En el estudio de SO₂ para todas las ciudades, con independencia de su ubicación geográfica, obtenemos un valor de P inferior a 0,05. Por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula aceptando la alternativa y confirmamos que la media de SO₂ para los meses de E-F-M-20A del año 2020 respecto el 2019 es significativamente diferente, y como hemos podido observar en las medias la presencia para el último año es menor.

Para el caso del NO₂ y PM₁₀ obtenemos unos resultados parecidos que para el estudio de SO₂, donde el test nos afirma que la diferencia de las medias de un año al otro es estadísticamente significativa, con un valor de P inferior a 0,05. Cabe decir que, para 3 estaciones la disminución del PM₁₀ no es significativa y lo podemos observar en la tabla anterior marcados los valores de color rojo.

Como primeras conclusiones, antes de observar la tendencia de la contaminación en el segundo periodo de tiempo elegido, podemos afirmar que la presencia de todos los contaminantes de media para los 4 meses del año 2020 es menor. Por tanto, la OMI podría ser la responsable de la disminución del óxido de azufre, pero esta regulación no es el único causante porque también se ven modificados los demás contaminantes no regulados, es decir, algún agente externo no contemplado en el estudio podría estar interviniendo. Así que, para descartar que la crisis sanitaria por la COVID-19 sea la responsable, a continuación, se realiza el estudio del periodo de tiempo anterior a este evento, siguiendo la misma metodología de análisis de datos que en esta etapa.

5.2.2 Enero – febrero – 14 marzo

El segundo estudio se realiza con los datos recolectados de igual por los dos años, pero hasta el día 14 de marzo porque es cuando en España se declara el estado de alarma debido a la crisis sanitaria por el coronavirus. Se realiza con el objetivo de observar si hay un cambio de la tendencia de la contaminación de un año al otro sin intervención de ningún agente externo solo con la entrada en vigor de la IMO 2020, ya que el estado de alarma provoca un paralización parcial y total de país ocasionando indirectamente una reducción de la contaminación con el cierre de empresas y la prohibición de movilización. Así que, para tener un estudio más real sin intervención externa y poder concluir si la nueva regulación del óxido de azufre está empezando a mostrar los efectos esperados procedemos analizar los datos de estos 74 días con intervención de la IMO para un año y sin para el año anterior.

El análisis de los datos se realiza siguiendo una metodología idéntica que en el anterior apartado por lo que, solo se comentaran detalladamente los resultados con las tablas pertinentes, sin explicar los pasos para obtener los resultados. Se empieza con el análisis de medias del SO₂ de un periodo respecto el otro y posteriormente los demás contaminantes y, para finalizar, se ejecuta el test estadístico para confirmar si la diferencia de medias es estadísticamente significativa.

Tabla 8. Media de todos los contaminantes por el segundo periodo de tiempo

	BARCELONA (Eixample) - No influencia			EL PRAT -BCN (Jardins de la Pau) - Influencia puerto		
	Estación A (SO ₂)	Estación A (NO ₂)	Estación A (PM ₁₀)	Estación B (SO ₂)	Estación B (NO ₂)	Estación B (PM ₁₀)
2019 (E-F-14M)	1,613	53,869	28,513	3,422	41,062	23,790
2020 (E-F-14M)	1,502	47,388	29,517	1,919	31,906	26,186

	VALENCIA (Avd. Francia) - Influencia Puerto			VALENCIA (Politecnica) - No influencia		
	Estación C (SO ₂)	Estación C (NO ₂)	Estación C (PM ₁₀)	Estación D (SO ₂)	Estación D (NO ₂)	Estación D (PM ₁₀)
2019 (E-F-14M)	4,863	39,727	30,164	4,342	32,247	26,219
2020 (E-F-14M)	4,311	28,432	26,540	3,743	21,541	22,324

	BILBAO (Santurce) - Influencia Puerto			BILBAO (Abanto) - No influencia		
	Estación E (SO ₂)	Estación E (NO ₂)	Estación E (PM ₁₀)	Estación F (SO ₂)	Estación F (NO ₂)	Estación F (PM ₁₀)
2019 (E-F-14M)	5,904	27,808	16,662	8,658	21,222	11,808
2020 (E-F-14M)	5,151	23,438	16,644	5,784	20,054	15,971

	MADRID (Escuelas Aguirre)			SORIA		
	Estación G (SO ₂)	Estación G (NO ₂)	Estación G (PM ₁₀)	Estación H (SO ₂)	Estación H (NO ₂)	Estación H (PM ₁₀)
2019 (E-F-14M)	10,301	72,384	27,493	3,114	24,342	14,543
2020 (E-F-14M)	7,351	52,297	24,568	2,027	23,919	14,865

Fuente: Elaboración propia con información de las estaciones de control

En la tabla anterior (*tabla 8*) podemos observar las medias por cada año en cada estación de control en este periodo, y primero nos debemos de fijar en el SO₂.

