

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

Nombre del estudiante: Marc Petriz Alarcón

Nombre del tutor: Jordi Rosell Segura

28/06/2020

MEMORIA DEL TRABAJO FINAL DE GRADO

Curso: 4º

Estudios: Logística y Negocios Marítimos

ABSTRACT

CASTELLANO

Esta investigación está dirigida a conocer el impacto del puerto sobre la ciudad, en términos de contaminación atmosférica. La contaminación atmosférica es una de las principales causas de mortalidad en las ciudades, los niveles de contaminación en estas, en este caso la ciudad de Barcelona, ha sobrepasado los niveles recomendados durante años.

El objetivo de la investigación es conocer cuáles son las causas principales de contaminación portuaria que afecta a la ciudad de Barcelona. Para conseguirlo se han realizado regresiones lineales para observar los efectos de variables como son: el número de llegadas de buques, el Gross Tonnage de estos o el día de la semana sobre las cantidades de distintos contaminantes registrados.

Los resultados que se han obtenido, determinan que el número de llegadas y la tipología de buque, no afectan en los niveles de contaminación. Al contrario, que el gross tonnage (tamaño de los buques) muestra que existe un impacto significativo sobre los niveles de contaminación. Además, también se detectan variaciones importantes a lo largo del tiempo, tanto dentro de una misma semana como durante el año.

CATALÀ

Aquesta investigació està dirigida a conèixer l'impacte del port sobre la ciutat, en termes de contaminació atmosfèrica. La contaminació atmosfèrica és una de les principals causes de mortalitat a les ciutats, els nivells de contaminació a aquestes, en aquest cas a la de Barcelona, ha sobrepassat els nivells recomanats durant anys.

L'objectiu de la investigació és conèixer quines són les causes principals de contaminació portuària que afecta a la ciutat de Barcelona. Per aconseguir-ho s'han realitzat regressions lineals per observar els efectes de variables com són: el nombre d'arribades de vaixells, el Gross Tonnage d'aquests o el dia de la setmana sobre les quantitats de diferents contaminants registrats.

Els resultats que s'han obtingut, determinen que el nombre d'arribades i la tipologia de vaixell, no afecten en els nivells de contaminació. Per una altra part, el gross tonnage (mida dels vaixells) que mostra que hi ha un impacte significatiu

sobre els nivells de contaminació. Tanmateix, també es detecten variacions importants al llarg del temps, tant dins d'una mateixa setmana com durant l'any.

ENGLISH

The aim of this research is to find out the impact of the port on the city, in terms of air pollution. Air pollution is one of the main causes of mortality in cities. Pollution levels in cities, in this case the city of Barcelona, it has exceeded recommended levels for years.

The objective of the research is to find out what are the main causes of port pollution that affect the city of Barcelona. To achieve this, a series of linear regressions have been performed to observe the effects of variables as they are: the number of arrivals, their Gross Tonnage or the day of the week on the amounts of different registered pollutants.

The results we have obtained, determine that the number of arrivals and the type of ship do not affect the levels of contamination. On the other hand, the gross tonnage (ship size) shows that there is a significant impact on pollution levels. In addition, important variations are also detected over time, both within the same week and throughout the year.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	5
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1 Contaminación atmosférica	7
2.2 El puerto de Barcelona.....	11
3. OBJETIVOS	16
3.1 Objetivos generales	16
3.2 Objetivos específicos	16
4. METODOLOGÍA	17
4.1 Metodología de recogida de datos.....	17
4.2 Base de datos	19
4.2.1 Escalas de los buques	19
4.2.2 Estaciones de control de inmisiones.....	22
4.3 Metodología de análisis de datos.....	25
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	27
5.1 Regresión lineal según estación	27
5.2 Regresión lineal según día de la semana	30
5.3 Regresión lineal según tipología de buque.....	33
6. DISCUSIÓN	34
7. CONCLUSIONES	38
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	40
9. ANEXOS	43

1. INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la salud (OMS), “en 2012, 6,5 millones de muertes (el 11,6% de la mortalidad mundial total) guardaban relación con la contaminación atmosférica o de interiores”. Además, se calcula que 9 de cada 10 personas en el mundo respira aire insalubre, lo que conlleva que no tan solo muertos, sino también a nivel de enfermedades, es por ello que se toman medidas “mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma”.

Se ha planteado este tema de estudio, ya que el puerto de Barcelona se trata de un puerto importante, y sabemos que los buques actualmente son fuertes generadores de gases contaminantes para el medio ambiente. El puerto de Barcelona al tratarse de un puerto que es contiguo a la ciudad, no sabemos hasta qué punto la polución provocada por los motores de combustión de los buques comerciales afecta a la calidad del aire. También añadir, que este puerto es de los que más crece según Berengueras (2018), que alega que durante el año 2017 llegó a aumentar las cifras de contenedores en transbordo hasta un 137%, por lo que implica un impacto no tan solo económico sino también medioambiental. Es por eso que actualmente existe una relación entre puerto y contaminación, y debemos atender hasta qué punto esta relación es significativa para la ciudad a la que pertenece.

La motivación que ha provocado en mí tener un gran interés en realizar esta investigación, es que actualmente trabajo en el puerto de Barcelona, y siento un gran interés en todo aquello que le rodea. Además, actualmente, el apartado medioambiental es un tema social que actualmente está presente en nuestro día a día y coge cada vez más relevancia en la población, y también para las instituciones gubernamentales y públicas. Por último, la elección del estudio de cómo afecta la contaminación de los buques comerciales a Barcelona, está incentivada y directamente relacionada con el grado con el que estoy cursando en Logística y Negocios Marítimos, ya que se trata de la gestión portuaria de los buques comerciales que llegan al puerto.

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

Actualmente, existe un antecedente de trabajo de investigación realizado por Prieto Montañez (2019), que trata sobre la estimación de las emisiones atmosféricas de buques en el Puerto de Barranquilla (Colombia), un trabajo que se acerca al que se expone en este mismo, pero con diferencias, como es la localización de la investigación realizada y como la realiza, que engloba todo tipo de buques que se llegan al Puerto de Barranquilla, y que es sobre un cálculo de las inmisiones que llega a generar únicamente al Puerto.

El tema de esta investigación es una problemática social actual, debido a la preocupación existente por la contaminación atmosférica actual, se están tomando medidas para limitar las emisiones de contaminantes de importantes fuentes de emisión, sobre todo en zonas periurbanas. Es por ello que este estudio tiene el interés de conocer el impacto que realiza el puerto y sus operaciones a la ciudad de Barcelona, uno de los focos de emisiones son los buques, y ante el aumento del transporte marítimo al puerto de Barcelona en estos últimos años, se pretende observar su impacto.

2. MARCO TEÓRICO

En el apartado marco teórico, se muestran los resultados de la búsqueda de literatura académica relacionada con la base de este trabajo, para tener una idea clara de lo que se investiga, por medio de investigaciones previas, o reflexiones teóricas que creen la base en la que se sustentará este proyecto de investigación, para de esta manera poder explicar el trabajo y poder mostrar una interpretación de los resultados, plantear una serie de conclusiones, y recomendaciones si fuera necesario. La investigación literaria se ha basado en temas directos a este, como es la contaminación atmosférica, el puerto de Barcelona, y los buques. Una vez realizada esta parte de la investigación por estos puntos, hemos desglosado cada uno de ellos mezclándolos a la vez, como es el ejemplo de contaminación atmosférica producida en el puerto de Barcelona, y la cantidad de contaminación generada por los buques entre otros aspectos a buscar.

2.1 Contaminación atmosférica

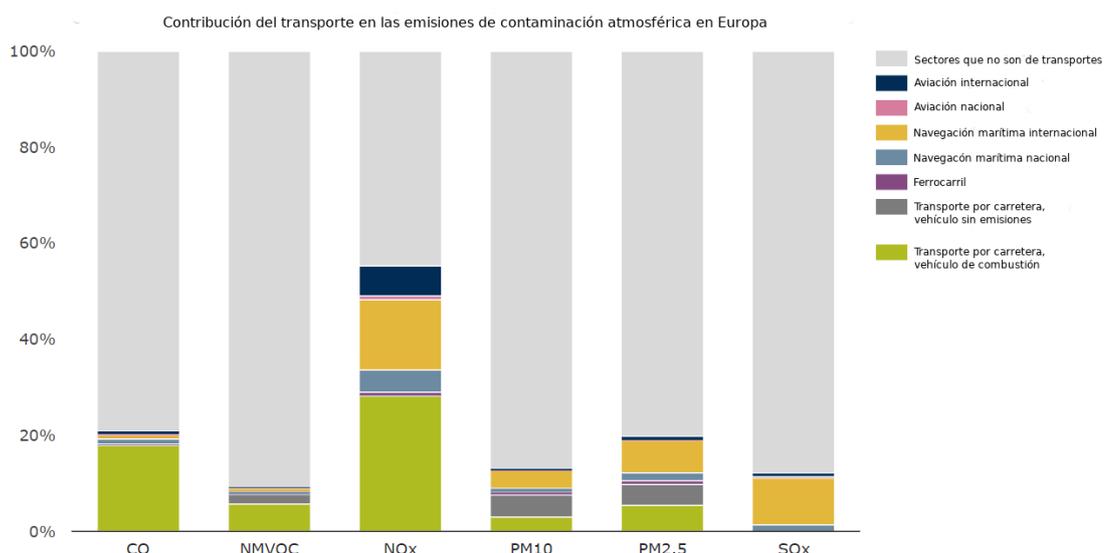
La presente investigación se focaliza en el impacto del ser humano por medio de los buques, sobre la contaminación atmosférica en las ciudades colindantes a los puertos que atracan.

Para iniciar tendremos que situarnos en este estudio, es adecuado mostrar una definición de la contaminación atmosférica, y según el Ministerio de Transición Ecológica (MITECO) es: “La contaminación atmosférica es un problema tanto local como global provocado por la emisión de determinadas sustancias que, bien por sí solas, bien por las resultantes de sus reacciones químicas, provocan efectos perjudiciales para el medio ambiente y la salud.”

La contaminación atmosférica surge de distintas fuentes, mayormente debido motivos antropogénicos, y la principal producción de contaminantes que proviene del ser humano emana del transporte. El transporte marítimo llega a movilizar hasta un 80% del volumen del comercio mundial de mercancías, según la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD, 2018), pero que efecto tiene el transporte marítimo sobre los puertos y sus poblaciones contiguas. La contaminación atmosférica derivada del transporte representa un 33% del total de las emisiones generadas por el comercio, y puede

llegar a ser más grande en otros sectores como es el industrial, que llega a representar el 80% de las emisiones (Cristea et al. 2013).

Por parte del transporte, se considera que los buques no son de los emisores más relevantes de gases a la atmósfera (Sin, 2012). No obstante, según Kwon et al. (2019), las emisiones generadas de los buques marinos llegan a ser 3 veces superiores a las emisiones generadas en puerto por el combustible, esto es debido a las actividades que complementan, carga y descarga de mercancías, aumento del tráfico portuario, actividad dentro del buque y otras actividades. Por otra parte, se considera que la industria del transporte marítimo a nivel internacional, llega a generar el 3% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero, un solo barco puede llegar a emitir el equivalente en 50 millones de vehículos en dióxido de azufre (SO₂) (Scott, 2014). Es por eso que se llegamos a considerar a la industria del transporte marítimo como uno de los que más impacto genera sobre el cambio climático.



Gráfica 1: Contribución del transporte en las emisiones de contaminantes atmosféricos.

En la *gráfica 1*, proporcionada públicamente por la Agencia Europea de Medio Ambiente (2017), podemos observar la contribución del transporte en las emisiones de contaminación atmosférica en Europa, y está dividida por los diferentes sectores del transporte. El principal contaminante producido por el transporte es el óxido de nitrógeno (NO_x), seguido a mucha distancia de óxido de carbono (CO), y las partículas en suspensión (PM_{2,5}) y (PM₁₀). Por último, encontramos óxidos de azufre (SO_x), y los compuestos orgánicos volátiles distintos al metano (NMVOC). Observando la tabla podemos extraer que los compuestos orgánicos volátiles distintos al metano (NMVOC), son los

contaminantes que menos influencia tienen transporte un 9,28% del total de emisiones, y corresponden al transporte marítimo nacional un 0,67%, y a nivel internacional un 0,62%, en cuanto al óxido de carbono (CO) únicamente un 20,98% de las emisiones corresponden al transporte, siendo a nivel marítimo internacional y nacional un 0,61% y un 1,28% respectivamente, unos niveles muy bajos respecto a otros sectores del transporte como es el transporte terrestre. Por otra parte, tenemos al óxido de nitrógeno (NO_x) cuya influencia del transporte es muy grande, llegando a ser más de la mitad (55,38%), el principal motivo por el cual este resultado es tan amplio es el transporte terrestre, y también el transporte marítimo internacional en un 14,74%. Por lo que corresponde a las partículas en suspensión tanto de 2,5 y 10, su influencia por parte del transporte es de 19,85% y de 13,11% correspondientemente, y en cuanto al sector del transporte marítimo tiene un peso equitativo al transporte terrestre. Finalmente, tenemos el caso del óxido de azufre (SO_x), que a pesar del nivel de emisiones correspondientes al transporte sean bajas (12,08%), dentro de este prácticamente todo corresponde al sector del transporte marítimo, tanto a nivel internacional como a nivel nacional, sobre todo a nivel internacional que es un 9,84%.

Los gases contaminantes que se generan del transporte surgen de la quema de combustibles fósiles por medio de los motores de combustión, los principales contaminantes son; Dióxidos de azufre (SO₂), Dióxido de Nitrógeno (NO₂) y las partículas en suspensión (PM), y posteriormente están otros contaminantes que surgen como reacción química de gases de la atmósfera, y otros contaminantes como es el caso del Ozono (O₃) (Maynard et al., 1999).

Los contaminantes principales producidos por el transporte marítimo:

- Dióxido de nitrógeno (NO₂): Es un compuesto químico formado por un átomo de Dióxido y 2 átomos de oxígeno. Se trata de uno de los principales gases contaminantes existentes actualmente, producidos mayoritariamente por la actividad humana, como puede ser el caso, sobre todo, de los vehículos de combustión, y la industria. Los efectos para del dióxido de nitrógeno sobre la salud de las personas son según el Ministerio de Transición Ecológica (MITECO): “inflamación de las vías aéreas, afecciones de órganos, como hígado o bazo, o de sistemas, como el sistema circulatorio o el inmunitario, que propician a su vez infecciones pulmonares e insuficiencias respiratorias.”