De media la presencia de óxido de azufre para esta época, en mayor o menor medida, ha disminuido para el último año. Como bien sabemos la obligación de reducción de emisiones de óxido de azufre afecta solo a los buques, de modo que, solo deberían de verse beneficiadas las ciudades cercanas a la costa, pero numéricamente vemos que así no es y todas las ciudades muestran una reducción de los valores. Antes de proceder ha analizar si la diferencia es estadísticamente significativa o no, observaremos que sucede con los demás contaminantes no regulados y que teóricamente no deberían de verse modificados.

En el momento de ver que sucede con el nivel de contaminación de NO₂ y PM₁₀ en las estaciones de control elegidas observamos que sucede como en el primer periodo de tiempo analizado, es decir, que para el 2020 en comparación con el 2019 ha habido un descenso de media los valores registrados.

Una vez observado que la contaminación en todas las ciudades ha disminuido en el año 2020 respecto el 2019 se procede hacer en análisis estadístico de medias para afirmar si la desigualdad es estadísticamente significativa, de igual forma que se ha hecho anteriormente.

5.2.2.1 Test estadístico de medias (t-test)

Con el mismo objetivo que en el test estadístico comentado anteriormente, se pretende saber si la diferencia de medias por este último periodo de tiempo es estadísticamente significativa y, si posteriormente de la entrada en vigor de la normativa los niveles de contaminación de las ciudades se ven reducidos sin intervención del agente externo de la COVID-19.

Para ello igual nos marcamos el mismo nivel de confianza del 95% y, para aceptar o rechazar la hipótesis nula miraremos el valor de p-value que sea inferior o superior al 0,05. En caso de ser inferior rechazaremos la nula hipótesis y aceptaremos la alternativa.

A modo de ejemplo, nos planteamos las siguientes hipótesis e igual que en el período anterior los enunciados de las hipótesis irán variando según la estación de control que se este analizando, el contaminante y el periodo de tiempo elegido, pero no serán escritas todas ya que son todos los enunciados iguales.

- **H₀**= la media de _____ para lo meses de enero – febrero – 14 marzo del año 2020 respecto el 2019 se mantienen constantes en la estación de control de _____.
- **H₁**= la media de _____ para los meses de enero – febrero – 14 de marzo del año 2020 respecto el 2019 es diferente en la estación de control de _____.

A continuación, se adjuntan unas tablas resumen (*tabla 9*) iguales que las anteriores donde se muestra en la última fila el valor resultante de t-test para aceptar o rechazar las hipótesis planteadas en cada caso, y finalmente afirmar si la diferencia de medias que se ven en las filas superiores de cada estación es estadísticamente significativa o no.

Antes de empezar analizar los resultados obtenidos, cabe decir que al observar la tabla se podrán ver algunos valores marcados de color rojos y serán los que tendremos un poco más en cuenta porque nos afirmarán que la diferencia no es significativa y no sucede lo esperado según los expertos. Seguido se empezará analizar cada contaminante y se hablará más concretamente de los valores a resaltar, empezando por el SO₂ como en todos los casos anteriores.

Tabla 9. Medias por periodos de tiempo con resultados del t-test

	BARCELONA (Eixample) - No influencia			EL PRAT -BCN (Jardins de la Pau) - Influencia puerto		
	Estación A (SO2)	Estación A (NO2)	Estación A (PM10)	Estación B (SO2)	Estación B (NO2)	Estación B (PM10)
2019 (E-F-14M)	1,613	53,869	28,513	3,422	41,062	23,790
2020 (E-F-14M)	1,502	47,388	29,517	1,919	31,906	26,186
t-test para datos relacionados -> p-value	0,3676	0,024	0,6315	<0,001	<0,001	<0,001

	VALENCIA (Avd. Francia) - Influencia Puerto			VALENCIA (Politecnica) - No influencia		
	Estación C (SO2)	Estación C (NO2)	Estación C (PM10)	Estación D (SO2)	Estación D (NO2)	Estación D (PM10)
2019 (E-F-14M)	4,863	39,727	30,164	4,342	32,247	26,219
2020 (E-F-14M)	4,311	28,432	26,540	3,743	21,541	22,324
t-test para datos relacionados -> p-value	0,0135	<0,001	0,2471	<0,001	<0,001	0,033

	BILBAO (Santurce) - Influencia Puerto			BILBAO (Abanto) - No influencia		
	Estación E (SO2)	Estación E (NO2)	Estación E (PM10)	Estación F (SO2)	Estación F (NO2)	Estación F (PM10)
2019 (E-F-14M)	5,904	27,808	16,662	8,658	21,222	11,808
2020 (E-F-14M)	5,151	23,438	16,644	5,784	20,054	15,971
t-test para datos relacionados -> p-value	0,019	0,017	0,9735	<0,001	0,405	<0,001

	MADRID (Escuelas Aguirre)			SORIA		
	Estación G (SO2)	Estación G (NO2)	Estación G (PM10)	Estación H (SO2)	Estación H (NO2)	Estación H (PM10)
2019 (E-F-14M)	10,301	72,384	27,493	3,114	24,342	14,543
2020 (E-F-14M)	7,351	52,297	24,568	2,027	23,919	14,865
t-test para datos relacionados -> p-value	<0,001	<0,001	0,1749	<0,001	0,8027	0,6294