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

- Óxidos de Azufre (SO_x): Son unos gases que se generan a través de la combustión, generados principalmente como el Dióxido de Nitrógeno (NO_2), por los vehículos de combustión (tráfico) y la industria. Su exposición puede llegar a provocar enfermedades en el sistema respiratorio, y en el ecosistema pudiendo llegar a causar lluvia ácida.
- Partículas en suspensión (PM_{10}): Se trata de partículas microscópicas que quedan suspendidas en el aire, mayoritariamente generadas por el ser humano, estas partículas son perjudiciales para la salud, el ecosistema, y también para el clima. Los efectos para la salud de estar en exposición en largos a esta partícula pueden llegar a generar enfermedades de carácter respiratorias, y también cardiopulmonares.
- Ozono (O_3): Es un compuesto gaseoso, compuesto por 3 átomos de oxígeno. Existen dos tipos de ozono, el ozono situado en la troposfera surge por una reacción química de Óxidos de Nitrógeno (NO_x), compuestos orgánicos volátiles (COV), y una reacción catalizada de la luz solar (CEMAQ, 2017). En verano alcanza niveles más altos debido a la reacción que realiza con la luz solar. Tiene un efecto principalmente en el sistema respiratorio (ataques de asma, tos, deterioro de la función pulmonar) (Sanitas, 2020).

Mediante los motores, usados para generar propulsión y energía al buque, se generan las emisiones atmosféricas, y estas pueden variar dependiendo de algunos factores como: el tipo de combustible que consume; el tipo de motor; la eficiencia del motor, entre otros (Pham & Nguyen, 2015). Los combustibles más comunes son Marine Fuel Oil (MFO), Marine diésel Oil (MDO), y finalmente, el Heavy Fuel Oil (HFO).

En el Anexo VI del MARPOL de la Organización Marítima Internacional que se adoptó en 1997, se registran una serie de medidas para la reducción progresiva de las emisiones de los principales contaminantes atmosféricos generados por los buques estén regulados como es el caso de los óxidos de nitrógeno (NO_x) y óxidos de azufre (SO_x), y restringidos como es el caso de la emisión de sustancias que afectan a la capa de ozono.

2.2 El puerto de Barcelona

Poniéndonos en contexto de la situación geográfica del puerto a investigar. El Puerto de Barcelona, situado en Barcelona, España. Este mismo es contiguo a la ciudad, y sus características, extraídas de su página web oficial, son de una superficie terrestre de 1.109 hectáreas, con una longitud de 23 kilómetros de muelles y atraques, actualmente, posee 38 grúas para la descarga de mercancía, de estas 27 son para contenedores. Además, el puerto de Barcelona es uno de los más importantes de Europa, y uno de los que más crece, que durante el año 2017 llegó a aumentar las cifras de contenedores en transbordo hasta un 137% (Berengueras, 2018). Con este aumento en las cifras económicas nos da a entender que el número de buques comerciales está aumentando y, por lo tanto, el impacto de estos sobre la ciudad de Barcelona.

El puerto también dispone de diferentes terminales, desde terminales de contenedores, como son las más relevantes APM terminals de Barcelona, y Barcelona Europe South Terminal (BEST), pasando por terminales de Cruces, donde se diferencian dos, Muelle Adossat y Muelle Barcelona, que disponen de una capacidad de 5 y 2 buques de cruceros respectivamente, también 2 terminales para mercancía rodada (Ro-Ro), muelles también para mercancía a granel y sólida, y por último, 3 terminales de Short Sea Shipping (SSS).



Ilustración 1:Port de Barcelona. (s.f.)

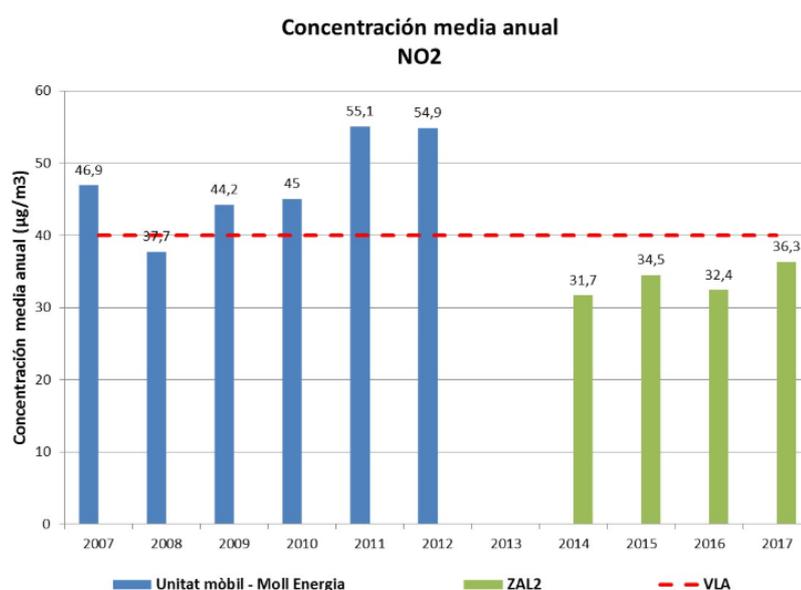
En 1978 el puerto adquiere la categoría de puerto autónomo y, por lo tanto, puede actuar por su cuenta como si de una empresa mercantil se tratase, considerándose igualmente como un organismo público. Además, hubo ese mismo año cambios en la forma de dirigir el Puerto, ya que el Gobierno crea las Autoridades Portuarias, formándose en este caso la Autoridad Portuaria de Barcelona (APB), eso generaba una centralización de la gestión de los puertos, eliminando, por lo tanto, los puertos autónomos nacidos en 1978.

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

Actualmente, en Barcelona la situación al respecto, según la Agencia de Salud Pública de Barcelona (ASPB) mediante un informe de Evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Barcelona del año 2016, dice así: “Barcelona registra unos niveles de contaminación – especialmente por partículas en suspensión (PM₁₀) y dióxido de nitrógeno (NO₂) – que son muy nocivos para la salud de las personas, y que no cumplen con las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Un 98% de la población puede estar expuesta a niveles superiores de PM₁₀ y un 68%, a niveles superiores de NO₂.”

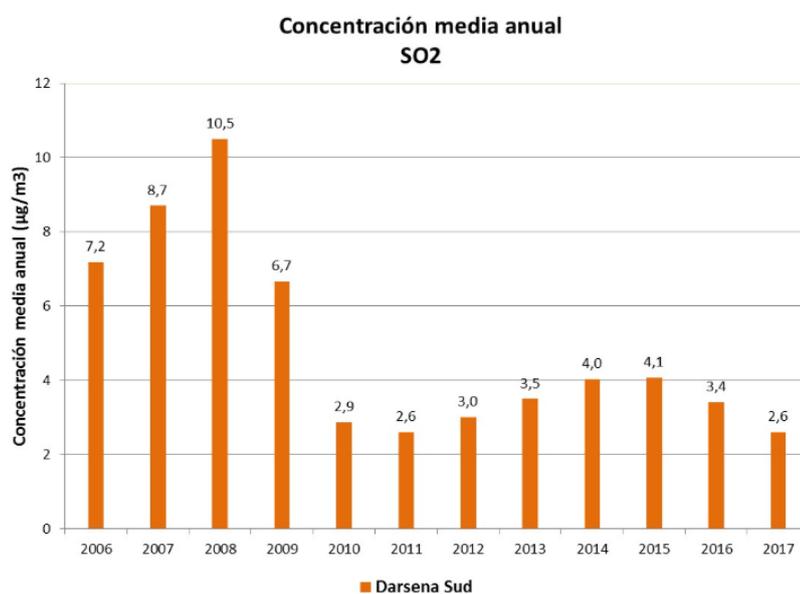
López Urbaneja, S. (2010, p. 205) expone que uno de los principales motivos de la contaminación que se produjo en el puerto de Barcelona durante los años 2006 y 2008, fueron producidos por los motores de los barcos, no obstante, la calidad del aire en el puerto era buena. Por otra parte, Blanchar, C. (2019), explica la situación de la ciudad de Barcelona en cuanto a la contaminación atmosférica, y expone que Barcelona lleva desde 2010 superando los valores máximos de Dióxido de Nitrógeno (NO₂) fijado por la Unión Europea.

Tras observar, que Barcelona supera los indicadores por parte de la OMS en cuanto a la contaminación atmosférica se refiere, hemos visto que niveles de contaminación llegan a haber en el Puerto de Barcelona, ya que el mismo puerto, posee unas instalaciones de control de inmisiones que se producen dentro del puerto, y estos datos que recolectan no son públicos pero, por otra parte, se han hecho públicos unas graficas de algunos contaminantes, y nos muestra lo siguiente (Puerto de Barcelona, s.f.):



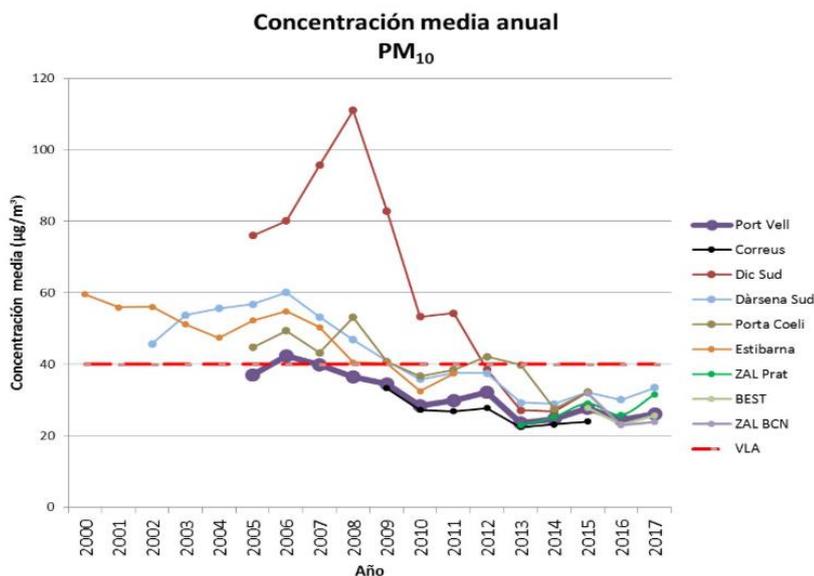
Gràfica 2: Concentració media anual NO₂. Puerto de Barcelona

En la *gráfica 2*, nos muestran los niveles de concentración medio anual en términos de Dióxido de Nitrógeno (NO₂), y podemos observar como los niveles de este contaminante están por encima de los valores límites de exposición ambiental (VLA), destacando sobretodo los años 2011 y 2012, marcando niveles muy superiores a los anteriores. Hasta la fecha de 2012, los datos eran recopilados por una unidad móvil en el moll de l'energia, más tarde en 2014, son recopilados en la Zona de Actividad Logística 2 (ZAL2), en este caso los datos se sitúan por debajo, pero siguen mostrando altibajos durante los siguientes años, acercándose otra vez a los niveles VLA. Por lo que el puerto por si solo genera contaminación suficiente como para acercarse y hasta superar los VLA.



Gráfica 3: Concentración media anual SO₂. Puerto de Barcelona

Respecto a la *gráfica 3*, en este caso muestra la concentración media anual de Dióxido de Azufre (SO₂), únicamente trata una estación de control, y es la situada en la dársena sud. Como se puede apreciar se observa unos números de media muy altos al inicio, que en 2010 parecen descender radicalmente, esto es debido según la autoridad portuaria de Barcelona principalmente debido al cierre de una planta de tratamiento de una planta industrial de procesamiento azufre a las afueras del puerto, y también al descenso de buques, y actividades relativas a este debido a la crisis económica del 2008.



Gráfica 4: Concentración media anual PM₁₀. Puerto de Barcelona

Respecto a la *gráfica 4*, sobre la concentración media anual en partículas en suspensión (PM₁₀), observamos un descenso a partir del 2008 en todas las estaciones de control del puerto de Barcelona, motivado por la finalización de las obras en el dique sud, de ahí su importante descenso en la estación de control del mismo lugar. A partir del 2013, en todas las estaciones los niveles de este contaminante están por debajo del VLA, lo que nos hace entender que únicamente el puerto genera suficiente como para acercarse a los límites de VLA.

Se ha demostrado que existe una relación entre una exposición a los hidrocarburos producidos en el puerto, y el impacto que este genera sobre el suelo, y la salud de la población, cuando no existe una acción para el tratamiento a esta exposición (Guilarte, A. et al., 2015).

Vistos estos distintos puntos, donde observamos que la contaminación del puerto de Barcelona es mayoritariamente producida por parte de los buques y las actividades que generan, y que la ciudad de Barcelona lleva años superando los límites recomendados por la Unión Europea en materia de contaminación atmosférica, en este trabajo de investigación queremos observar hasta qué punto influye un buque amarrado en el puerto de Barcelona a la contaminación atmosférica de Barcelona.

Para concluir, resumiendo las ideas expuestas en todo este apartado concluimos que, los principales contaminantes que producen los buques son el Dióxido de Nitrógeno (NO₂), las partículas en suspensión (PM₁₀), y sobretodo el Dióxido de

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

Azufre (SO₂) y, por otra parte, también el Ozono (O₃) que es un contaminante generado de manera secundaria, formándose por la emisión de Óxidos de Nitrógeno (NO_x) y otros compuestos volátiles mezclados en la troposfera. Además, la Agencia de Salud Pública de Barcelona (ASPB) indica que los niveles de contaminación por parte de Barcelona están por encima de lo recomendado. El puerto es uno de los mayores focos de contaminación existentes para la ciudad actualmente, y más teniendo en cuenta que el puerto de Barcelona es contiguo a la ciudad y, por lo tanto, su impacto es mayor que en otros casos. Cabe tener en cuenta que no tan solo las emisiones de los propios buques son relevantes, sino también los movimientos que provoca alrededor de la llegada de un buque a puerto. Estos puntos son clave para entender la motivación, y la base de este trabajo de investigación.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivos generales

Evaluar cómo llega a influir la llegada de los buques comerciales en el puerto de Barcelona sobre la contaminación atmosférica de la ciudad de Barcelona.

3.2 Objetivos específicos

- Identificar el impacto que realizan los buques comerciales a la calidad del aire de la ciudad de Barcelona.
- Delimitar la influencia del puerto de Barcelona sobre la ciudad en términos de polución del aire.
- Establecer que contaminantes son los más influenciados por la llegada de los buques al puerto.
- Analizar la relación de afectación entre el tipo de buque y la contaminación.
- Observar la evolución de la contaminación del puerto de Barcelona con el tiempo a corto plazo.

4. METODOLOGÍA

Esta investigación, como bien se menciona dentro de la introducción, será necesaria para abordar la cuestión de la afectación de la contaminación de los buques comerciales a Barcelona. Junto a ese objetivo, es importante facilitar soluciones o mejoras, si se da el caso de resultados negativos frente a la problemática.

4.1 Metodología de recogida de datos

Para realizar esta investigación empírica se ha contactado con la Autoridad Portuaria de Barcelona (APB), la cual nos ha facilitado el documento solicitado, un Excel que contiene las escalas de los buques, el tipo de buque del que se trata, el muelle en el cual ha estado amarrado, y el Arqueo Bruto o “Gross Tonnage” de cada uno de los buques, y el tiempo de estancia en el Puerto de Barcelona. Estos registros engloban durante 5 años enviados por la Autoridad Portuaria de Barcelona van desde el 2014 al 2018. La elección de este periodo temporal es debido a que podemos considerar este tramo de 5 años grande como para demostrar la existencia de una relación entre la contaminación atmosférica y los buques que llegan al Puerto de Barcelona, sin que los cambios tecnológicos a nivel naval en los motores de combustión, también en la normativa sean drásticos, y eso pueda significar alteraciones en este estudio, no obstante, como expongo a continuación cuando tratamos los contaminantes los años a considerar en este estudio cambian de 5 a 2.

El arqueo Bruto (Gross Tonnage, GT), es según el ministerio de defensa lo define como “El volumen o espacio cerrado de una embarcación, que se obtiene al efectuar el cálculo correspondiente y cuyo resultado expresa el tamaño de una embarcación y su capacidad utilizable”, esta se muestra en toneladas.

Posteriormente, hemos descargado unos datos públicos pertenecientes a la Generalitat de Cataluña, estos datos sobre la calidad del aire han sido extraídos mediante las estaciones de contaminación repartidas por toda Cataluña. Se trata del registro de inmisiones de cada una de las estaciones de control de inmisiones, que desglosa los diferentes contaminantes que se han producido por días en Cataluña. Para poder hacer el análisis correspondiente, es necesario que los años con los que se trabajen sean los mismos, es decir, desde el año 2014 al 2018. No obstante, debido a que los datos que engloban el periodo de

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

2014 a 2016, son muy escasos, llegando a únicamente tener datos de contaminantes de 12 días durante estos 3 años, en cambio, si observamos los datos que figuran durante 2017 y 2018, estos están completos todos los días, por lo que hará de este estudio más completo. Los datos expuestos en este documento engloban todas las estaciones de Cataluña, por lo que he acotado el número de estaciones a 6, para ver el área de influencia de los contaminantes pertenecientes de los buques a la ciudad de Barcelona. Estos puntos seleccionados han sido: Barcelona (Ciutadella), Barcelona (Eixample), Prat de Llobregat (Sagnier), Prat de Llobregat (Jardins la Pau), Badalona y Montseny.

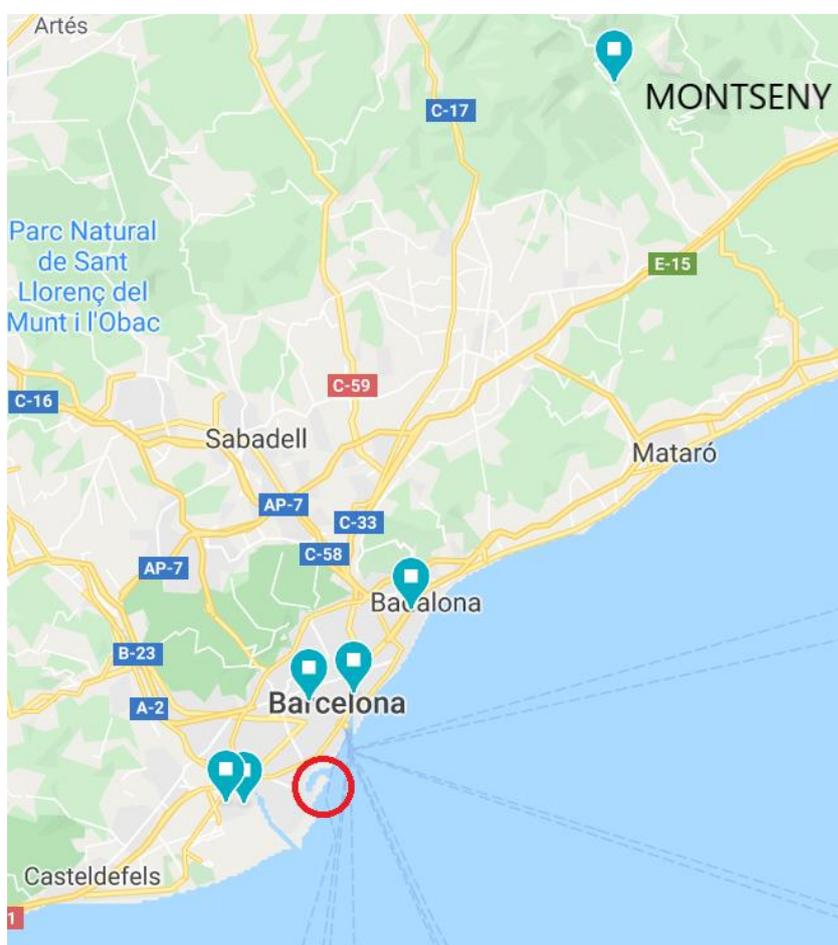


Ilustración 2: Estaciones de control de inmisiones a utilizar. Elaboración propia.

En la *ilustración 2*, podemos observar, unos iconos de ubicación de color azul que señalan las 6 estaciones de control de inmisiones que he mencionado con anterioridad, de esta manera delimitamos el área de influencia de los contaminantes producidos por los buques desde el puerto de Barcelona que está

señalado en la ilustración con un círculo rojo para diferenciar. La elección de estas estaciones en concreto se debe a su situación geográfica respecto al Puerto de Barcelona, y también porque son las estaciones que más contaminantes miden. Los iconos de ubicación de color azul, situados a la izquierda del Puerto de Barcelona, hacen referencia a las dos estaciones de control de inmisiones de El Prat de Llobregat (Sagnier, y Jardins de la Pau), por otro lado, al norte del círculo rojo, encontramos las dos estaciones correspondientes a Barcelona Eixample y Barcelona Ciutadella, delimitando entre las cuatro estaciones descritas hasta ahora un primer área de influencia, este primer área de influencia es uno cercano al epicentro de las emisiones a estudiar para empezar a definir el radio de afectación. Más al norte encontramos la estación que corresponde a Badalona ampliando el área de influencia para saber cómo de grande puede llegar a ser el radio de propagación de la contaminación del Puerto de Barcelona (también se podía haber seleccionado por radio de la ciudad de Barcelona las estaciones situadas en Viladecans, Gavá, Sant Cugat del Vallès o hasta Rubí, pero éstas no miden tantos contaminantes como la estación de Badalona, y además está última está en línea con la última estación con la que trabajamos del Montseny) y también esta estación está cerca de la ciudad de Barcelona, y finalmente, más al norte la estación situada en el Montseny. Además, todas las estaciones seleccionadas están en el área de Barcelona, y entre 5 y 25 metros de altura, excepto Montseny (La Castanya), que está en las comarcas de Girona y a 693 metros de altura, esta estación pretende ser una estación de control de que no debería que llega a ser la contaminación de los buques.

4.2 Base de datos

Para esta investigación empírica es necesaria una base de datos que nos permita hacer los cálculos necesarios para poder relacionar entre los tipos de buques que llegan y el tamaño que tienen, y por otra parte los contaminantes de las estaciones escogidas para delimitar la influencia.

4.2.1 Escalas de los buques

Esta base de datos se basa en las escalas que han realizado los buques al puerto de Barcelona, y se ha generado al existir un gran número de diferentes tipos de navíos un desglose por categorías, que nos servirá para trabajar con más facilidad con los datos, y poder cumplir con los objetivos marcados. La

diferenciación por distintas categorías, un total de 6, que se dividen por el tipo de función que realiza.

En las tablas, que mostraremos a continuación, se observa en la esquina inferior izquierda una fila con la categoría Total donde los valores no corresponden a la suma de estos, sino a la media, la desviación estándar, el mínimo y el máximo de la suma de todas las categorías por día, desde el 2014 al 2018.

TABLA 1: Llegada de buques

	Nº de observaciones	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Pasaje	1621	2,2	1,7	0	8
Transbordadores	6385	8,7	2,6	0	22
Carga Rodante	3698	5,1	2,5	0	22
Portacontenedores	4914	6,7	2,5	0	18
Graneleros y Tanques	2144	2,9	1,7	0	14
Pesca y otros	296	0,4	0,7	0	4
TOTAL	19058	26,1	6,4	8	60

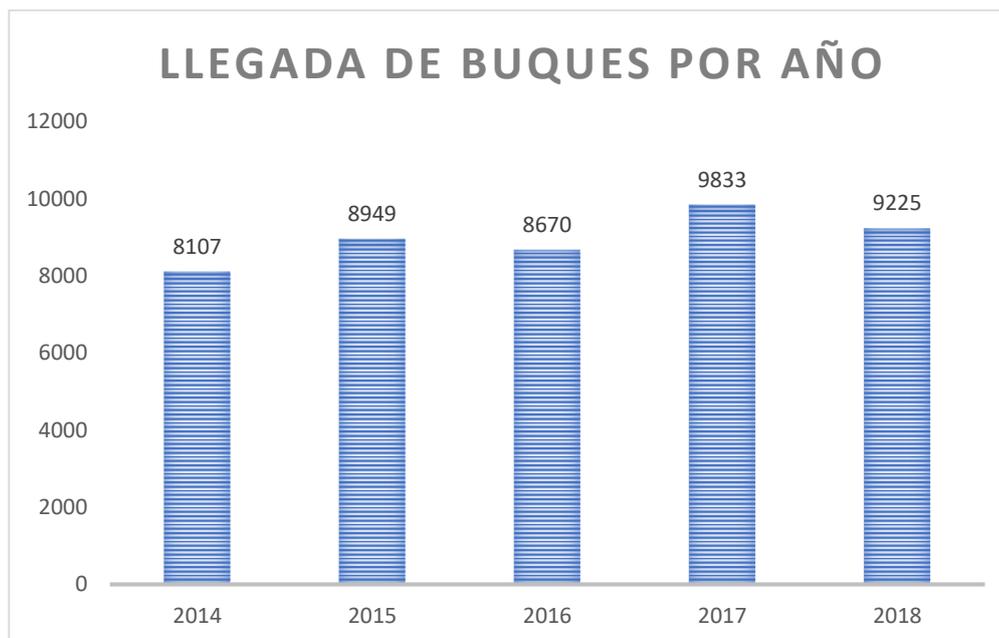
Tabla 1: Llegada de buques

El desglose por categorías es este:

- Categoría 0: Pasaje.
- Categoría 1: Transbordadores + Turísticos + Yates.
- Categoría 2: Ro-Ro + Car-Carrier + Carga Lo-Lo.
- Categoría 3: Portacontenedores.
- Categoría 4: Tanques + Tanques LNG + Petroleros.
- Categoría 5: Guerra + Pesca + Gabarras de Bunkering.

La *tabla 1* se trata de una tabla con variables estadísticas descriptivas, y podemos observar, que no todos los días llegan buques de cada una de las categorías durante el plazo de 2 años con el que trabajamos (2017 y 2018). Además, los buques que más llegan al Puerto de Barcelona son los correspondientes a la categoría 1 (Transbordadores + Turísticos + Yates), a la vez, su variación de días que llegan a atracar es la más dispersa de la muestra que observamos junto a la categoría 3 (Portacontenedores), mismamente, estos son los que más llegan a puerto de Barcelona, una media de 8,7 transbordadores, cruceros y yates cada día. Y, durante el período estudiado, cada día llegan al puerto de Barcelona unos 26,1 buques. En contraposición las embarcaciones que menos presencia tienen son las correspondientes a la categoría 5 (Guerra + Pesca + Gabarras de Bunkering) que de media apenas llega uno cada dos días y, por lo tanto, es uno de los motivos por el cual es la

categoría que es más regular en los datos de llegada al puerto. Por otra parte, la categoría 1 (Transbordadores + Turísticos + Yates), y categoría 2 (Ro-Ro + Car-Carrier + Carga Lo-Lo) son los que más ha llegado a entrar al puerto de Barcelona en un solo día. Por último, cabe destacar que cada día llegan buques al puerto, el día que menos entraron fueron 8, mientras la vez que entraron más llegaron a ser 60 entre todas las categorías que hay, es decir, la actividad portuaria es constante.



Gráfica 5: Llegada de buques por año

En cuanto a la *Gráfica 5*, trata sobre la llegada del número de buques total al año en unidades sin diferenciar el tipo de categoría de la que se trata, y con todos los años de nuestra base de datos. Se llega a registrar que hubo un ligero aumento del tráfico durante los años 2014 al 2016, y posteriormente se origina un aumento significativo en 2017 con una ligera caída para el 2018. Este aumento pasaba de 8.107 buques llegados en 2015 al Puerto de Barcelona, en comparación de 2017 que llegó a 9.833 buques, con un aumento de más de 1.700 buques en tan solo 3 años. El total de buques que han llegado a Barcelona durante los 5 años, llega a ser de 44.784, pero al trabajar con los datos de 2017 y 2018 (años con más llegadas de buques), debido a los escasos datos de contaminación de las estaciones respecto a los 3 años anteriores de los mencionados, el número de buques totales a estudiar relativos a 2017 y 2018, es de 19.058.

TABLA 2: Llegada de buques en Gross Tonnage

	Nº de observaciones	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Pasaje	1621	209200,0	165012,702	0	731000
Transbordadores	6385	247179,5	70494,058	0	582000
Carga Rodante	3698	130613,7	77646,336	0	642000
Portacontenedores	4914	298142,5	145411,800	0	960000
Graneleros y Tanques	2144	55737,0	50029,066	0	330000
Pesca y otros	296	9678,1	17231,791	0	80000
TOTAL	19058	949706,8	284124,209	156000	2200000

Tabla 2: Llegadas de buques en Gross Tonnage

La *tabla 2*, también expone variables estadísticas descriptivas, se trata de la misma tabla que la *tabla 1*, pero en vez de contabilizar únicamente la llegada de los buques al puerto de Barcelona por unidades por día, en este caso, se expone el tamaño del buque que entra al puerto, que se contabiliza por el arqueado bruto en toneladas por día. Por este motivo, el número de observaciones de ambas tablas son las mismas, y el número mínimo de toneladas por buque también es el mismo que la *tabla 1*, debido a que la vez que menos buques entran al puerto por categoría es 0, por lo tanto, no hay un peso que contabilizar. A pesar de que el número de observaciones de la categoría 1 (Transbordadores + Turísticos + Yates) sea superior a la categoría 3 (Portacontenedores), esta última supera en la media del número de toneladas a la categoría 1 (Transbordadores + Turísticos + Yates), esto es debido a la diferencia del tamaño de los buques de un tipo y otro, ya que los buques de la categoría 3 (Portacontenedores) son más grandes que los buques de la categoría 1 (Transbordadores + Turísticos + Yates). También nos muestra la desviación estándar que el tamaño de los buques que engloba la categoría 0 (Pasaje) tienen tamaños de rango muy diferente entre ellos.