Fuente: Elaboración propia

Para la contaminación de SO₂, podemos observar que la única estación de control con excepción donde la diferencia de medias no es significativa, todo y observarse numéricamente una pequeña disminución de la media, es en el centro de Barcelona. Todas las otras ciudades obtenemos un valor de P inferior a 0,05, por lo tanto, podemos afirmar que la diferencia de medias para el periodo con la entrada en vigor de la IMO y sin es estadísticamente significativo. Al suceder el efecto contrario solo en la estación de la Eixample, de Barcelona, no le damos especial importante porque no es un dato muy relevante al estudio en global, ya que en las otras ciudades costeras se confirma un cambio en la media tanto en el interior de la ciudad como en el puerto además el valor de p no es muy elevado.

En esta ocasión, al observar los resultados del test estadístico para el PM₁₀ en casi todas las estaciones, excepto en tres, debemos de aceptar la hipótesis nula y afirmar que la diferencia de medias de un periodo al otro no es estadísticamente significativa. Para el NO₂ sucede lo contrario y lo mismo que en óxido de azufre, en el test volvemos a obtener unos valores inferiores a 0,05, excepto en dos estaciones de control, lo que nos confirma que la diferencia de medias de los meses para los dos años elegidos es estadísticamente distinta.

Como conclusión de este segundo periodo de tiempo y antes de realizar las conclusiones globales del proyecto, podemos volver afirmar que la presencia de óxido de azufre tiene una media significativamente inferior a la media del año sin la normativa IMO en vigor. Además, la mayoría de los contaminantes no regulados vuelven a mostrar una disminución significativa. En este caso se descartan los días en los que interviene la paralización parcial del país por el coronavirus, por lo que para la reducción de óxido de azufre solo interviene la normativa y, para los demás contaminantes no sucede nada extraordinario, por lo que no deberían de verse modificados como nos muestran los datos.

Una vez realizado el trabajo empírico con los datos obtenidos de las distintas estaciones de control de las ciudades y haber resuelto los objetivos planteados al principio del proyecto, donde hemos observado que posteriormente de la entrada en vigor de la IMO 2020 los óxidos de azufre presente en la atmósfera de las ciudades se ven reducido respecto los mismos periodos de tiempos analizados sin esta regulación. Sin embargo, no se puede observar un importante cambio de tendencia que diferencie las ciudades portuarias de las del interior de la península, en los dos casos los datos muestran un descenso. También, los valores de los distintos contaminantes no regulados son registrados con un importante descenso en la mayoría de las estaciones, y esto nos da a entender que un agente externo no contemplado en nuestro proyecto también interviene a favor de la atmósfera de las ciudades con la reducción de la contaminación y no solo la IMO 2020, mejorando la calidad del aire.

6. CONCLUSIONES

Las importantes emisiones de SO₂ de los buques han hecho que la organización marítima internacional (OMI) al paso de los años vaya imponiendo regulaciones cada vez más exigentes, para que así los buques reduzcan sus emisiones con la quema del combustible. Desde el 1 de enero del 2020 la OMI ha ordenado una nueva normativa en la que obliga a la flota mundial de buques en navegación por todos los mares, fuera de las zonas ECA, ha reducir la cantidad de azufre en combustible pasando de un 3,5% a un actual 0,5%. Ha raíz de esta disminución la OMI espera que se produzca un descenso del 77% del total de emisiones de SO₂, procedente de los buques, lo que supondrá una reducción anual de unos 8,5 millones de toneladas métricas de óxidos de azufre.

Como principal objetivo de este proyecto nos hemos marcado observar si la presencia de óxido de azufre en distintas ciudades españolas se ve reducida con la implantación de la regulación. Para ello hemos elegido 5 ciudades, 3 con afectación de tráfico marítimo y 2 sin, y con la recogida de datos de las distintas estaciones de control se ha realizado una comparación de medias por dos periodos de tiempo distintos, y así contrastar los datos con y sin la entrada en vigor de IMO 2020. Con el fin de saber si la diferencia de medias es estadísticamente significativa y, por lo tanto, la presencia de SO₂ en la atmósfera se ve reducida considerablemente, se han hecho distintos test estadísticos y así se ha podido dar respuesta al planteamiento del problema de este proyecto de investigación.

Como resultado de la investigación en base a los objetivos se observa que, en el corto periodo de tiempo del análisis de los datos, la IMO 2020 ha empezado a mostrar sus efectos con un decrecimiento significativo del óxido de azufre en la atmósfera de las ciudades. La reducción de contaminación sucede en los dos periodos de tiempo estudiados, en los cuales uno se tiene en cuenta los días en que el país esta paralizado debido a la crisis por el coronavirus y el otro no tiene en consideración este periodo de tiempo.

Al verse también favorecidos con una reducción de la contaminación las ciudades del interior de la península y los otros tipos de contaminante que se tienen en cuenta en la investigación (NO₂ y PM₁₀), se sospecha que la IMO 2020 no es la única responsable del decrecimiento del SO₂. La normativa solo obliga a reducir el óxido de azufre y los demás contaminantes no deberían de verse modificados, y del mismo modo las ciudades sin afectación del tráfico marítimo no deberían de percibir los efectos.

Sin embargo, España durante este año está teniendo de media unos niveles de contaminación inferiores que durante los mismos meses del 2019, hecho beneficioso para salud de la población y que debería de mantenerse en esta tendencia y si puede ser ir logrando más la reducción.

Para comprobar que la tendencia de los niveles de contaminación se mantiene a la baja y revistar que la normativa de la organización marítima internacional cumple con las expectativas de los expertos a largo plazo, se recomienda seguir la línea de esta investigación en futuros trabajos. Una vez finalizada la crisis sanitaria por la COVID-19, el mundo vuelva a la nueva normalidad, haya pasado más tiempo de la entrada en vigor de la normativa y se puedan tener más datos, sería conveniente hacer futuras investigaciones, igual que se han hecho los estudios en las zonas ECA al paso de los años.

Finalmente, como reflexión personal, la realización del proyecto final de carrera me ha ayudado a darme cuenta de los altos niveles de contaminación que emiten los buques y que la mayor parte de la población no somos consiente a los altos niveles de polución que estamos expuestos a diario. El transporte marítimo es esencial para el crecimiento económico mundial, ya que es el principal facilitador de comercio, pero en manos de la OMI y las navieras está que los buques cada vez sean más respetuosos con el medio ambiente y así mejore la calidad de vida de las personas.

7. LIMITACIONES

Antes de finalizar el proyecto, creo que es de vital importancia hablar de las limitaciones y los impedimentos que me he encontrado a lo largo de la ejecución del proyecto, sobretodo durante los últimos 4 meses (de marzo a junio). Estas han sido mencionadas durante la explicación de los resultados, pero se hablará con más profundidad para entender el motivo por el cual se cree que han podido modificar los valores de la contaminación recolectados y no dejan hacer una comparación con igualdad de condiciones de un año para el otro.

El 14 de marzo del 2020 en España se decretó el estado de alarma debido a la crisis sanitaria por la COVID-19, un acontecimiento inesperado y nunca antes vivido, con el que nos han acompañado situaciones excepcionales como la paralización parcial y total del país y, además del mundo.

A partir de ese día se producen una serie de irregularidades de la vida cotidiana que se tenía hasta el momento, como es la prohibición de movilización, lo que conlleva la cancelación de todos los cruceros y vuelos, solo se ejecutan aquellos necesarios para la repatriación de la población que en esos instantes se encontraban lejos de sus casas. Se prohíben los desplazamientos hasta el lugar de trabajo, lo que obliga hacer teletrabajo a la mayor parte de la población y solo se mantienen activas las actividades de primera necesidad, como son supermercados, el sector sanitario, empresas de alimentación, ... por lo tanto, una paralización del sector industrial.

Al producirse al cese de muchas empresas y la paralización de la movilidad mundial se ocasiona una disminución de los niveles de contaminación, ya que la mayor parte de la contaminación proviene de estos dos factores. Por lo tanto, este hecho es uno de los obstáculos que me he encontrado a la hora de llegar a la firmeza de las conclusiones con la observación del cambio de tendencia en los niveles de contaminación.

Por este motivo, para tener en cuenta este agente externo que ha intervenido, se ha hecho el segundo análisis del periodo de tiempo de la contaminación el cual contempla solo los meses del 2020 en normalidad. Una vez conocidas las dificultades para el análisis de los datos se procede a las conclusiones con los valores obtenidos.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Abbasov, F., Earl, T., Jeanne, N., Hemmings, B., Gilliam, L., & CalvoAmbel, C. (2019). One corporation to pollute them all. Transport & Environment Report. Fuente: <https://www.transportenvironment.org/publications/one-corporation-pollute-them-all>
- Abbasov, F., Earl, T., Jeanne, N., Hemmings, B., Gilliam, L., & CalvoAmbel, C. (2019). Luxury cruise giant emits 10 times more air pollution (SO_x) than all of Europe's cars – study. Transport & Environment Report. Fuente: <https://www.transportenvironment.org/press/luxury-cruise-giant-emits-10-times-more-air-pollution-sox-all-europe's-cars---study>
- Ajuntament de Barcelona. Calidad del aire. Efectos en la salud. Fuente: <https://ajuntament.barcelona.cat/qualitataire/es/la-salut/efectos-en-la-salud>
- Alföldy, B., Lööv, J. B., Lagler, F., Mellqvist, J., Berg, N., Beecken, J., ... & Cavalli, F. (2013). Measurements of air pollution emission factors for marine transportation in SECA. Atmospheric Measurement Techniques, 6(7), 1777-1791. Fuente: http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/182647/local_182647.pdf
- Ayuntamiento de Madrid. Calidad del aire, estaciones de control (2020). Fuente: <https://datos.madrid.es/sites/v/index.jsp?vgnextoid=9e42c176313eb410VgnVCM1000000b205a0aRCRD&vgnnextchannel=374512b9ace9f310VgnVCM100000171f5a0aRCRD>
- Ayuntamiento de Valencia. Datos de estaciones por contaminación. (2019). Fuente: https://www.valencia.es/ayuntamiento/maparuido.nsf/vDatosEstacionesWeb/Anyo2019?OpenDocument&bdOrigen=ayuntamiento%2Fmaparuido.nsf&amidapoyo=&lang=1&nivel=5_3
- Baird, A. J. (2002). Container vessels in the new millennium: Implications for seaports. Ocean Yearbook Online, 16(1), 300-327. Fuente: <https://brill.com/view/journals/ocyo/16/1/article-p300.xml>
- Banco Mundial (2020). Tráfico marítimo de contenedores (TEU: unidades equivalentes a 20 pies). Fuente: <https://datos.bancomundial.org/indicador/IS.SHP.GOOD.TU>
- Bravo, C & Buschell, I. (2019). El transporte marítimo contamina miles de veces más que el terrestre. Periódico El Diario. Fuente: https://www.eldiario.es/tribunaabierta/transporte-maritimo-contamina-miles-terrestre_6_906469371.html