4.2.2 Estaciones de control de inmisiones

Esta otra base de datos se basa en las estaciones de control de inmisiones existentes en Cataluña, estos han sido recogidos por la página web de la Generalitat de Cataluña que publica la documentación, recoge los diferentes contaminantes que hay en el ambiente por hora, por ello y para poder realizar la correlación con la anterior base de datos, correspondiente a la llegada de buques al Puerto de Barcelona, las unidades de control que observamos en la siguiente tabla, es la media diaria de cada contaminante, en cada una de las estaciones por separado, de todas las horas diarias registradas por las estaciones. Las

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

estaciones que seleccionamos para delimitar el área de influencia de la contaminación por parte de los buques.

- Estación 1: Barcelona (Ciudadella).
- Estación 2: Barcelona (Eixample).
- Estación 3: Badalona.
- Estación 4: El Prat de Llobregat (Jardins de la Pau).
- Estación 5: El Prat de Llobregat (Sagnier).
- Estación 6: Montseny (La Castanya).

La elección de estas estaciones se ha realizado con el objetivo de delimitar el área de influencia de los contaminantes provenientes del Puerto, tanto las estaciones de Barcelona como las estaciones de El Prat de Llobregat, tienen el objetivo de señalar como es la influencia a corta distancia, posteriormente, podemos observar la estación de Badalona con una distancia superior a las 4 estaciones anteriores, y así observar cómo afecta el impacto a distintas distancias. Por último, la más alejada, que corresponde a la estación situada en el Montseny que pretende ser una estación de control para los resultados que se obtengan.

Los contaminantes que observamos a continuación en la siguiente tabla son los siguientes:

- O₃: Ozono.
- NO₂: Dióxido de nitrógeno.
- PM₁₀: Partículas en suspensión.
- SO₂: Dióxido de azufre.

Las unidades con las que se miden los contaminantes es en microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), estos registros de la misma forma que la llegada de los buques, engloba los años 2017 y 2018, por los motivos anteriormente mencionados en la explicación del *gráfico 5*.

TABLA 3: Contaminantes por estación

	Nº de observaciones	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Barcelona, Ciutadella (O ₃)	730	40.40	18.10	0	93.46
Barcelona, Ciutadella (NO ₂)	730	36.23	14.23	0	84.21
Barcelona, Eixample (O ₃)	730	35.13	17.00	0	86.63
Barcelona, Eixample (PM ₁₀)	730	25.48	9.66	0	87.04
Barcelona, Eixample (SO ₂)	730	2.05	1.06	0.875	7.63
Barcelona, Eixample (NO ₂)	730	56.19	16.09	21.25	124.75
Badalona (O ₃)	730	45.19	21.47	0	112.88
Badalona (SO ₂)	730	2.13	1.10	0	6.46
Badalona (NO ₂)	730	35.89	14.96	0	88.54
El Prat, Jardíns de la Pau (SO ₂)	730	2.35	1.09	0	8.92
El Prat, Jardíns de la Pau (NO ₂)	730	33.25	11.88	0	70.88
El Prat, Sagnier (O ₃)	730	40.86	20.88	0	103.04
El Prat, Sagnier (SO ₂)	730	2.57	0.98	0	7.08
El Prat, Sagnier (NO ₂)	730	33.78	11.12	0	64.08
Montseny (O ₃)	730	72.30	20.28	0	128.00
Montseny (SO ₂)	730	0.83	0.70	0	4.25
Montseny (NO ₂)	730	3.03	1.86	0	15.46

Tabla 3: Contaminantes por estación

En la *Tabla 3* podemos ver que el número de observaciones de cada una de las estaciones y los contaminantes no son iguales, es decir, los datos registrados por las diferentes estaciones de control de inmisiones, corresponden al número de días que se ha controlado la emisión del contaminante que señala a su derecha, por lo tanto, podemos decir que no todos los días se han registrado el control de inmisiones. Además, el nivel mínimo del resultado que se ha sido registrado ha sido en todos los casos de 0, excepto el dióxido de nitrógeno (NO₂) de la Estación 2 (Barcelona, Eixample), que el mínimo registrado es de 21,25 µg/m³. Por otra parte, podemos observar que la media de los diferentes contaminantes entre ellos, son similares, excepto si comparamos con la Estación 6 (Montseny, La Castanya), que las medias registradas de esta estación de control son claramente distintas al resto, probablemente debido a que se haya a 693 metros de altitud respecto al mar, mientras el resto de estaciones seleccionadas se encuentra entre los 5 y 25 metros de altitud. Asimismo, cabe comentar que el nivel máximo de los contaminantes en un día llega a ser en prácticamente todos los casos el doble de la media.

4.3 Metodología de análisis de datos

El método a usar es la regresión lineal, que es una técnica estadística poder describir la relación entre diferentes variables. En este caso se definiría como una regresión lineal simple, debido a que buscaremos la relación entre dos variables X e Y (Laguna, 2014). La fórmula es esta:

$$Y = \beta_0 + \beta_i X_i + \varepsilon$$

Este trabajo de investigación realizará 3 fórmulas distintas de regresión lineal. En todas ellas la variable dependiente (Y) corresponde a los niveles de contaminación registrados por las diferentes estaciones de control de inmisiones de cada uno de los contaminantes (NO₂, SO₂, PM₁₀ O₃), y la X que es la variable independiente que será diferente en cada una de las 3 fórmulas de regresión.

Las herramientas a usar para la realización de esta investigación son “R Commander” y R Studio, ambas forman parte del programa R. Este es un programa para la relación de cálculos programados, en el que podemos usar el método de regresión lineal simple, con el que podemos correlacionar diferentes variables para poder extraer unos resultados, que posteriormente, serán analizados para poder sacar conclusiones. Estas regresiones nos ayudarán a extraer respuestas para los objetivos marcados con anterioridad. La unidad temporal son los días, por lo que cada unidad a tener en cuenta de las variables X e Y son diarios, para todas las regresiones a realizar.

La primera de las fórmulas constará como variables X, la variable día, para poder saber si se puede observar algún cambio con el paso del periodo seleccionado, estas variables van de 1 al 730 que son todos los días del número de datos a analizar y, por otra parte, el número de llegadas total de buques al puerto de Barcelona, y de manera separada, el tamaño de estos recogidos en Gross Tonnage (Toneladas), y por último, la E que se llama error, y corresponde a una variable que influye de manera poco significativa en el resultado, esta E es constante en todas las regresiones que vamos a realizar. De este modo conseguiremos obtener unos resultados que nos mostraran si realmente existe una relación entre el número de buques que llegan a puerto con los niveles de contaminación existentes en cada una de las 6 estaciones de control seleccionadas La herramienta utilizada para la realización de esta regresión lineal es R Commander.

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

La segunda de las fórmulas constará como variables X, la principal son los días de la semana, que van del 1 al 7, en función del día de la semana que corresponda los datos (1 corresponde al lunes, 2 al martes, y así hasta el 7 al domingo), posteriormente tiene en cuenta el resto de variables de la anterior regresión lineal como son el número de llegadas total de buques, su tamaño el tamaño y los días. Otra diferencia con la anterior regresión es que en este caso no se tiene en cuenta las estaciones de control de inmisiones por separado. Esta fórmula se hace mediante R Studio, con los datos en forma de panel para los días de la semana, al ser unos datos categóricos.

Por último, la tercera regresión lineal que realizamos se diferencia del resto teniendo en cuenta únicamente el número de llegadas de los buques en función de la categoría en el que estén, y también el peso de los buques en función de su categoría, y todo esto por cada una de las 6 estaciones de control. Esta regresión vuelve a ser igual que la primera ya que el programa usado también es R Commander.

Por lo que finalmente, definimos de esta manera las distintas fórmulas correspondientes:

- Regresión lineal según estación:
 - o Contaminante ~ (Día + Número de llegadas + Total Gross Tonnage + E) por cada estación.

- Regresión lineal según día de la semana:
 - o Contaminante ~ Día de la semana + Día + Número de llegadas + Total Gross Tonnage + E

- Regresión lineal según tipología de buque:
 - o Contaminante ~ (Número de llegadas de cada buque por categoría + Total Gross Tonnage de cada buque que llega + E) por cada estación.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez realizadas las operaciones de regresión lineal, explicadas en el apartado anterior, se han clasificado los resultados obtenidos de cada regresión en diferentes apartados. Estos resultados se muestran en tablas, diferenciando en función de los distintos contaminantes, y señalan los coeficientes, y el P-valor de sus correspondientes resultados.

El coeficiente es como cambia la variable al resultado, en este caso, de qué manera cambiaría la cantidad de contaminante (variable Y), en función de la variable X, y el P-Valor nos indicaría si nuestra variable es significativa, es decir, si su presencia afecta a los niveles de contaminación de forma consistente y no debido al azar. Por eso, contra más pequeño es el P-Valor, la probabilidad de error para saber si estamos equivocados en cuanto a que la variable X modifica a la variable Y, es menor. Un ejemplo para ponernos en situación, es que, si decimos que el Gross Tonnage influye en la cantidad de NO₂, si se da un P-Valor de 0,04 (4%), esta sería la probabilidad de veces que nos podríamos equivocar en esta afirmación.

En las tablas podemos observar, la utilización de distintos signos que nos indican que la relación entre las variables es estadísticamente no significativa (-), no hay datos disponibles para ese caso (NA) y, por último, cuando el P-Valor tiene relevancia se muestra un asterisco, a más asteriscos mayor grado de relevancia de la variable, esta significación se puede observar debajo de cada una de las tablas.

5.1 Regresión lineal según estación

En este apartado, observaremos en la tabla los resultados destacados obtenidos, de cada uno de los diferentes contaminantes a estudiar, por cada una de las 6 estaciones de control de inmisiones, en función de las 3 variables independientes Número de Llegadas totales, Gross Tonnage total y Día. Como aclaratoria previa a la observación de los resultados, en algunos P-Valor, se marca con un 0, pero no es que el número sea exactamente 0, sino que es un resultado realmente cercano a 0.

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

Contaminante	Estación	Coeficientes (p-valor)		
		Número Llegadas	Gross Tonnage	Día
NO ₂	Estación 1	-	- 9·10 ⁻⁶ ** (0,001)	- 0,006 * (0,011)
	Estación 2	-	-	- 0,014 *** (0)
	Estación 3	-	- 1·10 ⁻⁵ *** (0,0001)	- 0,01 *** (0,0001)
	Estación 4	-	- 7·10 ⁻⁶ ** (0,005)	-
	Estación 5	-	- 6·10 ⁻⁶ ** (0,009)	- 0,005 * (0,011)
	Estación 6	-	-	-0,0027 *** (0)

Significación: **** 0 *** 0.001 ** 0.05 ' ' 0.1 ' - '1

Tabla 4: Resultados de la regresión en NO₂, por cada estación según Número de Llegadas, Gross Tonnage y Día.

Sobre la *tabla 4*, podemos observar como el número de llegadas no es estadísticamente significativo en el caso del Dióxido de Nitrógeno (NO₂), pero en cuanto al Gross Tonnage esto cambia y muestra un coeficiente negativo con un P-Valor que nos indica una fuerte relevancia de estos datos. Por otra parte, el periodo día muestra en todos los casos, excepto en la estación 4 (El Prat de Llobregat, Jardins la Pau) que no muestra una significación estadística, el resto muestran cierto grado de relevancia y un coeficiente negativo que nos indica que los niveles de Dióxido de Nitrógeno (NO₂), van disminuyendo con el paso del tiempo entre el periodo 2017 y 2018.

Contaminante	Estación	Coeficientes (p-valor)		
		Número Llegadas	Gross Tonnage	Día
SO ₂	Estación 1	NA	NA	NA
	Estación 2	-	-	-0,0015 *** (0)
	Estación 3	-	-	-0,0006 ** (0,0035)
	Estación 4	-	-	-0,0015 *** (0)
	Estación 5	-	-	0,0009 *** (2·10 ⁻⁷)
	Estación 6	-	-	0,0002 . (0,08)

Significación: **** 0 *** 0.001 ** 0.05 ' ' 0.1 ' - '1

Tabla 5: Resultados de la regresión en SO₂, por cada estación según Número de Llegadas, Gross Tonnage y Día.

Respecto a la *tabla 5*, vemos como en el Dióxido de azufre (SO₂), el número de llegadas al puerto de Barcelona y el Gross Tonnage de los buques que llegan al puerto no tienen una relevancia científica a los niveles de contaminación en Dióxido de azufre (SO₂), por otra parte, observamos como los días que van pasando sí que influyen en los niveles de contaminación de manera significativa en todos ellos, exceptuando la estación 6 (Montseny, La Castanya) cuya relevancia es menor que el resto de estaciones. En todos los días se registran coeficientes muy bajos por lo que a pesar de que cambien los niveles de contaminación con el tiempo en estas estaciones de control, este cambio lo hace

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

de manera muy reducida. Como puntualización, la única estación que no realiza el control de inmisiones relativas a este contaminante es la estación 1 (Barcelona, Ciutadella).

Contaminante	Estación	Coeficientes (p-valor)		
		Número Llegadas	Gross Tonnage	Día
PM ₁₀	Estación 1	NA	NA	NA
	Estación 2	-	-	-
	Estación 3	NA	NA	NA
	Estación 4	NA	NA	NA
	Estación 5	NA	NA	NA
	Estación 6	NA	NA	NA

Significación: **** 0 *** 0.001 ** 0.05 . 0.1 '- 1

Tabla 6: Resultados de la regresión en PM₁₀, por cada estación según Número de Llegadas, Gross Tonnage y Día.

En cuanto a la *tabla 6*, únicamente la estación 2 (Barcelona, Eixample) hace el control de inmisiones de las partículas en suspensión (PM₁₀), de todas las estaciones seleccionadas. No hay muchas estaciones en Barcelona que realicen un cálculo de las partículas en suspensión (PM₁₀), por otra parte, es el contaminante más difícil de extraer conclusiones, aparte de que hay pocas estaciones que controlen sus inmisiones, sino también porque se forman de mediante diversos mecanismos, y no tan solo por la contaminación de los buques, como podemos comprobar en la *gráfica 1*. Este último también, puede ser uno de los motivos por el cual en la estación 2 (Barcelona, Eixample) muestra que no hay relación estadística entre el contaminante PM₁₀, el Número de Llegadas, Gross Tonnage, y los días que pasan.