- Burgen, Stephen (2019). Barcelona port is worst in Europe for cruise ship air pollution. The Guardian. Fuente: <https://www.theguardian.com/cities/2019/jun/07/barcelona-port-is-worst-in-europe-for-cruise-ship-air-pollution>
- C. Ø., Grønsedt, P., Hendriksen, C., & Graversen, C. L. (2016). Navigating ECA-Zones: Regulation and Decision-making. Fuente: https://research-api.cbs.dk/ws/portalfiles/portal/58770167/Navigating_ECA_Zones.pdf
- Carlier, Manuel. (Setiembre 2011). Director general de ANAVE. Emisiones de gases a la atmósfera procedente de los buques. Fuente: https://www.anave.es/images/tribuna_profesional/trib%20sept%2011%20.pdf
- Cepsa – Dirección de comunicación (2019). Cepsa ya comercializa combustibles y lubricantes marinos adaptados a la norma IMO 2020. Compañía energética global CEP SA. Fuente: <https://www.cepsa.com/es/prensa/notas-prensa/cepsa-ya-comercializa-combustibles-y-lubricantes-marinos-adaptados-a-la-norma-imo-2020#>
- Cerillo, Antonio (2019) Fomento apoya un área de atmósfera limpia en el Mediterráneo. La Vanguardia. Fuente: <https://www.lavanguardia.com/natural/actualidad/20190319/461127409219/eca-area-de-control-de-emisiones-saura.html>
- Cerillo, Antonio (2019). Barcelona, la ciudad europea con mayor polución causada por los cruceros. La Vanguardia. Fuente: <https://www.lavanguardia.com/natural/20190605/462680840185/cruceros-transporte-and-environment.html>
- Cerillo, Antonio (2019). Los buques emiten en España más CO₂ que los coches de sus 30 principales ciudades. La Vanguardia. Fuente: <https://www.lavanguardia.com/natural/20190605/462680840185/cruceros-transporte-and-environment.html>
- Chang, C.C. & Wang, C.M. 2012, "Evaluating the effects of green port policy: Case study of Kaohsiung harbor in Taiwan", Transportation Research Part D: Transport and Environment. Fuente: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920911001532>
- Chrysouli, A. An analysis of the possible impact of the IMO 2020 regulation, in the market structure of the liner industry. Fuente: <https://pdfs.semanticscholar.org/c664/da384931bcb4aef5f5c432ba3b9dc6b315b5.pdf>

- Contreras, A. (2014). Consideraciones sobre la norma que establece las zonas de control de emisiones. Naucher Global. Fuente: <http://naucher.com/menu-actualidad/medio-ambiente-marino/consideraciones-sobre-la-norma-que-establece-las-zonas-de-control-de-emisiones-eca/>
- Energía, G. A. L. P., & LIMPIA, M. (2006). Gás natural. Cadernos FGV Energia. Ano, 1. Fuente: https://www.shell.es/energia-e-innovacion/natural-gas/_jcr_content/par/relatedtopics.stream/1547802037560/14ae145c9ea0962e725f377d367f41f50536d8b56e80863c533d5cd8aa4122ec/natural-gas-providing-more-and-cleaner-energy-spanish.pdf
- Europea, U. (2018). Informe de La Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo sobre la aplicación y el cumplimiento de las normas sobre el contenido de azufre de los combustibles para uso marítimo establecidas en la Directiva (UE) 2016/802, relativa a la reducción del contenido de azufre de determinados combustibles líquidos. Fuente: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2018:0188:FIN:ES:PDF>
- Gard.no. (2004). Annex VI of Marpol 73/78 - Regulations for the Prevention... - GARD. Fuente: <http://www.gard.no/web/updates/content/53059/annex-vi-of-marpol-7378-regulations-for-the-prevention-of-air-pollution-from-ships>
- Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. (2020). Visor de dades de la qualitat de l'aire. Fuente: http://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/atmosfera/qualitat_de_l_aire/vols-saber-que-respires/visor-de-dades/
- Generalitat Valencia. Qualitat ambiental, dades en línia. (2020). Fuente: <http://www.agroambient.gva.es/va/web/calidad-ambiental/datos-on-line>
- Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial y Vivienda. Información de la calidad del aire (2020). Fuente: <https://www.ingurumena.ejgv.euskadi.eus/r49-aa17a/es/aa17aCalidadAireWar/estacion/mapa?locale=es>
- González-Cancelas, N., Soler-Flores, F., Orive, A., & Camarero-Orive, A. (2013). Transporte marítimo y medio ambiente: las implicaciones de las SECAS y las ECAS. Revista Transporte y Territorio, (8), 138-156. Fuente: [http://retedigital.com/wp-content/themes/rete/pdfs/portus_plus/3_2012/Desarrollo_urbano_portuario/AlfonsoC.Orivet_NicolettaGonzálezCancelas_AlbertoCamareroOrive_FranciscoSol](http://retedigital.com/wp-content/themes/rete/pdfs/portus_plus/3_2012/Desarrollo_urbano_portuario/AlfonsoC.Orivet_NicolettaGonzálezCancelas_AlbertoCamareroOrive_FranciscoSolerFlores.pdf)
[erFlores.pdf](http://retedigital.com/wp-content/themes/rete/pdfs/portus_plus/3_2012/Desarrollo_urbano_portuario/AlfonsoC.Orivet_NicolettaGonzálezCancelas_AlbertoCamareroOrive_FranciscoSol)

- Hammingh, P., Aben, J.M.M., Blom, W.F., Jimmink, B.A., Vries, de W.J., Visser, M., (2007). Effectiveness of international emission control measures for North Sea shipping on Dutch air quality. MNP. Fuente: <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/500092004.pdf>
- Isabel F. Lantigua. (2019). El Mundo. Madrid, Irrespirable. Fuente: <https://www.elmundo.es/madrid/2019/06/25/5d123f6bfc6c83a27a8b4710.html>
- Krakowski, R. (2017). The emissions reduction possibility of sulphur compounds of vessels sailing in Emission Control Areas (ECA). Combustion Engines, 56. Fuente: http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-d5c891f7-7109-4ce0-a757-47fddfe34dac/c/krakowski_the_emissions_ce_2_2017.pdf
- Lindstad, H. E., Rehn, C. F., & Eskeland, G. S. (2017). Sulphur abatement globally in maritime shipping. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 57, 303-313. Fuente: <https://openaccess.nhh.no/nhh-xmlui/bitstream/handle/11250/2464830/Sulphur%2BAbatment%2BGlobally%2Bin%2BMaritime%2BShipping-15sept%2B2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Matthias, V., Aulinger, A., Backes, A., Bieser, J., Geyer, B., Quante, M., & Zeretzke, M. (2016). The impact of shipping emissions on air pollution in the greater North Sea region–Part 2: Scenarios for 2030. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16(2), 759. Fuente: <https://pdfs.semanticscholar.org/4031/c0cf811d0c6a8f27c532962d534c22926f34.pdf>
- Matthias, V., Bewersdorff, I., Aulinger, A., & Quante, M. (2010). The contribution of ship emissions to air pollution in the North Sea regions. *Environmental Pollution*, 158(6), 2241-2250. Fuente: <https://www.coastdat.eu/imperia/md/content/gkss/presse/pressemitteilungen/luftverschmutzungimmeerraum.pdf>
- Medio Ambiente de Castilla y León. Datos de la Red de Control de la Calidad del Aire (2020). Fuente: <http://servicios.jcyl.es/esco/cargarFrmTiempoReal.action>
- Nikopoulou, Z. (2017). Incremental costs for reduction of air pollution from ships: a case study on North European emission control area. *Maritime Policy & Management*, 44(8), 1056-1077. Fuente: https://www.researchgate.net/profile/Zoi_Nikopoulou/publication/318547687_Incremental_costs_for_reduction_of_air_pollution_from_ships_a_case_study_on_North_European_emission_control_area/links/5bccf9b4458515f7d9d01f18/Incremental-costs-for-reduction-of-air-pollution-from-ships-a-case-study-on-North-European-emission-control-area.pdf