Contaminante	Estación	Coeficientes (p-valor)		
		Número Llegadas	Gross Tonnage	Día
O ₃	Estación 1	-	16·10 ⁻⁵ *** (0)	-0,007 * (0,012)
	Estación 2	-	14·10 ⁻⁵ *** (0)	-0,0087 ** (0,0033)
	Estación 3	-	2·10 ⁻⁵ *** (0)	-0,01 ** (0,006)
	Estación 4	NA	NA	NA
	Estación 5	-	16·10 ⁻⁵ *** (0,0003)	-
	Estación 6	-	15·10 ⁻⁵ *** (0,0005)	-0,014 *** (0,00014)

Significación: **** 0 *** 0.001 ** 0.05 . 0.1 '- 1

Tabla 7: Resultados de la regresión en O₃, por cada estación según Número de Llegadas, Gross Tonnage y Día.

Con relación a la *tabla 7*, observamos una constante en todos estos resultados que es que el número de llegadas total vuelve a no a ser relevante con los niveles de contaminación, en cambio, en términos de Gross Tonnage en el apartado de Ozono (O₃) en todas las estaciones de control vemos como el coeficiente es

positivo, aunque con un resultado bastante bajo por lo que cuando los niveles de contaminación cambian lo hacen de manera muy reducida, es decir, cuando entra un buque de mayor Gross Tonnage se produciría un incremento muy leve de los niveles de Ozono (O₃) generados, y obteniendo un P-Valor también muy bajo por lo que existe un pequeño margen de error cuando decimos que a mayor sea el Gross Tonnage de un buque, menor serán los niveles de contaminación en términos de Ozono (O₃). En la variable independiente Día, podemos examinar que en todas las estaciones exceptuando la estación 5 (El Prat de Llobregat, Sagnier), se muestra que con el tiempo hay una tendencia a la disminución de la cantidad de este contaminante. La estación 4 (El Prat de Llobregat, Jardins de la Pau) es la única que carece de control de inmisiones de Ozono (O₃).

5.2 Regresión lineal según día de la semana

Repitiendo el proceso anterior, aquí mostramos la tabla los resultados destacados obtenidos, de cada uno de los diferentes contaminantes a estudiar, en función principalmente de los días de la semana por separado, y de las 3 variables independientes que están en la fórmula del anterior apartado; Número de llegadas totales, Gross Tonnage total y Día. El motivo por el cual en todos los casos lunes está marcado con el guion es porque se usa como datos comparativos para el resto de días de la semana, y las otras variables independientes. Como en el apartado anterior, y previamente a la observación de los resultados, en algunos P-Valor, se marca con un 0, pero no es que el número sea exactamente 0, sino que es un resultado realmente cercano a 0.

Contaminante		Coefficientes (p-valor)
NO ₂	Lunes	-
	Martes	-
	Miércoles	-
	Jueves	3,336 ** (0,004)
	Viernes	4,105 *** (0,0005)
	Sábado	-3,524 ** (0,002)
	Domingo	-8,059 *** (0)
	Número de llegadas	-
	Gross Tonnage	-3,283·10 ⁻⁶ . (0,07)
	Día	-6,78·10 ⁻³ *** (0)

Significación: '***' 0 '***' 0.001 '**' 0.05 '.' 0.1 '-' '1

Tabla 8: Resultados de la regresión en NO₂, según Día de la semana, Número de llegadas, Gross Tonnage y Día.

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

En la *tabla 8*, podemos observar como los niveles de contaminación en cuestión de día de la semana, tiene una significación estadística al final de la semana, diferenciándose respecto al lunes como que el jueves y el viernes los niveles de contaminación por Dióxido de Nitrógeno (NO₂), tienen un coeficiente positivo y con un nivel de significación estadística elevado, a diferencia del fin de semana que a pesar de mostrar un nivel de significación elevado, estos coeficientes son negativos, y por lo tanto, se reducen los niveles de contaminación. El número de llegadas sigue con los mismos resultados que en el apartado anterior, y no tiene relevancia significativa. Por otra parte, la variable Gross Tonnage tiene poca relevancia, no obstante, la variable día se muestra muy significativa, y con un coeficiente negativo, confirmándonos los resultados que hemos podido observar en la *tabla 4*.

Contaminante		Coefficientes (p-valor)
SO ₂	Lunes	-
	Martes	-
	Miércoles	-
	Jueves	-
	Viernes	-
	Sábado	-
	Domingo	-0,1606 * (0,032)
	Número de llegadas	-
	Gross Tonnage	-
	Día	-5,121·10 ⁻⁴ *** (0)

Significación: '*' 0 '***' 0.001 '**' 0.05 '.' 0.1 '-' '1**

Tabla 9: Resultados de la regresión en SO₂, según Día de la semana, Número de llegadas, Gross Tonnage y Día.

Refiriéndonos a la *tabla 9*, podemos ver como el dióxido de azufre (SO₂), apenas tiene efectos significativos en cuanto a los días de la semana, únicamente el domingo tiene cierto nivel de relevancia, y este es negativo, indicando que existe una reducción de los niveles de este contaminante. Por otro lado, también la variable día se muestra muy significativa, y la podemos relacionar con la variable mostrada en el apartado anterior en la *tabla 5*, donde observamos que existe relevancia independientemente de la estación, aunque esta podía poseer un coeficiente tanto positivo como negativo, en este caso, el coeficiente de relación que se aprecia es negativo. Por último, tanto el Gross Tonnage como el número de llegadas no tienen una relevancia significativa.

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

Contaminante		Coefficientes (p-valor)
PM ₁₀	Lunes	-
	Martes	2,812 * (0,0385)
	Miércoles	3,72 * (0,01)
	Jueves	4,097 ** (0,003)
	Viernes	3,854 ** (0,006)
	Sábado	-
	Domingo	-2,344 . (0,085)
	Número de Llegadas	-
	Gross Tonnage	4,748·10 ⁻⁶ * (0,031)
	Día	-

Significación: '*' 0 '***' 0.001 '*' 0.05 '.' 0.1 '- '1**

Tabla 10: Resultados de la regresión en PM₁₀, según Día de la semana, Número de Llegadas, Gross Tonnage y Día.

En relación a la *tabla 10*, hay que apuntar que los niveles observados únicamente corresponden a la estación 2 (Barcelona, Eixample), ya que es la única estación de control de inmisiones que tiene datos de las partículas en suspensión (PM₁₀), como contaminante a controlar. Podemos observar que durante la semana únicamente el sábado no tiene relevancia significativa, el resto de días tiene cierto grado de relevancia, y su coeficiente en todos ellos es alto, por lo que varía de manera considerable en función del día, respecto al domingo, es el único día que disminuye la cantidad de partículas en suspensión (PM₁₀), no obstante, su relevancia es bastante baja.

Contaminante		Coefficientes (p-valor)
O ₃	Lunes	-
	Martes	2,46 . (0,097)
	Miércoles	3,2 * (0,043)
	Jueves	-
	Viernes	2,91 . (0,057)
	Sábado	7,472 *** (0)
	Domingo	9,914 *** (0)
	Número de Llegadas	-
	Gross Tonnage	1,572·10 ⁻⁵ *** (0)
	Día	9,09·10 ⁻³ *** (0)

Significación: '*' 0 '***' 0.001 '*' 0.05 '.' 0.1 '- '1**

Tabla 11: Resultados de la regresión en O₃, según Día de la semana, Número de Llegadas, Gross Tonnage y Día.

Por lo que corresponde a la *tabla 11*, podemos observar como el Ozono (O_3) los días de la semana tienen relevancia, poca relevancia entre semana, y el fin de semana está aumentando relevancia de manera considerable, y también como se puede observar también aumenta en los coeficientes. En cuanto al número de llegadas sigue toda la tendencia anteriormente vista, siendo no significativa estadísticamente. Por último, la *tabla 7* sigue con los mismos aspectos que con las variables Gross Tonnage y día, en la que observamos una gran relevancia estadística, pero a pesar de que tenga un coeficiente de aumento de manera reducida que igual en ambas tablas en el Gross Tonnage, en la variable día esta no es negativa como podíamos observar en la *tabla 7*.

5.3 Regresión lineal según tipología de buque

Una vez hemos realizado las regresiones según la tipología de buque, diferenciando entre número de llegada y Gross Tonnage también dentro de los diferentes tipos de buques como los habíamos clasificado en la metodología. Los resultados obtenidos no son significativos, y por lo tanto no se muestra una correlación estadística en función del tipo de buque. Los resultados se podrán encontrar en los anexos en la Figura Suplementaria 3.

6. DISCUSIÓN

Una vez realizadas las operaciones y las descrito los resultados obtenidos, en este apartado, vamos a encontrar y valorar los motivos por el cual hemos obtenido esos resultados en concreto. La manera en la que vamos a analizar estos resultados va a ser dependiendo de las variables independientes (número de llegadas, gross tonnage, tipología de buques, etc...), ya que estas ayudan a responder mejor a los objetivos planteados.

Número de llegadas no afecta a los niveles de contaminación.

La primera variable a analizar es el número de llegadas de los buques, como hemos podido observar en todas las tablas mostradas en los resultados que el efecto del número de llegadas al puerto de Barcelona es estadísticamente no significativo, debido que en ninguno de ellos se observa ni un solo caso de significación. Este hecho se puede relacionar con Kwon et al. (2019), que expone que la llegada de buques no genera emisiones de contaminantes de manera significativa, sino que estas se producen debido a la actividad generada en puerto. Dándonos a entender que, en ningún caso, el número de llegadas de buques al Puerto de Barcelona provoca una alteración en los niveles de contaminante.

El tipo de buque no afecta a los niveles de contaminación.

La segunda variable a analizar es la tipología de buques, esta únicamente es aplicada en el método de regresión lineal del apartado 5.3, y hemos obtenido resultados no significativos estadísticamente, por lo que podemos concluir que el tipo de buque no hace variar afecta a los niveles de contaminación de manera significativa y, por lo tanto, el tipo de buque no es relevante para producir diferentes cantidades de contaminación que afecten a la ciudad de Barcelona.

El Gross Tonnage influye en los niveles de contaminantes registrados por las estaciones.

La tercera variable a analizar es el Gross Tonnage (tamaño de los buques), se puede observar como existe una significación relevante en los casos del Dióxido de Nitrógeno (NO_2) y el Ozono (O_3), además ambos están relacionados, ya que el Ozono (O_3), se forma debido a la mezcla del dióxido de nitrógeno (NO_2) con compuestos volátiles. Como se puede ver en la *tabla 4* la reacción del Dióxido de Nitrógeno (NO_2) en las estaciones tiene una ratio de significación elevado con

un coeficiente negativo, excepto en la estación 2 (Barcelona, Eixample) y estación 6 (Montseny, La Castanya), por otra parte, si observamos la *tabla 7* y en la *tabla 11*, donde se relaciona con el Ozono (O_3), encontramos una gran significación en todas y cada una de las estaciones (en el caso de la *tabla 7*), y además con un coeficiente positivo. Así pues, esto es podría ser debido al producirse la transformación de Dióxido de Nitrógeno (NO_2), a Ozono (O_3), los niveles de Dióxido de Nitrógeno (NO_2) disminuyen y los de Ozono (O_3) van incrementando, es por eso que en el Ozono (O_3) todos los coeficientes son positivos y van incrementando. Es interesante observar también que en la estación 6 (Montseny, La Castanya) existe un incremento del Ozono (O_3), es muy probable que esto es debido el Ozono troposférico y otros contaminantes, son arrastrados a través de las brisas marinas, desde Barcelona llegando hasta los Pirineos y el Montseny (Vallespín, I. 2019).

Además, teniendo en cuenta que el análisis por partículas en suspensión (PM_{10}), se puede observar que la *tabla 6*, tanto el número de llegadas y la variable día no tienen significación estadística, al contrario, que la *tabla 10* en este caso, muestra una relevancia en el Gross Tonnage, esta diferencia puede ser debido a que la función estadística es diferente y por ello los resultados salen distintos. Revisando los resultados en cuanto a Gross Tonnage de la *tabla 6* sale que no es significativo, pero esta está muy cerca de serlo, es por eso que podemos atribuir esta diferencia entre que uno sale poco significativo, y el otro sale no significativo al usar otra función de regresión lineal que hace cambiar el resultado final a nivel estadístico.

La mayoría de contaminantes parecen disminuir a lo largo del tiempo.

La cuarta variable a analizar son los días, que comprenden entre el 2017 y 2018, un total de 730 días, en cuanto a este aspecto detectamos una disminución significativa de todos los contaminantes, exceptuando en partículas en suspensión (PM_{10}), seguramente debido a que es un contaminante que se genera de muchas formas, ya sea vía motores de combustión, polvo, polen entre otros casos.

Volviendo a al resto de los contaminantes, se observa una disminución, se puede ver cómo en el apartado anterior, es significativo y con un coeficiente negativo, por lo que con el paso del tiempo se han ido reduciendo los niveles de Dióxido de Nitrógeno (NO_2), Dióxido de Azufre (SO_2) y, Ozono (O_3). Probablemente esto se deba a que se puso en marcha en octubre de 2016 un plan de la Organización

Marítima Internacional (OMI) mediante el Anexo VI MARPOL, para reducir de cara al 1 de enero de 2020 la contaminación por parte de los buques, en contaminantes como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y óxidos de azufre (SO_x) entre otros, además, como el Ozono (O_3) se genera mediante Óxidos de Nitrógeno (NO_x) y otros compuestos volátiles, estos también se han visto afectados. Esto último se ve reflejado en cada una de las estaciones, que muestran coeficientes negativos relativos a los 3 contaminantes mencionados, y su evolución por días.

El día de la semana tiene un impacto en los niveles de contaminantes.

La quinta variable a tener en cuenta son los días de la semana, que nos sirve para saber cómo evoluciona este contaminante a lo largo de la misma, este análisis se realizará por contaminante también. Para empezar el Dióxido de Nitrógeno (NO_2) expuesto en la *tabla 8*, registra unos niveles de contaminación respecto al lunes con un aumento en jueves, y viernes, unos niveles altos de aumento, debido probablemente al aumento de tráfico y las movilizaciones de la población de cara al fin de semana, por lo contrario, se puede observar una disminución drástica por su coeficiente realmente bajo respecto al lunes, debido al cese de la actividad portuaria y comercial por parte de las empresas durante el fin de semana, y la disminución del tráfico de vehículos de combustión por la ciudad.

En cuanto al Dióxido de Azufre (SO_2) expuesto en la *tabla 9*, observamos que durante la semana no muestra ningún tipo de cambio significativo, excepto el domingo que muestra una ligera disminución respecto al lunes, a causa de la disminución del tráfico de vehículos, los vehículos de combustión generan emisiones de Dióxido de Azufre (SO_2), pero estos son de manera poco importantes en cuanto a los vehículos terrestres, ya que dentro de este contaminante, la cantidad generada por parte del transporte mayormente procede de los buques como podemos observar en el *grafico 1*, entonces, esta concluimos que esta disminución de la cantidad de Dióxido de Azufre (SO_2) se debe al mismo motivo que en el Dióxido de Nitrógeno (NO_2), es decir, a la disminución del tráfico generada por parte de los vehículos de combustión terrestre, y su efecto es menor que en el de la *tabla 8*.

Por otra parte, encontramos las partículas en suspensión (PM_{10}) que durante la semana es estadísticamente significativa tiene aumentos en el coeficiente de martes a viernes comparando al lunes, en cambio el domingo sufre una ligera

disminución respecto al lunes. Esto podría ser una consecuencia de la reducción de tránsito, actividad industrial, obras, ...

Por último, en cuanto al Ozono (O_3), podemos observar que entre semana (de martes a viernes), llegan a marcarnos ligeros aumentos en el coeficiente de manera significativa, pero la parte que más llama la atención es que durante el fin de semana. Como se puede observar en la *tabla 11*, se registran un aumento muy destacado en el coeficiente respecto al lunes, y se produce un cambio significativo, esto es curioso, ya que como hemos comentado el Ozono (O_3), se forma a través de Dióxido de Nitrógeno (NO_2), y otros compuestos volátiles, no obstante, en la *tabla 8*, durante el fin de semana es cuando se registran las mayores disminuciones durante toda la semana de este último contaminante, mientras los valores que registros que se muestran previas al fin de semana son de aumentos del nivel de Dióxido de Nitrógeno (NO_2), algo que contrasta con el Ozono (O_3). Seguramente esto se debe a la formación de Ozono (O_3), a lo largo de la semana se acumula Dióxido de Nitrógeno (NO_2), y eso provoca al acumularse en la troposfera que se forme de manera más exponencial de Ozono (O_3) durante el fin de semana.

7. CONCLUSIONES

La contaminación atmosférica es una de las problemáticas actuales más importantes, estas suelen ser el motivo principal de enfermedades de carácter cardiorrespiratorio y, por lo tanto, ponen en riesgo la salud de las personas. La principal causa antropogénica de su formación proviene del transporte, representando en algunos sectores hasta un 80% de las emisiones generadas, por lo que es un factor de relevancia. Además, los niveles de contaminación a los que la población en un 98% está expuesta a niveles superiores de Partículas en suspensión (PM₁₀), y un 68% de Dióxido de Nitrógeno (NO₂). El puerto es uno de los focos de contaminación existentes, debido a la actividad que genera tanto por el propio puerto como para la ciudad. Esto se ve más marcado en el Puerto de Barcelona, puerto donde se realiza esta investigación, ya que está contiguo a la ciudad de Barcelona, y cuyo efecto se ve más asociada el uno del otro. Asimismo, Barcelona ha registrado durante años niveles superiores de contaminación recomendados por la Unión Europea, es por eso que hemos observado el impacto del puerto sobre estos.

Esta investigación está basada en una aproximación cuantitativa que permite obtener información de carácter objetivo, como son los datos registrados por parte de las estaciones de control de inmisiones, y los registros recibidos por parte de la Autoridad Portuaria de Barcelona (APB) exponiendo el número de buques, y su tamaño correspondiente que han llegado durante los años 2014 y 2018. Debido a la falta de datos correspondientes a la contaminación entre los años 2014 y 2016, esta investigación se ha realizado entre los años 2017 y 2018. Los programas usados para la realización de las 3 distintas regresiones lineales (basadas en función de los contaminantes por estación, en función del día de la semana, y en función de la tipología de buque), con el objetivo de encontrar la correlación entre los contaminantes y las diferentes variables independientes. Los programas utilizados han sido "R Commander", y "R Studio", que son dedicados al cálculo estadístico y a los gráficos, que se adhieren perfectamente a este trabajo a la perfección.

Los resultados obtenidos han sido que tanto el número de llegadas y la tipología de buque no provoca un cambio en los niveles de contaminación analizados en la ciudad de Barcelona, por otra parte, en cuanto al gross tonnage (tamaño del buque), este sí que afecta, a más tamaño del buque, se suele producir un aumento de los niveles de contaminación, y esto se refleja en todas las

estaciones. En el caso de la estación ubicada en el Montseny, también le afecta el tamaño del buque, pese a la gran distancia, y esto es porque la contaminación de Ozono (O_3) viaja a través de las brisas marinas hasta el Montseny, y por eso registra este resultado. En cuanto a los niveles de contaminación, estos disminuyen a lo largo del tiempo en la mayoría de ellos, esto sea probablemente debido a la aplicación de una normativa para reducir la contaminación que arrojan los buques por parte de la Organización Marítima Internacional (OMI). Por último, podemos concluir que los días de la semana sí que realizan un impacto sobre la contaminación, observándose como aumentan durante la semana los niveles de contaminación y como se reducen estos durante el fin de semana debido a la reducción del tráfico, y también de la actividad empresarial. Los niveles de Ozono (O_3) sin embargo, es a la inversa que el resto, debido a que este se forma el fin de semana por culpa de la acumulación durante la semana de Dióxido de Nitrógeno (NO_2), que se transforma junto a los diversos compuestos volátiles en Ozono (O_3).

Las limitaciones encontradas a la hora de realizar este trabajo de investigación, han sido pertenecientes a la existencia de estaciones de control de inmisiones dentro del Puerto de Barcelona, los datos de esta no son públicos y, por lo tanto, no he tenido acceso a ellos, lo cual hubiera podido ser más precisos los datos en relación a los contaminantes sin que las estaciones de control tuvieran tantos factores en cuenta, ya que las escogidas para este trabajo consideran muchos factores que no aparecerían con tanta fuerza en las estaciones interiores al puerto como es el tráfico en la ciudad entre otros. Otra limitación que se ha planteado, es la falta de los datos públicos, relacionados con los niveles de contaminación, por parte de las estaciones de control de inmisiones. Únicamente, tenían completos los años 2017 y 2018, obligando a reducir el estudio de 5 a 2 años.

Como futuros estudios a realizar en este ámbito, tendría en cuenta que los plazos fueran de mínimo 5 años, para así poder observar si las conclusiones obtenidas son determinantes, y se muestran igual con un mayor plazo de tiempo. Además, realizaría otro estudio destacando la aplicación reciente del Convenio MARPOL, para la reducción de las emisiones de contaminantes atmosféricos de los buques definidas por la Organización Marítima Internacional (IMO).

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Agencia de Salud Pública de Barcelona (ASPB). Evaluación de la calidad del aire en la ciudad de Barcelona (2016).

Agencia Europea de Medio Ambiente (2017). Contribution of the transport sector to total emissions of the main air pollutants.

Ajuntament de Barcelona. Recuperado el 19 diciembre de 2019, de: <https://ajuntament.barcelona.cat/qualitataire/es>

Berengueras, J.M. (25 de enero de 2018) El puerto de Barcelona es el que más crece en Europa. *El Periódico*. Recuperado de: <https://www.elperiodico.com/es/economia/20180125/el-puerto-de-barcelona-es-el-que-mas-crece-de-europa-6577234>

Barleta, E., & Sánchez, S. (2020). Hacia la descontaminación del transporte marítimo del comercio internacional: metodología y estimación de las emisiones de CO₂.

Blanchar, C. (2 de marzo de 2019). Barcelona pierde la batalla contra la contaminación. *El país*. Recuperado de <https://elpais.com/>

Centro de Monitoreo de la Calidad del Aire del Estado de Querétaro (CEMAQ), Ozono. Recuperado el 3 de marzo de 2020, de: <http://www.cemcaq.mx/contaminacion/ozono-so3>

Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo, UNCTAD (2018). Informe sobre el Transporte Marítimo 2018. Recuperado de: <https://unctad.org/>

Cristea, A., Hummels, D., Puzzello, L., & Avetisyan, M. (2013). Trade and the greenhouse gas emissions from international freight transport. *Journal of Environmental Economics and Management*, 65(1), 153-173.

España. Ley 14/2014, de 24 de julio, de Navegación Marítima. Boletín Oficial del Estado, 22 de diciembre de 2019, art. 56.

Guilarte, A., Díaz, A., Nápoles, J., Fernández, O., Abalos, A., & Pérez, R. M. (2015). Valoración de impacto ambiental en el Puerto Moa-Holguín. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 17(2), 129-139.

Ilustración 1. Fotografía satélite del Puerto de Barcelona. (S.F.) Extraída el 23 de diciembre de 2019, de: <http://www.portdebarcelona.cat/es/web/el-port/informacion-general>

Kwon, Y., Lim, H., Lim, Y., & Lee, H. (2019). Implication of activity-based vessel emission to improve regional air inventory in a port area. *Atmospheric environment*, 203, 262-270.

Laguna, C. (2014). Correlación y regresión lineal. Obtenido de correlación y regresión lineal: <http://www.icsaragon.com/cursos/salud-publica/2014/pdf/M2T04.pdf>.

López Urbaneja, S. (2010). Evaluación y análisis del tratamiento de la contaminación atmosférica en el recinto portuario de Barcelona, 205.

Maynard, R. L., Holgate, S. T., Koren, H. S., & Samet, J. M. (Eds.). (1999). *Air pollution and health*. Elsevier.

Ministerio de defensa. Reglamento nacional de arqueo para buques, embarcaciones y artefactos navales. Recuperado de: <http://www.mindef.gob.bo/maritima/Normativa%20de%20la%20Unidad%20de%20Marina%20Mercante/3%20REGLAMENTO%20ARQUEO.PDF>

Ministerio de Transición Ecológica (MITECO). Recuperado el 22 de diciembre de 2019, de: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/default.aspx>

Ministerio de Transición Ecológica (MITECO). Recuperado el 26 de diciembre de 2019, de: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/oxidos-nitrogeno.aspx>

Organización Marítima Internacional (OMI). Convenio MARPOL. Anexo VI.

Port de Barcelona, Características del Puerto. Recuperado el 23 de diciembre de 2019, de: <http://www.portdebarcelona.cat/es/web/el-port/informacion-general/>

Port de Barcelona, Historia del Puerto. Recuperado el 27 de diciembre de 2019, de: <http://www.portdebarcelona.cat/es/web/Port-del-Ciudadana/30>

Port de Barcelona, Qualitat de l'aire. (Sin fecha). Recuperado el 2 de junio de 2020, de: <http://www.portdebarcelona.cat/es/web/el-port/qualitat-de-l-aire/#4>

Prieto Montañez, D. A. (2019). Estimación de las emisiones atmosféricas de buques en el Puerto de Barranquilla (Master's thesis, Universidad del Norte).

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

Pequeñas y medianas empresas Astilleros, sociedad de Reversión, S.A. (PYMAR). (2019) Informe de actividad del sector de la construcción naval. Recuperado de: <http://www.pymar.com/es/pymar/qu%C3%A9-es-pymar>

Pequeñas y medianas empresas Astilleros, sociedad de Reversión, S.A. (PYMAR). (2019). Recuperado de: <http://www.pymar.com/es/pymar/qu%C3%A9-es-pymar>

Pham, H. T., & Nguyen, T. M. (2015). Solution to Reduce Air Environmental Pollution from Ships. *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 9.

Sanitas, 2020. Efectos del ozono sobre la salud. Recuperado el 3 de marzo de 2020, de: <https://www.sanitas.es/sanitas/seguros/es/particulares/biblioteca-de-salud/prevencion-salud/efectos-ozono.html>

Scott, M., 2014. Sustainable shipping is making waves, *Guardian Sustainable Business*. The Guardian.

Sin, M. (2012). Análisis de la implementación de combustibles con bajo contenido en azufre en el tráfico marítimo en el Mar del Norte.

Vallespín, I. (9 de noviembre de 2019). Ozono troposférico: la contaminación de Barcelona que llega al Pirineo. *El País*. Recuperado de: <https://elpais.com/>

9. ANEXOS

```
> RegModel.1 <- lm(NO2 ~ Dia + Dia.Semana + Número.de.llegadas +
total_gross_tonnage, data = Dataset)

> RegModel.2 <- lm(O3 ~ Dia + Dia.Semana + Número.de.llegadas +
total_gross_tonnage, data = Dataset)

> RegModel.3 <- lm(NO2 ~ Dia + Dia.Semana + Número.de.llegadas +
total_gross_tonnage, data = Dataset)

> RegModel.4 <- lm(SO2 ~ Dia + Dia.Semana + Número.de.llegadas +
total_gross_tonnage, data = Dataset)

> RegModel.5 <- lm(PM10 ~ Dia + Dia.Semana + Número.de.llegadas +
total_gross_tonnage, data = Dataset)

> RegModel.6 <- lm(O3 ~ Dia + Dia.Semana + Número.de.llegadas +
total_gross_tonnage, data = Dataset)

> RegModel.7 <- lm(NO2 ~ Dia + Dia.Semana + Número.de.llegadas +
total_gross_tonnage, data = Dataset)

> RegModel.8 <- lm(SO2 ~ Dia + Dia.Semana + Número.de.llegadas +
total_gross_tonnage, data = Dataset)

> RegModel.9 <- lm(O3 ~ Dia + Dia.Semana + Número.de.llegadas +
total_gross_tonnage, data = Dataset)

> RegModel.10 <- lm(NO2 ~ Dia + Dia.Semana + Número.de.llegadas +
total_gross_tonnage, data = Dataset)

> RegModel.11 <- lm(SO2 ~ Dia + Dia.Semana + Número.de.llegadas +
total_gross_tonnage, data = Dataset)

> RegModel.12 <- lm(NO2 ~ Dia + Dia.Semana + Número.de.llegadas +
total_gross_tonnage, data = Dataset)

> RegModel.13 <- lm(SO2 ~ Dia + Dia.Semana + Número.de.llegadas +
total_gross_tonnage, data = Dataset)

> RegModel.14 <- lm(O3 ~ Dia + Dia.Semana + Número.de.llegadas +
total_gross_tonnage, data = Dataset)
```

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

```
> RegModel.15 <- lm(NO2 ~ Dia + Dia.Semana + Número.de.llegadas +  
total_gross_tonnage, data = Dataset)
```

```
> RegModel.16 <- lm(SO2 ~ Dia + Dia.Semana + Número.de.llegadas +  
total_gross_tonnage, data = Dataset)
```

```
> RegModel.17 <- lm(O3 ~ Dia + Dia.Semana + Número.de.llegadas +  
total_gross_tonnage, data = Dataset)
```

Figura Suplementaria 1: fórmulas de regresión según la estación por cada contaminante.

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

```
regso2<-lm(SO2 ~ Ds + total_gross_tonnage + nombre_arribades + Dia, data = Panel)
summary(regso2)
regno2<-lm(NO2 ~ Ds + total_gross_tonnage + nombre_arribades + Dia, data = Panel)
summary(regno2)
regPM10<-lm(PM10 ~ Ds + total_gross_tonnage + nombre_arribades + Dia, data = Panel)
summary(regPM10)
rego3<-lm(O3 ~ Ds + total_gross_tonnage + nombre_arribades + Dia, data = Panel)
summary(rego3)
```

Figura Suplementaria 2: referencia en la fórmula de regresión según el día de la semana.

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

```
> RegModel.1 <- lm(NO2 ~ categ0 + categ1 + categ2 + categ3 + categ4 + categ5 +  
total_gross_tonnage0 + total_gross_tonnage1 + total_gross_tonnage2 +  
total_gross_tonnage3 + total_gross_tonnage4 + total_gross_tonnage5, data = Dataset)
```

Residuals:

```
Min 1Q Median 3Q Max  
-33.918 -10.024 -1.563 8.220 46.482
```

Coefficients:

```
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)  
(Intercept) 48.1206191045 2.1968695075 21.904 < 2e-16 ***  
categ0 -0.1489762907 0.7340098695 -0.203 0.83922  
categ1 -1.5997842149 0.5520469223 -2.898 0.00387 **  
categ2 0.4804707825 0.3724607165 1.290 0.19747  
categ3 0.1783775511 0.3026267144 0.589 0.55576  
categ4 -0.6206880701 0.3792713833 -1.637 0.10217  
categ5 0.1758347758 1.3119917990 0.134 0.89342  
total_gross_tonnage0 -0.0000062005 0.0000075268 -0.824 0.41033  
total_gross_tonnage1 0.0000188884 0.0000210663 0.897 0.37023  
total_gross_tonnage2 0.0000005109 0.0000118120 0.043 0.96551  
total_gross_tonnage3 -0.0000112854 0.0000048566 -2.324 0.02042 *  
total_gross_tonnage4 0.0000088932 0.0000127975 0.695 0.48733  
total_gross_tonnage5 -0.0000105368 0.0000498459 -0.211 0.83264
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 13.85 on 717 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.06877, Adjusted R-squared: 0.05319

F-statistic: 4.413 on 12 and 717 DF, p-value: 0.0000007789

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

```
> RegModel.2 <- lm(O3 ~ categ0 + categ1 + categ2 + categ3 + categ4 + categ5 +  
total_gross_tonnage0 + total_gross_tonnage1 + total_gross_tonnage2 +  
total_gross_tonnage3 + total_gross_tonnage4 + total_gross_tonnage5, data = Dataset)
```

Residuals:

```
Min 1Q Median 3Q Max  
-43.742 -12.491 0.399 12.005 53.864
```

Coefficients:

```
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)  
(Intercept) 22.906138037 2.748745327 8.333 4.00e-16 ***  
categ0 0.839257702 0.918400566 0.914 0.3611  
categ1 3.067308469 0.690726688 4.441 1.04e-05 ***  
categ2 0.003146023 0.466026612 0.007 0.9946  
categ3 -0.125039149 0.378649603 -0.330 0.7413  
categ4 0.411067845 0.474548187 0.866 0.3867  
categ5 0.383094432 1.641577397 0.233 0.8155  
total_gross_tonnage0 0.000008560 0.000009418 0.909 0.3637  
total_gross_tonnage1 -0.000060810 0.000026358 -2.307 0.0213 *  
total_gross_tonnage2 -0.000009239 0.000014779 -0.625 0.5321  
total_gross_tonnage3 0.000012761 0.000006077 2.100 0.0361 *  
total_gross_tonnage4 -0.000016286 0.000016012 -1.017 0.3094  
total_gross_tonnage5 -0.000008565 0.000062368 -0.137 0.8908
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 17.33 on 717 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.09884, Adjusted R-squared: 0.08376

F-statistic: 6.554 on 12 and 717 DF, p-value: 3.461e-11

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

```
> RegModel.3 <- lm(NO2 ~ categ0 + categ1 + categ2 + categ3 + categ4 + categ5 +  
total_gross_tonnage0 + total_gross_tonnage1 + total_gross_tonnage2 +  
total_gross_tonnage3 + total_gross_tonnage4 + total_gross_tonnage5, data = Dataset)
```

Residuals:

```
Min 1Q Median 3Q Max  
-39.509 -10.103 -2.161 8.489 67.291
```

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	71.282046839	2.786205682	25.584	< 2e-16 ***
categ0	0.280504546	0.833889075	0.336	0.737
categ1	-0.058872922	0.633765669	-0.093	0.926
categ2	-0.183157744	0.420620620	-0.435	0.663
categ3	-0.161559536	0.263561676	-0.613	0.540
categ4	-0.394951377	0.428338148	-0.922	0.357
categ5	0.816937950	1.482949958	0.551	0.582
total_gross_tonnage0	-0.000007036	0.000008832	-0.797	0.426
total_gross_tonnage1	-0.000019459	0.000023995	-0.811	0.418
total_gross_tonnage2	0.000012919	0.000013350	0.968	0.334
total_gross_tonnage3	-1.861490111	0.327455019	-5.685	0.0000000191 ***
total_gross_tonnage4	0.000003822	0.000014503	0.264	0.792
total_gross_tonnage5	-0.000060472	0.000056460	-1.071	0.284

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 15.65 on 717 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.07032, Adjusted R-squared: 0.05476

F-statistic: 4.519 on 12 and 717 DF, p-value: 0.0000004776

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

```
> RegModel.4 <- lm(SO2 ~ categ0 + categ1 + categ2 + categ3 + categ4 + categ5 +  
total_gross_tonnage0 + total_gross_tonnage1 + total_gross_tonnage2 +  
total_gross_tonnage3 + total_gross_tonnage4 + total_gross_tonnage5, data = Dataset)
```

Residuals:

```
Min 1Q Median 3Q Max  
-1.5285 -0.7406 -0.2767 0.4469 5.4882
```

Coefficients:

```
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)  
(Intercept) 2.51330114392 0.18658642782 13.470 < 2e-16 ***  
categ0 0.07465038924 0.05584382545 1.337 0.18172  
categ1 0.12561952887 0.04244197515 2.960 0.00318 **  
categ2 0.00568565234 0.02816809233 0.202 0.84009  
categ3 -0.01446606756 0.01765017997 -0.820 0.41272  
categ4 0.00238009193 0.02868491919 0.083 0.93390  
categ5 0.11272093421 0.09931008940 1.135 0.25674  
total_gross_tonnage0 -0.00000123555 0.00000059144 -2.089 0.03705 *  
total_gross_tonnage1 -0.00000433284 0.00000160687 -2.696 0.00717 **  
total_gross_tonnage2 -0.00000002516 0.00000089403 -0.028 0.97755  
total_gross_tonnage3 -0.06690920765 0.02192898490 -3.051 0.00236 **  
total_gross_tonnage4 -0.00000135871 0.00000097123 -1.399 0.16226  
total_gross_tonnage5 -0.00000349964 0.00000378101 -0.926 0.35497
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.048 on 717 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.03155, Adjusted R-squared: 0.01535

F-statistic: 1.947 on 12 and 717 DF, p-value: 0.02649

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

```
> RegModel.5 <- lm(PM10 ~ categ0 + categ1 + categ2 + categ3 + categ4 + categ5 +  
total_gross_tonnage0 + total_gross_tonnage1 + total_gross_tonnage2 +  
total_gross_tonnage3 + total_gross_tonnage4 + total_gross_tonnage5, data = Dataset)
```

Residuals:

```
Min 1Q Median 3Q Max  
-25.173 -6.414 -0.605 4.808 59.280
```

Coefficients:

```
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)  
(Intercept) 27.021047276 1.693887959 15.952 < 2e-16 ***  
categ0 1.458506193 0.506967118 2.877 0.00414 **  
categ1 0.488861046 0.385301072 1.269 0.20493  
categ2 -0.173271136 0.255718452 -0.678 0.49825  
categ3 -0.036872461 0.160233666 -0.230 0.81807  
categ4 0.004830306 0.260410362 0.019 0.98521  
categ5 0.246596696 0.901566993 0.274 0.78453  
total_gross_tonnage0 -0.000006822 0.000005369 -1.271 0.20432  
total_gross_tonnage1 -0.000020418 0.000014588 -1.400 0.16205  
total_gross_tonnage2 0.000005330 0.000008116 0.657 0.51161  
total_gross_tonnage3 -0.419065365 0.199077950 -2.105 0.03564 *  
total_gross_tonnage4 -0.000005913 0.000008817 -0.671 0.50267  
total_gross_tonnage5 -0.000028123 0.000034325 -0.819 0.41288
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 9.513 on 717 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.0462, Adjusted R-squared: 0.03024

F-statistic: 2.894 on 12 and 717 DF, p-value: 0.0006389

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

```
> RegModel.6 <- lm(O3 ~ categ0 + categ1 + categ2 + categ3 + categ4 + categ5 +  
total_gross_tonnage0 + total_gross_tonnage1 + total_gross_tonnage2 +  
total_gross_tonnage3 + total_gross_tonnage4 + total_gross_tonnage5, data = Dataset)
```

Residuals:

```
Min 1Q Median 3Q Max  
-44.264 -10.503 -0.307 10.963 43.503
```

Coefficients:

```
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)  
(Intercept) 15.522850277 2.864294824 5.419 0.0000000817 ***  
categ0 1.004475774 0.857260531 1.172 0.2417  
categ1 2.658305216 0.651528255 4.080 0.0000500687 ***  
categ2 -0.069911617 0.432409377 -0.162 0.8716  
categ3 0.117866636 0.270948534 0.435 0.6637  
categ4 0.410143972 0.440343205 0.931 0.3520  
categ5 0.931991398 1.524512680 0.611 0.5412  
total_gross_tonnage0 0.000010024 0.000009079 1.104 0.2699  
total_gross_tonnage1 -0.000059765 0.000024667 -2.423 0.0156 *  
total_gross_tonnage2 -0.000003216 0.000013724 -0.234 0.8148  
total_gross_tonnage3 1.657427162 0.336632620 4.924 0.0000010556 ***  
total_gross_tonnage4 -0.000018702 0.000014909 -1.254 0.2101  
total_gross_tonnage5 -0.000033573 0.000058042 -0.578 0.5632
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 16.09 on 717 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.1191, Adjusted R-squared: 0.1044

F-statistic: 8.082 on 12 and 717 DF, p-value: 2.432e-14

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

```
> RegModel.7 <- lm(NO2 ~ categ0 + categ1 + categ2 + categ3 + categ4 + categ5 +  
total_gross_tonnage0 + total_gross_tonnage1 + total_gross_tonnage2 +  
total_gross_tonnage3 + total_gross_tonnage4 + total_gross_tonnage5, data = Dataset)
```

Residuals:

```
Min 1Q Median 3Q Max  
-37.425 -9.375 -1.040 8.796 49.415
```

Coefficients:

```
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)  
(Intercept) 50.175104853 2.252441831 22.276 < 2e-16 ***  
categ0 -0.822159595 0.752577488 -1.092 0.2750  
categ1 -2.752032482 0.566011580 -4.862 0.00000143 ***  
categ2 0.072562078 0.381882536 0.190 0.8494  
categ3 0.155366256 0.310282003 0.501 0.6167  
categ4 -0.276889708 0.388865486 -0.712 0.4767  
categ5 -0.438893272 1.345180130 -0.326 0.7443  
total_gross_tonnage0 -0.000008086 0.000007717 -1.048 0.2951  
total_gross_tonnage1 0.000054335 0.000021599 2.516 0.0121 *  
total_gross_tonnage2 0.000011556 0.000012111 0.954 0.3403  
total_gross_tonnage3 -0.000009743 0.000004979 -1.957 0.0508 .  
total_gross_tonnage4 0.000008958 0.000013121 0.683 0.4950  
total_gross_tonnage5 0.000026995 0.000051107 0.528 0.5975
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 14.2 on 717 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.1138, Adjusted R-squared: 0.09897

F-statistic: 7.673 on 12 and 717 DF, p-value: 1.698e-13

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

```
> RegModel.8 <- lm(SO2 ~ categ0 + categ1 + categ2 + categ3 + categ4 + categ5 +  
total_gross_tonnage0 + total_gross_tonnage1 + total_gross_tonnage2 +  
total_gross_tonnage3 + total_gross_tonnage4 + total_gross_tonnage5, data = Dataset)
```

Residuals:

```
Min 1Q Median 3Q Max  
-2.2526 -0.8357 -0.2484 0.5894 4.4943
```

Coefficients:

```
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)  
(Intercept) 2.4100929167 0.1744415912 13.816 <2e-16 ***  
categ0 -0.0499153455 0.0582837757 -0.856 0.3921  
categ1 0.0751529003 0.0438350768 1.714 0.0869 .  
categ2 0.0120484289 0.0295751021 0.407 0.6838  
categ3 -0.0212757834 0.0240299596 -0.885 0.3762  
categ4 -0.0384447180 0.0301159005 -1.277 0.2022  
categ5 0.0258881268 0.1041782119 0.248 0.8038  
total_gross_tonnage0 0.0000003825 0.0000005977 0.640 0.5224  
total_gross_tonnage1 -0.0000032443 0.0000016728 -1.939 0.0528 .  
total_gross_tonnage2 0.0000002092 0.0000009379 0.223 0.8236  
total_gross_tonnage3 0.0000001260 0.0000003856 0.327 0.7439  
total_gross_tonnage4 0.0000002314 0.0000010162 0.228 0.8200  
total_gross_tonnage5 -0.0000003961 0.0000039580 -0.100 0.9203
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.1 on 717 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.01256, Adjusted R-squared: -0.003968

F-statistic: 0.7599 on 12 and 717 DF, p-value: 0.6923

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

```
> RegModel.9 <- lm(O3 ~ categ0 + categ1 + categ2 + categ3 + categ4 + categ5 +  
total_gross_tonnage0 + total_gross_tonnage1 + total_gross_tonnage2 +  
total_gross_tonnage3 + total_gross_tonnage4 + total_gross_tonnage5, data = Dataset)
```

Residuals:

```
Min 1Q Median 3Q Max  
-52.616 -14.617 1.028 14.475 70.399
```

Coefficients:

```
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)  
(Intercept) 23.829557429 3.152656640 7.559 1.25e-13 ***  
categ0 1.558408365 1.053353911 1.479 0.139  
categ1 5.088296243 0.792224749 6.423 2.44e-10 ***  
categ2 -0.236032355 0.534506372 -0.442 0.659  
categ3 -0.297411563 0.434289846 -0.685 0.494  
categ4 0.421475003 0.544280141 0.774 0.439  
categ5 1.842933440 1.882797154 0.979 0.328  
total_gross_tonnage0 0.000013715 0.000010801 1.270 0.205  
total_gross_tonnage1 -0.000119182 0.000030232 -3.942 8.86e-05 ***  
total_gross_tonnage2 -0.000005112 0.000016951 -0.302 0.763  
total_gross_tonnage3 0.000013934 0.000006970 1.999 0.046 *  
total_gross_tonnage4 -0.000024783 0.000018365 -1.349 0.178  
total_gross_tonnage5 -0.000082954 0.000071532 -1.160 0.247
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 19.87 on 717 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.1572, Adjusted R-squared: 0.1431

F-statistic: 11.15 on 12 and 717 DF, p-value: < 2.2e-16

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

```
> RegModel.10 <- lm(NO2 ~ categ0 + categ1 + categ2 + categ3 + categ4 + categ5 +  
total_gross_tonnage0 + total_gross_tonnage1 + total_gross_tonnage2 +  
total_gross_tonnage3 + total_gross_tonnage4 + total_gross_tonnage5, data = Dataset)
```

Residuals:

```
Min 1Q Median 3Q Max  
-38.619 -7.488 -0.343 7.120 40.678
```

Coefficients:

```
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)  
(Intercept) 40.624834780 1.847796611 21.986 < 2e-16 ***  
categ0 -0.177812410 0.617378932 -0.288 0.7734  
categ1 -1.887379102 0.464329096 -4.065 0.0000534 ***  
categ2 -0.205181747 0.313278348 -0.655 0.5127  
categ3 0.204308598 0.254540661 0.803 0.4224  
categ4 -0.084242674 0.319006830 -0.264 0.7918  
categ5 -0.816109153 1.103522076 -0.740 0.4598  
total_gross_tonnage0 -0.000002809 0.000006331 -0.444 0.6574  
total_gross_tonnage1 0.000044863 0.000017719 2.532 0.0116 *  
total_gross_tonnage2 0.000012472 0.000009935 1.255 0.2098  
total_gross_tonnage3 -0.000008718 0.000004085 -2.134 0.0332 *  
total_gross_tonnage4 0.000001782 0.000010764 0.166 0.8685  
total_gross_tonnage5 0.000010198 0.000041926 0.243 0.8079
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 11.65 on 717 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.05393, Adjusted R-squared: 0.0381

F-statistic: 3.406 on 12 and 717 DF, p-value: 0.00007122

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

```
> RegModel.11 <- lm(SO2 ~ categ0 + categ1 + categ2 + categ3 + categ4 + categ5 +
total_gross_tonnage0 + total_gross_tonnage1 + total_gross_tonnage2 +
total_gross_tonnage3 + total_gross_tonnage4 + total_gross_tonnage5, data = Dataset)
```

Residuals:

```
Min 1Q Median 3Q Max
-2.5880 -0.8099 -0.2172 0.5473 6.3877
```

Coefficients:

```
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 2.4850256788 0.1735967842 14.315 <2e-16 ***
categ0 -0.0315565333 0.0580015119 -0.544 0.5866
categ1 0.0798444508 0.0436227869 1.830 0.0676 .
categ2 -0.0105356104 0.0294318722 -0.358 0.7205
categ3 0.0012957868 0.0239135844 0.054 0.9568
categ4 -0.0227753238 0.0299700516 -0.760 0.4475
categ5 0.1980825389 0.1036736849 1.911 0.0565 .
total_gross_tonnage0 0.0000002397 0.0000005948 0.403 0.6871
total_gross_tonnage1 -0.0000030759 0.0000016647 -1.848 0.0650 .
total_gross_tonnage2 0.0000007407 0.0000009334 0.794 0.4277
total_gross_tonnage3 -0.0000002359 0.0000003838 -0.615 0.5390
total_gross_tonnage4 0.0000002335 0.0000010113 0.231 0.8175
total_gross_tonnage5 -0.0000060916 0.0000039388 -1.547 0.1224
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.094 on 717 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.01542, Adjusted R-squared: -0.001053

F-statistic: 0.9361 on 12 and 717 DF, p-value: 0.5099

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

```
> RegModel.12 <- lm(NO2 ~ categ0 + categ1 + categ2 + categ3 + categ4 + categ5 +
total_gross_tonnage0 + total_gross_tonnage1 + total_gross_tonnage2 +
total_gross_tonnage3 + total_gross_tonnage4 + total_gross_tonnage5, data = Dataset)
```

Residuals:

```
Min 1Q Median 3Q Max
-36.414 -6.556 -0.259 7.454 35.864
```

Coefficients:

```
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 41.0493097297 1.7227340735 23.828 < 2e-16 ***
categ0 -0.3663397754 0.5755935016 -0.636 0.524683
categ1 -1.6559242846 0.4329023822 -3.825 0.000142 ***
categ2 0.2234936432 0.2920750482 0.765 0.444409
categ3 0.2646564923 0.2373128448 1.115 0.265129
categ4 -0.1743511581 0.2974158150 -0.586 0.557912
categ5 -0.6820205461 1.0288335145 -0.663 0.507603
total_gross_tonnage0 0.0000004652 0.0000059023 0.079 0.937200
total_gross_tonnage1 0.0000303547 0.0000165197 1.837 0.066552 .
total_gross_tonnage2 0.0000010197 0.0000092627 0.110 0.912372
total_gross_tonnage3 -0.0000085835 0.0000038085 -2.254 0.024511 *
total_gross_tonnage4 0.0000095562 0.0000100355 0.952 0.341299
total_gross_tonnage5 0.0000150034 0.0000390880 0.384 0.701213
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 10.86 on 717 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.06172, Adjusted R-squared: 0.04602

F-statistic: 3.93 on 12 and 717 DF, p-value: 0.000006957

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

```
> RegModel.13 <- lm(SO2 ~ categ0 + categ1 + categ2 + categ3 + categ4 + categ5 +
total_gross_tonnage0 + total_gross_tonnage1 + total_gross_tonnage2 +
total_gross_tonnage3 + total_gross_tonnage4 + total_gross_tonnage5, data = Dataset)
```

Residuals:

```
Min 1Q Median 3Q Max
-2.9142 -0.5232 -0.2027 0.3673 4.6069
```

Coefficients:

```
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 2.8104163794 0.1523283084 18.450 < 2e-16 ***
categ0 0.0639716931 0.0508953679 1.257 0.2092
categ1 -0.1582866027 0.0382782744 -4.135 0.0000397 ***
categ2 0.0317051908 0.0258259813 1.228 0.2200
categ3 0.0230983361 0.0209837750 1.101 0.2714
categ4 -0.0140860755 0.0262982248 -0.536 0.5924
categ5 -0.1259033496 0.0909719447 -1.384 0.1668
total_gross_tonnage0 -0.0000006315 0.0000005219 -1.210 0.2267
total_gross_tonnage1 0.0000034608 0.0000014607 2.369 0.0181 *
total_gross_tonnage2 -0.0000003763 0.0000008190 -0.459 0.6461
total_gross_tonnage3 -0.0000001812 0.0000003368 -0.538 0.5907
total_gross_tonnage4 0.0000019956 0.0000008874 2.249 0.0248 *
total_gross_tonnage5 0.0000047255 0.0000034563 1.367 0.1720
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.9603 on 717 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.05389, Adjusted R-squared: 0.03805

F-statistic: 3.403 on 12 and 717 DF, p-value: 0.00007214

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

```
> RegModel.14 <- lm(O3 ~ categ0 + categ1 + categ2 + categ3 + categ4 + categ5 +  
total_gross_tonnage0 + total_gross_tonnage1 + total_gross_tonnage2 +  
total_gross_tonnage3 + total_gross_tonnage4 + total_gross_tonnage5, data = Dataset)
```

Residuals:

```
Min 1Q Median 3Q Max  
-53.64 -14.98 1.34 14.17 65.06
```

Coefficients:

```
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)  
(Intercept) 27.678521814 3.192537593 8.670 < 2e-16 ***  
categ0 2.715432417 1.066678787 2.546 0.01111 *  
categ1 3.686563028 0.802246354 4.595 0.00000511 ***  
categ2 0.583291408 0.541267852 1.078 0.28156  
categ3 -0.165012111 0.439783592 -0.375 0.70761  
categ4 -0.053785946 0.551165258 -0.098 0.92229  
categ5 2.028720662 1.906614447 1.064 0.28767  
total_gross_tonnage0 -0.000005529 0.000010938 -0.506 0.61336  
total_gross_tonnage1 -0.000100534 0.000030614 -3.284 0.00107 **  
total_gross_tonnage2 -0.000024513 0.000017165 -1.428 0.15371  
total_gross_tonnage3 0.000007961 0.000007058 1.128 0.25968  
total_gross_tonnage4 -0.000005051 0.000018598 -0.272 0.78600  
total_gross_tonnage5 -0.000044027 0.000072437 -0.608 0.54351
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 20.13 on 717 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.08626, Adjusted R-squared: 0.07097

F-statistic: 5.64 on 12 and 717 DF, p-value: 0.000000002584

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

```
> RegModel.15 <- lm(NO2 ~ categ0 + categ1 + categ2 + categ3 + categ4 + categ5 +
total_gross_tonnage0 + total_gross_tonnage1 + total_gross_tonnage2 +
total_gross_tonnage3 + total_gross_tonnage4 + total_gross_tonnage5, data = Dataset)
```

Residuals:

```
Min 1Q Median 3Q Max
-3.3444 -1.2344 -0.2964 0.8650 12.2657
```

Coefficients:

```
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 3.8115657168 0.2942326845 12.954 <2e-16 ***
categ0 0.0953515229 0.0983079303 0.970 0.3324
categ1 0.0929635466 0.0739371398 1.257 0.2090
categ2 -0.0024379252 0.0498846728 -0.049 0.9610
categ3 -0.0309738034 0.0405316157 -0.764 0.4450
categ4 0.0025326050 0.0507968438 0.050 0.9602
categ5 0.2673577507 0.1757186159 1.522 0.1286
total_gross_tonnage0 -0.0000016795 0.0000010081 -1.666 0.0961 .
total_gross_tonnage1 -0.0000052870 0.0000028215 -1.874 0.0614 .
total_gross_tonnage2 0.0000006148 0.0000015820 0.389 0.6977
total_gross_tonnage3 -0.0000001066 0.0000006505 -0.164 0.8699
total_gross_tonnage4 -0.0000008481 0.0000017140 -0.495 0.6209
total_gross_tonnage5 -0.0000055895 0.0000066760 -0.837 0.4027
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.855 on 717 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.02378, Adjusted R-squared: 0.007439

F-statistic: 1.455 on 12 and 717 DF, p-value: 0.136

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

```
> RegModel.16 <- lm(SO2 ~ categ0 + categ1 + categ2 + categ3 + categ4 + categ5 +
total_gross_tonnage0 + total_gross_tonnage1 + total_gross_tonnage2 +
total_gross_tonnage3 + total_gross_tonnage4 + total_gross_tonnage5, data = Dataset)
```

Residuals:

```
Min 1Q Median 3Q Max
-1.1428 -0.6072 0.0104 0.3612 3.1970
```

Coefficients:

```
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 0.5793536889 0.1103751006 5.249 0.000000202 ***
categ0 -0.0409746768 0.0368781181 -1.111 0.26690
categ1 0.0945355924 0.0277359372 3.408 0.00069 ***
categ2 -0.0198279200 0.0187131684 -1.060 0.28970
categ3 -0.0253369284 0.0152045690 -1.666 0.09607 .
categ4 0.0245352109 0.0190553499 1.288 0.19831
categ5 -0.0302048148 0.0659170817 -0.458 0.64693
total_gross_tonnage0 0.0000003734 0.0000003782 0.987 0.32381
total_gross_tonnage1 -0.0000021720 0.0000010584 -2.052 0.04052 *
total_gross_tonnage2 0.0000006884 0.0000005935 1.160 0.24646
total_gross_tonnage3 0.0000003462 0.0000002440 1.419 0.15642
total_gross_tonnage4 -0.0000002575 0.0000006430 -0.400 0.68893
total_gross_tonnage5 0.0000005343 0.0000025044 0.213 0.83113
```

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.6958 on 717 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.0354, Adjusted R-squared: 0.01926

F-statistic: 2.193 on 12 and 717 DF, p-value: 0.01065

Contaminación y buques. ¿Cuál es el impacto producido del puerto a la ciudad de Barcelona?

```
> RegModel.17 <- lm(O3 ~ categ0 + categ1 + categ2 + categ3 + categ4 + categ5 +
total_gross_tonnage0 + total_gross_tonnage1 + total_gross_tonnage2 +
total_gross_tonnage3 + total_gross_tonnage4 + total_gross_tonnage5, data = Dataset)
```

Residuals:

```
Min 1Q Median 3Q Max
-73.679 -12.958 -0.796 12.063 57.009
```

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	60.675133952	3.076882803	19.720	< 2e-16 ***
categ0	-0.256416023	1.028036639	-0.249	0.803105
categ1	4.441588397	0.773183694	5.745	0.0000000136 ***
categ2	-0.518943108	0.521659557	-0.995	0.320173
categ3	-0.599254826	0.423851726	-1.414	0.157845
categ4	-0.596631161	0.531198413	-1.123	0.261737
categ5	0.853003713	1.837544283	0.464	0.642639
total_gross_tonnage0	0.000017044	0.000010542	1.617	0.106358
total_gross_tonnage1	-0.000106166	0.000029505	-3.598	0.000342 ***
total_gross_tonnage2	0.000018684	0.000016544	1.129	0.259111
total_gross_tonnage3	0.000011117	0.000006802	1.634	0.102609
total_gross_tonnage4	-0.000010269	0.000017924	-0.573	0.566873
total_gross_tonnage5	-0.000106023	0.000069813	-1.519	0.129285

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 19.4 on 717 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.1006, Adjusted R-squared: 0.0855

F-statistic: 6.68 on 12 and 717 DF, p-value: 1.9e-11

Figura Suplementaria 3: referencia en la fórmula de regresión según la tipología de buque por cada estación.