- Olaniyi, E. O., & Gerlitz, L. (2019). LNG MARITIME ENERGY CONTRACTING MODEL. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 7(1), 574-594. Fuente: http://jssidoi.org/jesi/uploads/articles/25/Olaniyi_LNG_Maritime_energy_contracting_model.pdf
- Organización Marítima Internacional (2019). Óxidos de azufre (SO_x) – Regla 14. Fuente: [http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Sulphur-oxides-\(SOx\)---Regulation-14.aspx](http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Sulphur-oxides-(SOx)---Regulation-14.aspx)
- Orive, A. C., Orive, A. C., Cancelas, M. N. G., & Guijarro, E. D. (2012). Transporte marítimo: de la SECA a la ECA. *Revista de Obras Públicas*, 159(3.537). Fuente: http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/2012/2012_noviembre_3537_05.pdf
- Orivet, A. C., González-Cancelas, N., Camarero-Orive, A., & Soler-Flores, F. En este artículo se analizan los resultados de la implantación de las SECAs en el transporte marítimo, los puertos y la ciudad portuaria. Fuente: http://retedigital.com/wp-content/themes/rete/pdfs/portus_plus/3_2012/Desarrollo_urbano_portuario/AlfonsoC.Orivet_NicolettaGonz%C3%A1lezCancelas_AlbertoCamareroOrive_FranciscoSolerFlores.pdf
- Port de Barcelona (2020). ¿Cómo trabaja el Port de Barcelona para un futuro más sostenible? LinkedIn del Puerto de Barcelona. Fuente: https://www.linkedin.com/posts/portdebarcelona_portdebarcelona-sostenible-gnl-activity-6627885025113186304-nzN0/
- Resumen general del tráfico portuario. Ministerio de transporte, movilidad y agenda urbana. Gobierno de España. Fuente: <http://www.puertos.es/es-es/estadisticas/EstadisticaMensual/12%20Diciembre%202019.pdf>
- Schembari, C., Cavalli, F., Cuccia, E., Hjorth, J., Calzolari, G., Pérez, N., ... & Raes, F. (2012). Impact of a European directive on ship emissions on air quality in Mediterranean harbours. *Atmospheric Environment*, 61, 661-669. Fuente: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231012006103>
- Smith, T. W. P., Jalkanen, J. P., Anderson, B. A., Corbett, J. J., Faber, J., & Hanayama, S. (2015). Third IMO GHG Study 2014—executive summary and final report. *Int. Maritime Organization (IMO)*. Fuente: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Third%20Greenhouse%20Gas%20Study/GHG3%20Executive%20Summary%20and%20Report.pdf>
- Stéphanie Chevalier Naranjo (2019). Contaminación: barcos de cruceros vs. automóviles. Statist, bussines data platform. Fuente: <https://es.statista.com>
- Terminal Marítima de Zaragoza. Enlace: <https://tmzaragoza.eu/tmz>

- Topali, D., & Psaraftis, H. N. (2019). The enforcement of the global sulfur cap in maritime transport. *Maritime Business Review*. Fuente: https://www.researchgate.net/profile/Harilaos_Psaraftis/publication/332162263_The_enforcement_of_the_global_sulfur_cap_in_maritime_transport/links/5cb211ffa6fdcc1d4992bb3f/The-enforcement-of-the-global-sulfur-cap-in-maritime-transport.pdf
- Tran, T. T., & Mölders, N. (2012). Potential impacts of an Emission Control Area on air quality in Alaska coastal regions. *Atmospheric environment*, 50, 192-202. Fuente: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231011013264>
- Tran, T. T., & Mölders, N. (2012). Potential impacts of an Emission Control Area on air quality in Alaska coastal regions. *Atmospheric environment*, 50, 192-202. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231011013264>
- UNCTAD, C. D. (2018). Informe sobre Transporte Marítimo 2018. Fuente: https://unctad.org/es/PublicationsLibrary/rmt2018_es.pdf
- Van, T. C., Ramirez, J., Rainey, T., Ristovski, Z., & Brown, R. J. (2019). Global impacts of recent IMO regulations on marine fuel oil refining processes and ship emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 70, 123-134. Fuente: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920918309155>
- Vidal, J. (2009). Health risks of shipping pollution have been 'underestimated'. *The Guardian*, 9. Fuente: <https://www.theguardian.com/environment/2009/apr/09/shipping-pollution>
- Zetterdahl, M., Moldanova, J., Pei, X., Pathak, R. K., & Demirdjian, B. (2016). Impact of the 0.1% fuel sulfur content limit in SECA on particle and gaseous emissions from marine vessels. *Atmospheric Environment*, 145, 338-345. Fuente: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231016307221>
- Zhang, Q., Zheng, Z., Wan, Z., & Zheng, S. (2020). Does emission control area policy reduce sulfur dioxides concentration in Shanghai?. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 81, 102289. Fuente: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920919312672>

9. ANEXOS

- Tablas con promedios mensuales de todos los contaminantes por meses:

		BARCELONA (Eixample) - No influencia			EL PRAT -BCN (Jardins de la Pau) - Influencia puerto		
Promedio por meses		Estación A (SO ₂)	Estación A (NO ₂)	Estación A (PM ₁₀)	Estación B (SO ₂)	Estación B (NO ₂)	Estación B (PM ₁₀)
2 0 1 9	Enero	1,4352	49,249	20,7177	2,035	38,697	22,829
	Febrero	1,721	62,214	35,287	4,762	45,715	
	Marzo	1,809	52,052	31,785	3,973	35,401	27,192
	Abril	1,995	43,485	27,737	2,698	42,857	20,681
	Mayo	1,501	48,946	24,292	2,520	30,958	18,953
	Junio	1,768	51,044	34,105	3,217	27,206	27,331
	Julio	2,560	51,902	31,759	2,260	29,516	26,008
	Agosto	1,543	39,062	26,198	3,087	34,237	22,587
	Septiembre	1,557	51,247	26,793	2,669	23,206	21,392
	Octubre	1,466	51,334	27,767	1,496	30,032	22,518
	Noviembre	2,304	46,253	17,267	1,609	31,575	15,723
	Diciembre	1,512	46,256	25,183	1,503	34,233	20,857
2 0 2 0	Enero	1,580	52,234	30,515	2,094	34,659	24,796
	Febrero	1,520	47,651	30,497	1,898	32,520	29,356
	Marzo	1,641	26,626	21,594	1,462	21,506	19,959
	Abril	1,142	19,367	18,094	1,352	15,632	15,916

		VALENCIA (Avd. Francia) - Influencia Puerto			VALENCIA (Politecnica) - No influencia		
Promedio por meses		Estación C (SO ₂)	Estación C (NO ₂)	Estación C (PM ₁₀)	Estación D (SO ₂)	Estación D (NO ₂)	Estación D (PM ₁₀)
2 0 1 9	Enero	4,065	33,2083	24,7097	4,5484	32,7742	23,1935
	Febrero	5,214	46,500	36,857	4,036	33,214	30,071
	Marzo	5,226	31,581	27,613	4,290	24,774	25,419
	Abril	4,267	18,400	18,400	3,800	14,400	14,567
	Mayo	4,419	16,935	17,032	3,903	10,226	20,783
	Junio	4,033	12,900	23,933	3,700	11,733	23,000
	Julio	3,548	11,290	24,226	3,742	14,355	22,419
	Agosto	3,774	15,968	20,645	3,194	11,452	17,097
	Septiembre	3,733	14,967	18,300	3,367	12,567	12,200
	Octubre	3,968	20,742	15,419	3,677	19,903	16,480
	Noviembre	4,100	15,767	6,033	4,100	12,633	12,000
	Diciembre	4,419	25,581	12,194	3,774	19,677	19,710
2 0 2 0	Enero	4,387	32,065	21,600	4,065	24,871	25,452
	Febrero	4,379	29,345	37,625	3,414	21,793	23,034
	Marzo	3,774	11,419	12,452	3,452	9,161	12,290
	Abril	3,550	5,700	10,900	3,250	4,500	15,250

		BILBAO (Santurce) - Influencia Puerto			BILBAO (Abanto) - No influencia		
Promedio por meses		Estación E (SO ₂)	Estación E (NO ₂)	Estación E (PM ₁₀)	Estación F (SO ₂)	Estación F (NO ₂)	Estación F (PM ₁₀)
2 0 1 9	Enero	5,4516	25,7742	12,0000	8,1290	20,8000	7,7097
	Febrero	7,107	32,000	22,231	10,500	24,643	16,714
	Marzo	5,065	25,226	17,267	6,452	16,355	13,774
	Abril	7,100	18,833	13,966	5,167	14,833	11,767
	Mayo	4,935	19,935	14,677	6,097	15,161	12,548
	Junio	3,800	18,467	16,100	3,167	13,400	14,267
	Julio	3,226	16,226	16,323	2,533	12,667	14,167
	Agosto	3,161	15,419	13,161	3,419	14,226	11,222
	Septiembre	3,214	19,607	16,571	3,967	16,367	14,033
	Octubre	3,581	21,323	12,467	7,000	16,710	11,677
	Noviembre	4,067	18,567	7,933	7,500	14,133	7,667
	Diciembre	4,871	22,645	11,065	8,258	19,097	10,194
2 0 2 0	Enero	5,667	25,133	14,033	5,226	21,806	14,290
	Febrero	5,207	23,517	19,621	5,931	18,793	19,240
	Marzo	4,097	19,290	16,581	4,613	15,581	14,839
	Abril	3,050	14,050	10,222	2,556	7,706	8,000

		MADRID (Escuelas Aguirre)			SORIA		
Promedio por meses		Estación G (SO ₂)	Estación G (NO ₂)	Estación G (PM ₁₀)	Estación H (SO ₂)	Estación H (NO ₂)	Estación H (PM ₁₀)
2 0 1 9	Enero	11,323	74,5161	25,5161	3,3548	24,0000	9,9355
	Febrero	9,929	77,071	30,571	3,107	27,500	20,071
	Marzo	9,097	57,065	25,355	2,750	18,484	12,214
	Abril	8,700	48,467	14,467	2,200	23,867	7,733
	Mayo	9,129	43,032	14,935	1,968	17,517	9,000
	Junio	9,500	41,933	25,367	2,467	20,900	15,633
	Julio	10,065	39,032	28,323	1,968	17,742	16,654
	Agosto	5,742	34,065	15,290	2,129	14,903	9,742
	Septiembre	4,467	45,233	18,133	2,367	14,933	11,920
	Octubre	5,419	55,000	22,194	2,645	19,968	11,290
	Noviembre	5,433	42,033	11,200	2,833	13,867	4,200
	Diciembre	6,516	49,871	16,613	2,452	24,129	10,290
2 0 2 0	Enero	7,387	55,903	23,645	2,452	27,387	14,032
Febrero	7,241	52,241	29,621	1,690	23,793	18,000	
Marzo	7,323	32,194	13,774	1,903	13,258	13,355	
Abril	7,200	16,550	11,150	1,550	8,850	8,350	

- Gráficos:

