



**industriales**  
etsii

**Escuela Técnica  
Superior  
de Ingeniería  
Industrial**

# **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA**

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial**

## **Impacto de la actividad de los cruceros en la calidad del aire de la Dársena de Cartagena. Identificación de las principales prácticas y fuentes contaminantes.**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

**Autora: Elena Matás Planes**  
**Directora: Isabel Costa Gómez**  
**Codirector: José María Moreno Grau**



**Universidad  
Politécnica  
de Cartagena**

Cartagena, 28 de junio 2020

Elena

# Índice

1.	Introducción .....	5
1.1.	La problemática de la contaminación atmosférica en general .....	8
1.2.	Normativa española sobre contaminación atmosférica .....	10
1.3.	Emisión y calidad del aire .....	12
1.4.	Contaminantes que se van a estudiar y sus efectos en la salud .....	14
1.4.1.	Óxidos de nitrógeno: NO <sub>x</sub> .....	14
1.4.2.	Dióxido de azufre: SO <sub>2</sub> .....	15
1.4.3.	Ozono: O <sub>3</sub> .....	15
1.5.	Las combustiones en los cruceros.....	17
1.5.1.	Tecnología empleada en los barcos .....	17
1.5.2.	Combustión y combustibles .....	18
1.6.	Regulación del sector del transporte marítimo. Efecto de las prácticas de los cruceros en la contaminación del aire urbano. ....	21
2.	Objetivos .....	24
3.	Material y métodos .....	25
3.1.	Información sobre los cruceros.....	25
3.2.	Información de calidad del aire.....	26
3.3.	Tratamiento de datos.....	29
3.3.1.	Índice de etiquetas identificativas utilizadas .....	29
4.	Ciudad objeto de estudio: Cartagena.....	31
5.	Resultado de tratamiento de datos .....	33
5.1.	Comportamiento de los cruceros.....	33
5.2.	Estadística descriptiva .....	38
a.	2018.....	38
b.	2019.....	38
5.3.	Estudio de normalidad de los datos.....	41
a.	2018.....	41
b.	2019.....	44
5.4.	Estudio de log-normalidad de los datos.....	47
a.	2018.....	47
b.	2019.....	50
5.5.	Homogeneidad de las varianzas.....	53

5.6.	Distribución de contaminantes por otros factores .....	54
5.6.1.	Días de la semana.....	54
a.	2018.....	54
b.	2019.....	57
5.6.2.	Evolución horaria.....	59
a.	2018.....	59
b.	2019.....	62
5.6.3.	Factores meteorológicos.....	64
i.	Dirección del viento.....	64
a.	2018.....	64
b.	2019.....	67
ii.	Velocidad del viento.....	70
a.	2018.....	70
b.	2019.....	73
5.7.	Influencia de cruceros en concentración de contaminantes .....	76
5.7.1.	Cruceros B .....	76
a.	2018.....	76
b.	2019.....	80
5.7.2.	Cruceros B con restricción horaria .....	84
a.	2018.....	84
b.	2019.....	88
5.7.3.	Cruceros B con restricción horaria. Evolución horaria.....	91
a.	2018.....	91
b.	2019.....	94
5.7.4.	Cruceros B con restricción horaria. Evolución diaria. ....	97
a.	2018.....	97
b.	2019.....	100
5.7.5.	Cruceros C con restricción horaria .....	103
a.	2018.....	103
b.	2019.....	106
5.7.6.	Cruceros C con restricción horaria. Evolución horaria.....	109
a.	2018.....	109
b.	2019.....	112
5.7.7.	Dispersión de contaminantes por la influencia del viento.....	115

i.	Dirección del viento.....	115
a.	2018.....	115
b.	2019.....	118
ii.	Velocidad del viento.....	121
a.	2018.....	121
b.	2019.....	124
6.	Discusión de resultados.....	127
6.1.	Fichas de cruceros.....	127
6.2.	Discusión de resultados de tratamiento de datos .....	128
	Óxidos de nitrógeno NO <sub>x</sub> .....	128
	Dióxido de azufre SO <sub>2</sub> .....	130
	Ozono O <sub>3</sub> .....	131
7.	Conclusiones.....	135
8.	Bibliografía .....	136
	Índice de tablas .....	138
	Índice de figuras .....	140
	Anexo I.....	144

## 1. Introducción

La navegación de todo tipo de buques, incluidos los cruceros, depende del uso de combustibles fósiles. Para los barcos la normativa de emisiones de sustancias contaminantes a la atmósfera es menos estricta y por lo general el combustible usado está menos refinado que en el resto de las actividades que requieren combustiones, lo que provoca que el transporte marítimo tenga una alta contribución a la contaminación del aire por el uso de combustibles fósiles, a pesar de que el número de cruceros en navegación no es demasiado grande en comparación con el resto de fuentes de contaminación. Se estima que este sector es el responsable del 15 % de las emisiones antropogénicas de NO<sub>x</sub> y del 5 % - 8 % de las de SO<sub>2</sub>. Además, las emisiones de este tipo de transportes contribuyen a la acidificación del medio acuático y terrestre (WHO, 2018a).

Este tipo de turismo es cada vez más utilizado en todo el mundo y atrae a millones de pasajeros todos los años. En el año 2019 se transportaron 26 857 418 pasajeros en todo el mundo, lo que supone un aumento de casi el 50 % desde el año 2010, con 18 421 000 pasajeros (*Growth | Cruise Market Watch*, 2020). Como resultado de su mayor demanda por parte de los turistas entre los años 2013 y 2015 las horas de operación de los cruceros sufrió un aumento del 8 %. Además se estima que a lo largo de esos tres años la potencia de los motores principales de estos buques aumentó en un 7 % para abastecer todas las necesidades del trayecto (Olmer *et al.*, 2017).

Un estudio llevado a cabo por “Transport & Environment” (Transport & Environment, 2019) determinó que en el año 2017 de un total de 203 barcos estudiados en toda Europa se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 1 sobre las emisiones producidas por estos buques y su consumo de combustible:

**Tabla 1: Emisiones de contaminantes de cruceros 2017. Fuente: Transport & Environment (2019)**

SO <sub>x</sub> total	NO <sub>x</sub> total	PM total	CO <sub>2</sub> total	Consumo de combustible
62 kt	155 kt	10 kt	10 286 kt	3267 kt



**Figura 1: Distribución de rutas de líneas de cruceros en Europa 2017. Fuente: Transport & Environment (2019)**

La mayor parte de la emisión de estos contaminantes tuvo lugar en el Mar Mediterráneo (Figura 1) por la mayor afluencia de cruceros, aunque también se demostró que estas emisiones tenían mayor impacto en las ciudades con puertos donde los cruceros comenzaban o terminaban sus trayectorias.

En este estudio realizado por “Transport & Environment” se concluye que en 2017 en términos absolutos las costas española e italiana son las más expuestas a la contaminación atmosférica debido al tráfico de cruceros. En España, como se muestra en la Tabla 2, se estima que fueron emitidos un total de 15 kt de SO<sub>2</sub> por 172 cruceros diferentes en la Zona Económica Exclusiva (ZEE, corresponde a 370,4 km desde la línea de costa). Se trata de 50 veces más que las emisiones de SO<sub>x</sub> de los casi 23 millones de vehículos de pasajeros en el mismo año (Figura 2).

En toda Europa esta cifra disminuye a unas 20 veces más de SO<sub>x</sub> emitido por 203 buques de cruceros estudiados que los más de 260 millones de vehículos en 2017 (Figura 3).

**Tabla 2: Emisiones de SO<sub>x</sub> de vehículos y cruceros en 2017. Fuente: Transport & Environment (2019)**

Ciudad	Número de cruceros estudiados	Horas en navegación	Emisiones de SO <sub>x</sub> de cruceros (kg)	Número de vehículos personales	Emisiones de SO <sub>x</sub> de vehículos personales (kg)	Ratio de SO <sub>x</sub> cruceros-vehículos
España	172	129 742	14 496 409	22 877 000	278 818	51,99
TOTAL Europa	203	932 491	62 222 174	263 019 000	3 205 628	19,4

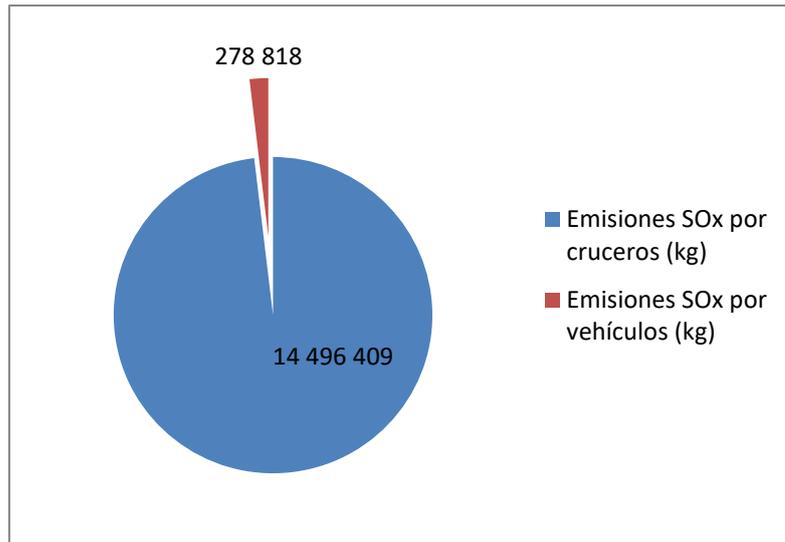


Figura 2: Emisiones de SO<sub>x</sub> de vehículos y cruceros en España en 2017. Fuente: Transport & Environment (2019)

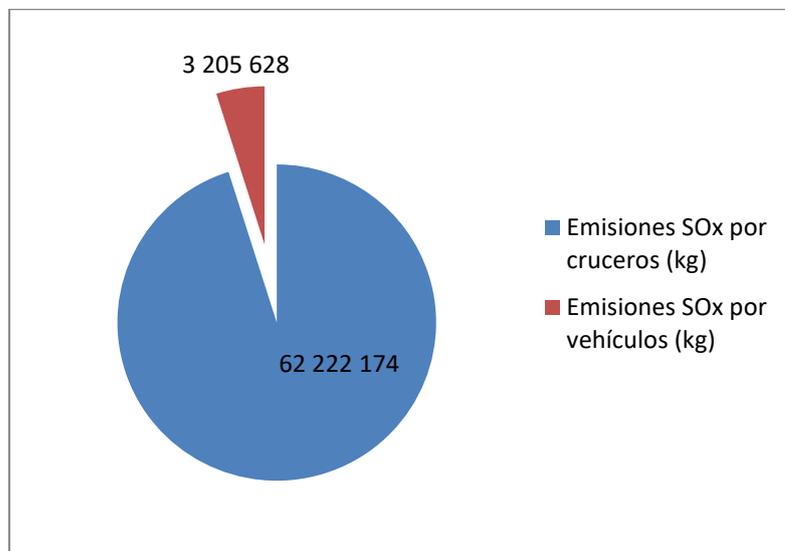


Figura 3: Emisiones de SO<sub>x</sub> de vehículos y cruceros en Europa en 2017. Fuente: Transport & Environment (2019)

No es sorpresa que cuatro de las ciudades más expuestas a la contaminación atmosférica por cruceros sean España, Italia, Grecia y Francia; ciudades del sur de Europa que dan al Mar Mediterráneo y a las que no les han afectado algunas de las normativas de emisiones de SO<sub>x</sub> hasta 2020 al no encontrarse dentro de las denominadas Áreas de Control de las Emisiones de Azufre, conocidas como SECA por sus siglas en inglés.

## 1.1. La problemática de la contaminación atmosférica en general

Para que se pueda desarrollar la vida en la Tierra es esencial una buena calidad del aire, ya que permite respirar a los seres vivos y hace que el planeta sea habitable. La alteración de la composición del aire por causas antropogénicas o naturales tiene repercusiones sobre los ecosistemas y la salud humana.

A pesar de que la contaminación atmosférica es un asunto de mayor preocupación en las últimas décadas, este fenómeno no es algo reciente ya que existen referencias a esta problemática desde hace más de 2000 años.

La primera evidencia del impacto de la contaminación del aire en la salud humana es una momia encontrada en el desierto del Gobi (*The Beauty of Loulan*, 1800 a.C), cuya muerte se atribuye a enfermedades respiratorias por estar en contacto con polvo mineral y por las emisiones de la combustión de la madera. Además, en el 300 d. C. las leyes romanas ya regulaban algunas fuentes de contaminación atmosférica, como la producción de cerveza (Querol *et al.*, 2012). Incluso en el Derecho Romano se incluía el derecho que todo ciudadano tenía a gozar de un inmueble sin padecer las inmisiones que pudiesen provenir de otros inmuebles (Díaz-Bautista, 2007).

En las últimas décadas se han firmado multitud de acuerdos, declaraciones y protocolos sobre contaminación atmosférica, entre los que destacan: el Acuerdo de Estocolmo (1972 sobre acidificación), el Protocolo de Montreal (1987/90 sobre la capa de ozono), la Declaración de Río (1992), la Cumbre de Kioto (1997) y la Cumbre de Río (2002), estos tres últimos sobre el cambio climático (Querol *et al.*, 2012). Además, se han firmado varias Directivas que conforman la legislación ambiental que se viene aplicando en las últimas décadas.

La contaminación atmosférica se define como la presencia en la atmósfera de uno o más contaminantes que por cantidades y por duración en la atmósfera pueden llegar a perjudicar a la salud de los humanos y animales, plantas, propiedades y materiales o que puedan interferir con la actividad diaria de las personas o las empresas (Liu and Lipták, 2000).

Existen diversos contaminantes con distintas repercusiones en la atmósfera, entre los que se incluyen los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ ), el óxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), compuestos orgánicos volátiles (VOC), material particulado  $\text{PM}_{2.5}$  y  $\text{PM}_{10}$ , ozono ( $\text{O}_3$ , cuyo efecto es beneficioso en la estratosfera ya que reduce la radiación ultravioleta, aunque perjudicial en la troposfera, por su poder oxidante), el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), etc.

Estos contaminantes se pueden dividir en gaseosos, como el dióxido de azufre o los óxidos de nitrógeno; o material particulado, que está formado por partículas que pasan a través del cabezal de muestreo definido en la norma EN 12341, con un rendimiento de separación del 50 % para un diámetro aerodinámico de 10  $\mu\text{m}$  en el caso del  $\text{PM}_{10}$ , y en el caso de las  $\text{PM}_{2.5}$  se trata de partículas que pasan a través del cabezal de muestreo definido en la norma EN 14907, con un rendimiento de separación del 50 % para un diámetro aerodinámico de 2,5  $\mu\text{m}$ .

Además, existen otros problemas derivados de la contaminación atmosférica, como el smog fotoquímico o la lluvia ácida.

El smog fotoquímico se refiere a la formación de ozono en la atmósfera como resultado de reacciones fotoquímicas de hidrocarburos, compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno.

La lluvia ácida comprende el fenómeno por el cual se produce una precipitación con un pH menor del usual de la lluvia, que es aproximadamente 5,7. Se relaciona la lluvia ácida con las emisiones de dióxido de azufre y óxido de nitrógeno (Liu and Lipták, 2000).

## 1.2. Normativa española sobre contaminación atmosférica

La normativa española vigente en la actualidad parte esencialmente de las Directivas Europeas sobre calidad del aire, que son el marco legal para establecer políticas y fija unos niveles máximos estatales de contaminación de la atmósfera. En concreto, la *Directiva 2008/50/CE, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa*, marca criterios para el método de evaluación y de medición de referencia, valores límite para la protección de la salud humana y del medio ambiente, niveles críticos para la protección de la vegetación y proporciona una lista sobre la información que debe aparecer en los planes de acción estatales sobre mejora de calidad del aire.

En España, en relación con la contaminación atmosférica, son de destacar la *Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera* y el *Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire ambiente*.

La *Ley 34/2007* es la base legal para los desarrollos relacionados con la evaluación y la gestión de la calidad del aire en España. Su finalidad es alcanzar unos niveles óptimos de calidad del aire para evitar, prevenir o reducir riesgos o efectos negativos sobre la salud humana, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza. Establece unos objetivos en materia de calidad del aire y unos requisitos mínimos de los sistemas de evaluación de la calidad del aire. Es la ley que sirve de marco regulador para la elaboración de los planes nacionales, autonómicos y locales para la mejora de la calidad del aire.

El *Real Decreto 102/2011* desarrolla esta ley y define y establece objetivos de calidad del aire. Establece niveles para contaminantes como el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno, monóxido de carbono, ozono, arsénico, cadmio, níquel y benzo(a)pireno en el aire ambiente. También regula la evaluación, el mantenimiento y la mejora de la calidad del aire en relación con estos contaminantes y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) distintos al benzo(a)pireno. Su finalidad es evitar, prevenir y reducir los efectos nocivos de estas sustancias sobre la salud humana, el medio ambiente en su conjunto y demás bienes de cualquier naturaleza.

En el *Real Decreto 102/2011* se hace distinción para las siguientes definiciones:

- Nivel crítico: Nivel fijado por encima del cual pueden producirse efectos nocivos para algunos receptores como las plantas, árboles o ecosistemas naturales, pero no para el hombre.
- Umbral de información: Nivel de un contaminante a partir del cual una exposición en breve duración supone un riesgo para la salud humana de los grupos de población especialmente vulnerables.
- Umbral de alerta: Nivel de un contaminante a partir del cual una exposición en breve duración supone un riesgo para la salud humana que afecta al conjunto de la población.
- Valor límite: Nivel fijado basándose en conocimientos científicos, con el fin de evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana, para el medio ambiente

en su conjunto y demás bienes de cualquier naturaleza que debe alcanzarse en un periodo determinado y no superarse una vez alcanzado.

- Valor objetivo: Nivel de un contaminante que deberá alcanzarse en la medida de lo posible, en un momento determinado para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana, para el medio ambiente en su conjunto y demás bienes de cualquier naturaleza.

Las comunidades autónomas son las encargadas de dividir su territorio en zonas de calidad del aire homogénea para evaluar dichos niveles mediante mediciones, modelización u otras técnicas. El resultado de la evaluación anual se presenta a la Comisión Europea y en función del resultado la autoridad competente tomará medidas para gestionar la calidad del aire para mejorarla elaborando planes de mejora o mantenerla en valores óptimos.

### 1.3. Emisión y calidad del aire

Para llevar a cabo un estudio sobre contaminación atmosférica es necesario hacer una distinción entre emisión e inmisión o calidad del aire. Se hace referencia a emisión de contaminantes cuando estos se miden directamente con el foco de emisión, por ejemplo en una chimenea de un barco. Por el contrario, cuando se mencionan las inmisiones o la calidad del aire se hace referencia a la presencia de contaminantes en el aire que es respirado por los humanos y que puede afectar a su salud, a la de los animales o la vegetación y a los materiales.

En la emisión de contaminantes, las fuentes emiten gases y sólidos a la atmósfera:

- Gases:  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ , VOC, etc. A partir de ellos se podrán formar contaminantes secundarios como el ozono.
- Partículas:  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ .

La calidad del aire (o inmisión) depende de la dispersión de los contaminantes; es decir, de la concentración con la que estos llegan a la ciudad en función de si se diluyen en la atmósfera:

- Dispersión horizontal: es función del viento y de su dirección y velocidad (con viento en dirección a la ciudad y a bajas velocidades es probable que afecte más a la calidad del aire).
- Dispersión vertical: es principalmente función de la presión y la estabilidad atmosféricas. En bajas presiones hay menos concentración de contaminantes por lo general, mientras que a altas presiones se dificulta la dispersión de contaminantes. Además, la estabilidad atmosférica dificulta la dispersión de contaminantes y contribuye a la acumulación de los contaminantes cerca de la fuente de emisión.

La inversión térmica es uno de los casos más representativos de estabilidad atmosférica. En general, con la altitud disminuye la temperatura del aire. Cuando una masa de aire cercana a la superficie se calienta, los gases se expanden y disminuyen su peso por unidad de volumen. Al disminuir su peso ascienden hacia capas más altas, mientras que se enfrían lentamente. Esta situación permite una buena dispersión vertical de los gases y partículas (Figura 4). Por el contrario, en condiciones de inversión térmica, las capas más altas de la atmósfera presentan una mayor temperatura que las más bajas, lo que frena la dispersión vertical confinando a los contaminantes bajo una capa de inversión (Figura 5).

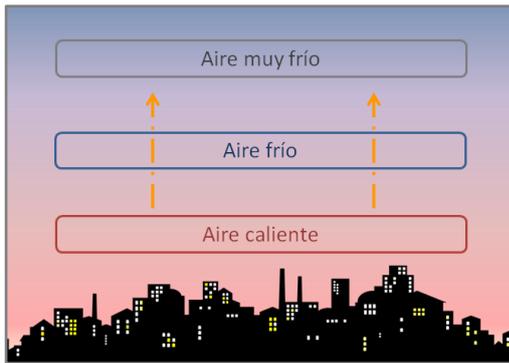


Figura 4: Inversión térmica - Situación normal.  
Fuente: elaboración propia.

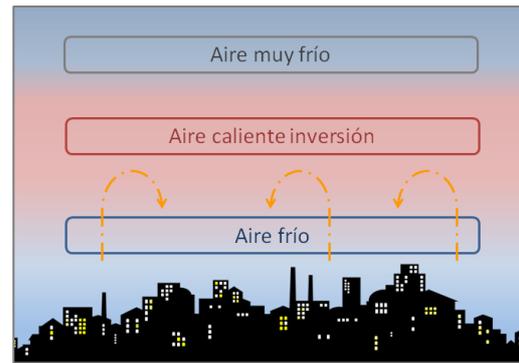


Figura 5: Inversión térmica - Situación de inversión.  
Fuente: elaboración propia.

En la Figura 6 y Figura 7 se muestran fotos de emisión de contaminantes de cruceros tomadas en el puerto de Cartagena:



Figura 6: Emisión de contaminantes en la dársena de Cartagena I. Fuente: propia.



Figura 7: Emisión de contaminantes en la dársena de Cartagena II. Fuente: propia.

## 1.4. Contaminantes que se van a estudiar y sus efectos en la salud

Debido a su alta tasa de mortalidad anualmente en el mundo se llevan a cabo multitud de estudios sobre los efectos de la contaminación atmosférica en la salud de los seres humanos según rangos de edad, países o contaminantes.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 2016 la contaminación atmosférica fue la culpable directa del 7,6 % de las muertes en todo el mundo, siendo las principales afectadas las poblaciones de países con menor desarrollo económico. La OMS señala que el 97 % de los países con bajos o medios ingresos y con más de 100 000 habitantes no cumplen con las pautas de la Organización para una buena calidad del aire; mientras que en países con altos ingresos ese porcentaje es del 49 %. Advierten además que con el empeoramiento de la calidad del aire aumenta la probabilidad de sufrir enfermedades cardiovasculares, cáncer de pulmón y enfermedades respiratorias como el asma (WHO, 2018b).

A continuación, se presentan las características y los principales riesgos para la salud de los contaminantes que se van a estudiar en este trabajo.

### 1.4.1. Óxidos de nitrógeno: NO<sub>x</sub>

Los óxidos de nitrógeno denominados por NO<sub>x</sub> se refieren a la combinación de NO y NO<sub>2</sub>. Son gases que se emiten principalmente en las combustiones, plantas de generación de potencia, en el ámbito industrial como resultado de múltiples procesos (soldadura al arco, galvanoplastia, detonación de dinamita, etc.) y como producto del tráfico de vehículos. La mayoría del NO<sub>2</sub> se forma por la oxidación del monóxido de nitrógeno, que en presencia del oxígeno de la atmósfera forma dióxido de nitrógeno secundario.

Sobre sus efectos en la salud, hay evidencia científica de que incrementa la sensibilidad pulmonar, empeorando los síntomas del asma y de la bronquitis, y de que puede provocar infecciones respiratorias y afectar al funcionamiento y crecimiento de los pulmones. Además, a niveles bajos puede provocar irritación en los ojos, la nariz y la garganta, y posiblemente causar tos y una sensación de falta de aliento, cansancio y náusea. También se le relaciona con mortalidad prematura y morbilidad por enfermedades respiratorias y cardiovasculares (WHO, 2020).

El mecanismo por el que el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) puede afectar a la salud de las personas hasta ocasionar la muerte es poco conocido, aunque se ha propuesto que posiblemente se deba a la respuesta inflamatoria por la activación de vías oxidativas de este contaminante o a su capacidad para dañar la función de los macrófagos alveolares, provocando riesgo de infección en los pulmones. Además presenta propiedades irritantes y oxidantes (Querol *et al.*, 2012).

Con respecto a los valores límite de dióxido de nitrógeno, de acuerdo con el Real Decreto 102/2011, del 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire (*Documento BOE-A-2012-1645*, 2011):

- El valor límite horario se sitúa en  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{NO}_2$  y no podrá superarse en más de 18 ocasiones por año civil.
- El valor límite anual es de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{NO}_2$ .
- El nivel crítico para la protección de la vegetación son  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{NO}_x$  (expresado como  $\text{NO}_2$ ).
- El umbral de alerta son  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{NO}_2$  durante tres horas consecutivas en un área de mínimo  $100 \text{ km}^2$ .

Para el cálculo de concentraciones el volumen se referirá a 293 K y 101,3 kPa.

#### 1.4.2. Dióxido de azufre: $\text{SO}_2$

El dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) se produce principalmente con la quema de combustibles fósiles (carbón y petróleo) y con la fundición de minerales que contienen azufre. En la naturaleza puede ser liberado al aire en erupciones volcánicas. La exposición a  $\text{SO}_2$  produce irritación en los ojos y afecta al funcionamiento del sistema respiratorio, lo que puede agravar el asma y la bronquitis. Además, el dióxido de azufre forma ácido sulfúrico en contacto con el agua del aire y provoca el fenómeno de la lluvia ácida (WHO, 2020).

Con respecto a los valores límite de dióxido de azufre, de acuerdo con el Real Decreto 102/2011 (*Documento BOE-A-2012-1645*, 2011):

- El valor límite horario se sitúa en  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y no podrá superarse en más de 24 ocasiones por año civil.
- El valor límite diario es de  $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , y no podrá superarse en más de 3 ocasiones por año civil.
- El nivel crítico para la protección de la vegetación son  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  como media anual o media de invierno (desde el 1 de octubre al 31 de marzo).
- El umbral de alerta son  $500 \mu\text{g}/\text{m}^3$  durante tres horas consecutivas en un área de mínimo  $100 \text{ km}^2$ .

Para el cálculo de concentraciones el volumen se referirá a 293 K y 101,3 kPa.

#### 1.4.3. Ozono: $\text{O}_3$

El ozono es uno de los principales componentes del smog fotoquímico. Es un contaminante secundario, formado en la troposfera a partir de otros contaminantes como el monóxido de carbono, metano o compuestos orgánicos volátiles cuando se oxidan en presencia de luz solar y óxidos de nitrógeno  $\text{NO}_x$ . La radiación solar aumenta la velocidad y el

grado de formación de O<sub>3</sub>, por lo que sus niveles son más elevados en ciudades del sur de Europa en primavera y verano.

Sus niveles son superiores en las periferias de las grandes ciudades porque la reacción fotoquímica necesita distancia para generar O<sub>3</sub> a partir de sus precursores. Si una vez formado se encuentra en entornos urbanos con altos niveles de NO, el O<sub>3</sub> se consume mediante la oxidación de NO para la formación de NO<sub>2</sub> secundario. Por esto en zonas urbanas con mucho tráfico de vehículos los niveles de O<sub>3</sub> suelen ser muy bajos, mucho más bajos que en entornos poco contaminados, ya que en estas zonas se recibe el O<sub>3</sub> generado durante el transporte de masas de aire desde zonas contaminadas urbanas e industriales, y no existe NO local que lo pueda consumir.

Semanalmente, los niveles de O<sub>3</sub> más elevados se registran los fines de semana y, sobre todo, el domingo, en coherencia con la disminución de los niveles de precursores que se registra en tales días, sobre todo óxidos de nitrógeno.

En relación con la salud, se asocia con problemas respiratorios y pulmonares, como irritación, inflamación, insuficiencias respiratorias o asma. También contribuye al daño a la vegetación, afectando al crecimiento de cultivos y reduciendo la biodiversidad (Ozono - Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2018).

Con respecto a los valores límite de ozono, de acuerdo con el Real Decreto 102/2011 (Documento BOE-A-2012-1645, 2011):

- El umbral de información se sitúa en 180 µg/m<sup>3</sup>, medido durante tres horas consecutivas.
- El umbral de alerta se sitúa en 240 µg/m<sup>3</sup>, medido durante tres horas consecutivas.
- El valor objetivo para la protección de la salud humana es el valor máximo diario de 120 µg/m<sup>3</sup> que no deberá superarse más de 25 días por cada año civil de promedio en un período de 3 años, medido como la máxima diaria de las medias móviles octohorarias.
- El valor objetivo para la protección de la vegetación es el valor máximo de 18 000 µg/m<sup>3</sup> · h de promedio que no deberá superarse en un período de 5 años.

Para el cálculo de concentraciones el volumen se referirá a 293K y 101,3 kPa. La concentración máxima de las medias móviles octohorarias correspondientes a un día se escogerá examinando las medias móviles de 8 horas calculadas a partir de datos horarios y que se actualizarán cada hora. Cada media octohoraria así calculada se atribuirá al día en que termine el periodo.

Estos contaminantes son de gran relevancia en este trabajo ya que se prevé que sus niveles se puedan ver modificados por la llegada de los cruceros a la dársena, principalmente el dióxido de azufre por la composición de los combustibles que usan los buques.

## 1.5. Las combustiones en los cruceros

### 1.5.1. Tecnología empleada en los barcos

A lo largo de la historia de la construcción de barcos, la forma de obtener la energía para la propulsión se ha visto modificada y mejorada continuamente. En los últimos años, con los numerosos cambios en la legislación que regula la emisión de los productos de la combustión en los barcos, la industria de la ingeniería térmica ha tenido que innovar para poder cumplir con los requerimientos de la normativa.

La industria de los cruceros comenzó en el siglo XIX, con barcos que empleaban motores de vapor y conseguían el movimiento de las hélices utilizando vapor de agua como fluido. Un claro ejemplo de este tipo de tecnología fue el buque Titanic (en funcionamiento en 1912, año en que colisionó con un iceberg). Este buque constaba de seis salas de calderas, motores alternativos y una turbina capaces de generar la potencia necesaria para abastecer todas las necesidades de los pasajeros así como la propulsión del buque (Gil, 2010).

Con el paso de los años y gracias a las mejoras en ingeniería se comenzaron a construir buques propulsados por motores diésel alternativos, en los que la potencia del motor era transmitida a los ejes de las hélices. En ellos se convertía la energía térmica en energía mecánica para la propulsión.

En los cruceros más modernos, para introducir mejoras en el rendimiento y reducir las emisiones de contaminantes se utilizan principalmente sistemas de turbina de gas o motores diésel-eléctricos.

En el caso de la turbina de gas (Figura 8) existe una cámara de combustión en la que entran aire comprimido y combustible y como producto de la combustión se generan unos gases de escape que generan potencia mecánica al pasar por la turbina. Esta turbina está conectada a un generador, que suministra electricidad. Gracias a esta tecnología se obtiene energía para los motores de propulsión del buque y electricidad para todo el resto de los sistemas.

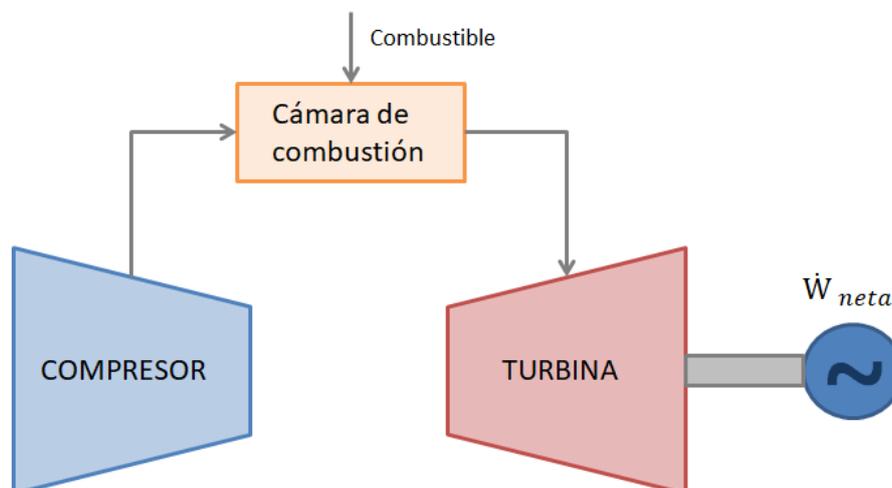


Figura 8: Partes de una turbina de gas. Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, debido a que la turbina de gas funciona de forma más eficiente a altas velocidades, el método más utilizado en la actualidad para los cruceros son los motores diésel-eléctricos, en los que el motor es el sistema de accionamiento directo para la generación de energía eléctrica.

Tanto el sistema de turbina de gas como los motores diésel-eléctricos requieren una gran cantidad de combustible, de modo que para conseguir cumplir con las normativas y reducir el impacto ambiental la gran mayoría de los buques cuentan con equipos de reducción catalítica.

Un método muy novedoso por el que algunas empresas se están decantando en los últimos años es el uso de Gas Natural Licuado (GNL) en motores híbridos. Un ejemplo de esto es la construcción de cuatro buques propulsados por Gas Natural Licuado por parte de la empresa MSC Cruises junto a Chantiers de l'Atlantique con el objetivo de cumplir con los objetivos de la Organización Marítima Internacional hasta 2050 (MSC Cruises Firms Order for Two More LNG-Fuelled Ships, 2020). Los motores utilizados son duales y se abastecen de GNL y combustible líquido marino, ya que la mayoría de los puertos europeos no están aún preparados para hacer frente a esta demanda de gas natural.

El GNL está compuesto por un 90 % de metano y un 10 % de etano, que a  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$  de temperatura reduce su volumen hasta 600 veces, facilitando su almacenamiento. Una de las principales ventajas de su uso frente al uso de combustibles fósiles tradicionales es que no emite óxidos de azufre a la atmósfera, siendo más acorde con las nuevas normativas de la Organización Marítima Internacional (Cruise Ship Engine, Propulsion, Fuel Consumption | CruiseMapper, 2015).

### 1.5.2. Combustión y combustibles

La combustión se define como una reacción química entre el oxígeno y un material oxidable, acompañada de desprendimiento de energía y que habitualmente se manifiesta por incandescencia o llama (combustión | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE, 2020).

La reacción o conjunto de reacciones de combustión se produce entre dos elementos: un combustible y un comburente, y se producen unos productos de la combustión que a menudo se denominan humos.

#### *Comburente*

En la mayoría de las aplicaciones se utiliza el aire húmedo como comburente. El aire atmosférico seco es una mezcla de gases cuya composición se puede considerar constante desde 0 a 100 km de altitud. Su concentración volumétrica es:  $\text{N}_2=78,12\%$ ;  $\text{O}_2=20,95\%$  y  $\text{Ar}=0,93\%$ , despreciando su contenido en  $\text{CO}_2$  y otros gases.

## Combustible

El combustible puede ser sólido (como la madera o el carbón), líquido (fueloil, gasoil, gasolinas) o gas (como el biogás o el gas natural).

En los combustibles sólidos y líquidos su composición es expresada en fracción másica de los elementos que lo componen: carbono (C), hidrógeno (H), azufre (S), oxígeno (O) y nitrógeno (N). En el caso de los combustibles gaseosos, la composición del combustible es expresada en fracción volumétrica de los gases que lo forman ( $C_nH_m$ ,  $H_2$ ,  $CO$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $O_2$ ).

## Estequiometría de los procesos de combustión

Se define el aire estequiométrico como la cantidad mínima de aire que proporciona el oxígeno suficiente para la combustión completa. Según esta definición, los procesos de combustión se pueden dividir en:

- Combustiones estequiométricas y completas: reacción de combustión que ocurre con el mínimo oxígeno de todos los elementos reductores que constituyen el combustible para dar unos productos oxidados al grado más estable de oxidación en las condiciones estándar (25 °C y 1 atm).

Los elementos que constituyen los combustibles darán los siguientes productos de combustión (no hay formación de inquemados ( $CO$ ,  $H_2$ )).



- Combustiones no estequiométricas: en casos prácticos el aire y el combustible no se dosifican como para que ocurra una combustión en presencia de aire estequiométrico, sino que habitualmente las reacciones se dan con exceso o defecto de aire:
  - Defecto de aire: no será posible alcanzar la combustión completa hasta agotar todo el oxígeno disponible, así que los productos de combustión dependerán de un orden de prioridad en las reacciones de combustión según el tipo de combustible.
  - Exceso de aire: el oxígeno sobrante no reaccionará y se formarán inquemados, no siendo por tanto una combustión completa.

## Productos de combustión

Los productos de la combustión dependen del tipo de combustible y la proporción de los distintos elementos que intervienen. También depende de las condiciones de presión y temperatura a la que ocurre el proceso.

En general, para situaciones de mezclas no excesivamente ricas con combustibles convencionales cuya composición se pueda expresar mediante una fórmula empírica:  $C_xH_yO_zN_wS_v$  los productos de la combustión que se generan son:  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $H_2O$ ,  $OH$ ,  $H$ ,  $O$ ,  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $N$ ,  $NO$ ,  $SO_2$ .

En una aproximación al caso de la combustión de combustibles sólidos y líquidos con un contenido de hidrógeno bajo y poca formación de inquemados (considerando que el único inquemado que se forma es el  $CO$ ), se podría establecer el siguiente orden de prioridad en la oxidación de los elementos que componen el combustible:

1. S y H se oxidan a SO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.
2. N se convierte a HCN, que reacciona hasta formar NO y N<sub>2</sub>.
3. Si hay disponible más O<sub>2</sub>, C se oxida parcialmente a CO y podría quedar C sin reaccionar.
4. Según la disponibilidad de O<sub>2</sub>, CO se oxida a CO<sub>2</sub>.

Teniendo en cuenta el NO que se forma se puede hacer una estimación de las emisiones de NO<sub>x</sub> originado por el combustible, suponiendo que todo el N del combustible se convierte en NO y que posteriormente en la atmósfera reaccionará con el O<sub>2</sub> para formar NO<sub>2</sub>.

A partir de las medidas con analizadores de las concentraciones volumétricas de gases contaminantes en humos (x<sub>is</sub> (ppm)) y la concentración volumétrica de O<sub>2</sub> en gases de escape secos se pueden calcular las concentraciones de las emisiones de contaminantes gaseosos.

La expresión para la concentración de cada gas contaminante en miligramos de compuesto por metro cúbico de humos secos, tomando como volumen molar del gas 22,4 m<sup>3</sup>N/kmol viene dada por:

$$x_{is} (ppm) \left( \frac{10^{-6} m^3 N_i}{m^3 N_{hs}} \right) \left( \frac{1 kmol}{22,4 m^3 N_{kmol}} \right) M_i \left( \frac{kg}{kmol} \right) \left( \frac{10^6 mg}{kg} \right)$$

Para el caso del SO<sub>2</sub> y el NO<sub>x</sub> (la concentración volumétrica de NO<sub>x</sub> en los humos es la suma de las concentraciones volumétricas de NO y NO<sub>2</sub>, y para expresar los NO<sub>x</sub> en miligramos de compuesto por metro cúbico de humos secos éstos son referidos a NO<sub>2</sub> (M<sub>NO<sub>x</sub></sub> = M<sub>NO<sub>2</sub></sub>)) (Hernández Grau, 2013):

$$x_{SO_{2s}} (mg/m^3 N) = 2,93 x_{SO_{2s}} (ppm)$$

$$x_{NO_{xs}} (mg/m^3 N) = 2,05 x_{NO_{xs}} (ppm)$$

A continuación, en la Tabla 3 se muestra la composición elemental y características del fueloil con un porcentaje de azufre del 3,5 %, que es uno de los combustibles que más se ha empleado cuando la normativa lo permitía en los barcos fuera de las ECA:

**Tabla 3: Composición elemental y características fueloil. Fuente: Hernández Grau (2013)**

Densidad relativa (densidad combustible/ densidad agua)	
0,965	
ANÁLISIS ELEMENTAL (% masa)	
C útil	84,4
C total	84,4
H	10,5
S	3,5
Cenizas	0,2
Agua	1,4
PCS (MJ/kg)	41,9
PCI (MJ/kg)	39,6

## 1.6.Regulación del sector del transporte marítimo. Efecto de las prácticas de los cruceros en la contaminación del aire urbano.

Actualmente el mecanismo que se encarga de regular las prácticas de los barcos para la prevención de la contaminación atmosférica es el Convenio MARPOL, en concreto su Anexo VI, que fue adoptado por primera vez en 1997. Su objetivo fue restringir los principales contaminantes atmosféricos contenidos en los gases de escape de los buques, en especial los óxidos de azufre y los óxidos de nitrógeno. También prohíbe las emisiones de sustancias que agotan la capa de ozono y regula la emisión de Compuestos Orgánicos Volátiles.

Además, se crean unas zonas de control de las emisiones (ECA), donde las emisiones de contaminantes atmosféricos se delimitan aún más. Dichas zonas actualmente son las siguientes (Figura 9):

- Mar Báltico
- Mar del Norte
- Norteamérica
- Mar Caribe en Estados Unidos

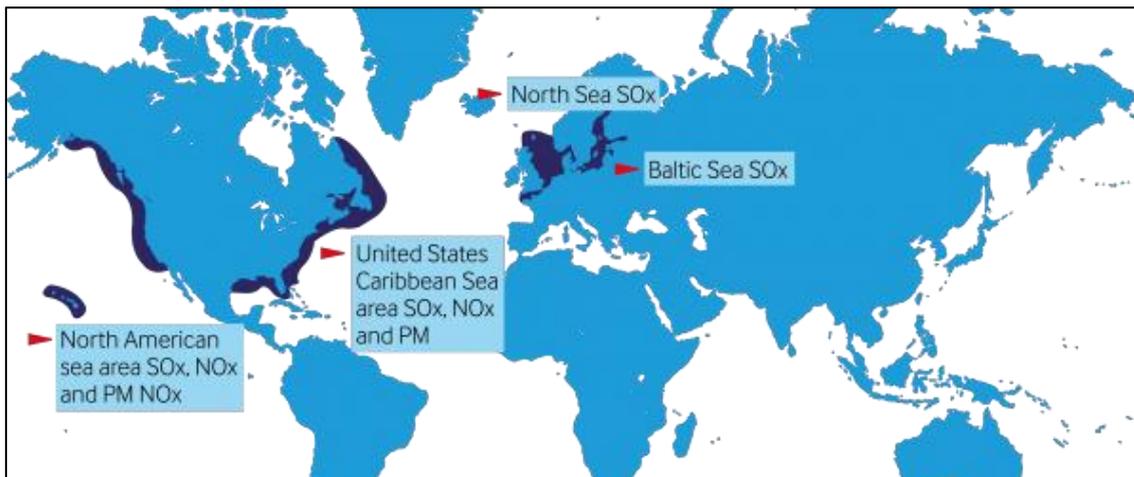


Figura 9: Situación de las Zonas de Control de Emisiones (ECA). Fuente: IMO emission control areas (2015)

En el caso del azufre, las reglas de la IMO para la reducción de las emisiones de óxidos de azufre entraron en vigor en 2005, con el Anexo VI del Convenio internacional para prevenir la contaminación por los buques (Convenio MARPOL), y se han ido endureciendo los límites desde entonces.

Desde el 1 de enero de 2020, el límite de contenido de azufre en el combustible usado en los buques fuera de las zonas designadas ECA es de 0,50 % masa/masa, reduciendo el previo 3,50 % masa/masa. La organización estima un descenso del 77 % en el total de emisiones de óxidos de azufre procedente de los buques, y como consecuencia una mejora en los efectos de estos contaminantes en la salud de los humanos, los animales y el medio. (International Maritime Organization (IMO), 2015)

Para la navegación dentro de las zonas designadas el contenido de azufre de los combustibles usados en los buques está limitado a un 0,10 % desde el 1 de enero de 2015.

Además, según la Directiva UE 2016/802 del Parlamento Europeo y del Consejo, del 11 de mayo de 2016 relativa a la reducción del contenido de azufre de determinados combustibles líquidos, el contenido máximo de azufre de los combustibles para uso marítimo utilizados por los buques atracados durante más de dos horas en los puertos de la Unión Europea será de 0,10 % en masa, no siendo aplicable a buques que apagan todas las máquinas y se conectan a la electricidad en tierra mientras permanecen atracados.

El puerto de Cartagena, al tratarse de un puerto de la Unión Europea se rige por este último valor límite de azufre para los barcos que estacionen durante más de dos horas en puerto, que es el caso de la gran mayoría de los cruceros.

En la Figura 10 se muestra la evolución en los últimos años de los valores límite de contenido en azufre en los combustibles usados en los buques en función de la zona de navegación o estacionamiento en la que se encuentren.

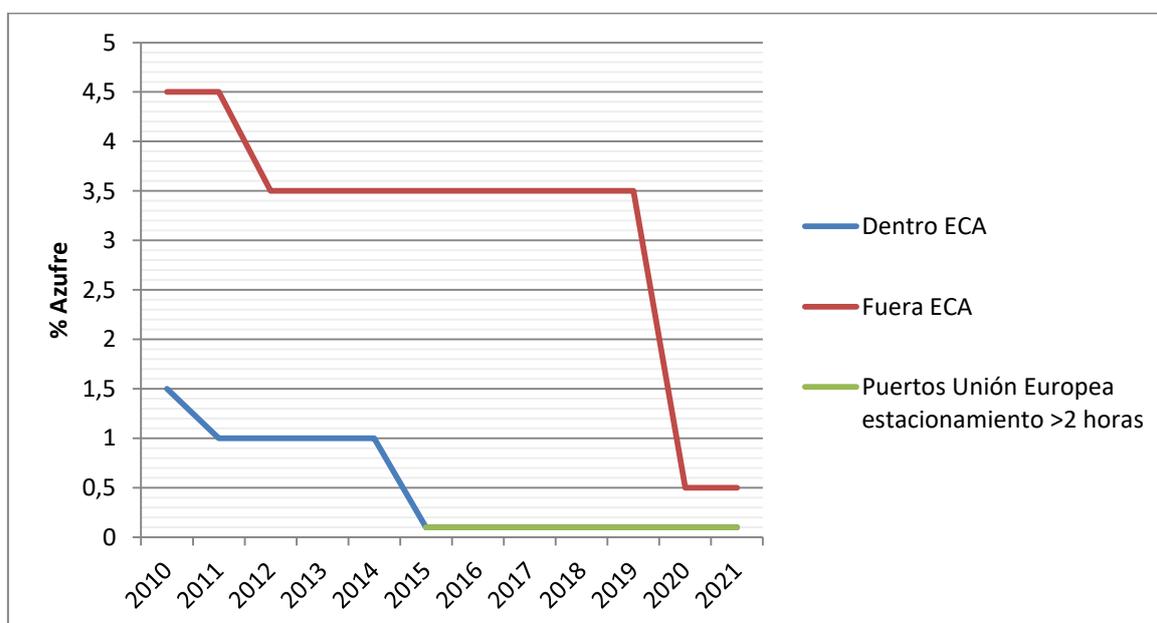


Figura 10: Evolución del contenido en azufre en el combustible utilizado en los barcos. Fuente: Elaboración propia.

Aunque el sector de los cruceros genera crecimiento económico, también puede generar impactos negativos en la contaminación de las ciudades, que podría ocasionar problemas de salud en la población. En El Pireo (Grecia) se estimó que el coste externo total de los problemas de salud causados por ferris y cruceros es de unos 26,3 millones de euros anuales (Chatzinikolaou, Oikonomou and Ventikos, 2015).

En las prácticas de los cruceros en puerto se pueden identificar dos fases diferenciadas: la fase del estacionamiento y la de las maniobras. Las maniobras comprenden el tiempo de entrada y salida del crucero del puerto, empieza con la disminución de la velocidad

del barco para entrar al puerto y termina con el estacionamiento en las zonas designadas para ello. Por el contrario, la fase del estacionamiento hace referencia al tiempo que el crucero pasa en el puerto dando servicio de hotel a bordo a los pasajeros y miembros de la tripulación. Durante esta fase el motor principal se apaga y se abastece de potencia con los motores auxiliares. En el caso de los barcos con sistemas de motores diésel-eléctricos el motor principal funciona con un factor de carga limitado, suficiente para proporcionar la energía necesaria (Munera *et al.*, 2018).

En relación con las diferentes fases, en previos estudios publicados se ha estimado que la fase del estacionamiento en puerto es más contaminante que la fase de maniobras de entrada o salida del puerto. En el puerto de Barcelona, por ejemplo, se estima que las emisiones del estacionamiento fueron unas 13 529 t en 2008, mientras que en las maniobras fueron 8649 t (Villalba and Gemechu, 2011).

## 2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es determinar si la estancia de cruceros en la dársena de Cartagena supone un impacto para la calidad del aire de la ciudad.

Para ello se establecen unos objetivos específicos:

1. Realizar una base de datos con la información de calidad del aire de los años 2018 y 2019.
  - 1.1. Recopilar la información de las redes de vigilancia atmosférica de la CARM.
  - 1.2. Codificar distintas etiquetas con la información del tráfico de cruceros en la dársena.
2. Analizar el cumplimiento de los valores límites, umbrales de información y alerta y niveles críticos de los contaminantes según el *Real Decreto 102/2011*.
3. Identificar la distribución de los contaminantes  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{O}_3$  debido a la influencia de factores distintos al tráfico de cruceros.
  - 3.1. Estudiar su distribución a lo largo de la semana.
  - 3.2. Estudiar su distribución horaria.
  - 3.3. Comprobar la dirección del viento predominante en el periodo de tiempo estudiado.
  - 3.4. Comprobar la frecuencia de altas y bajas velocidades del viento en la ciudad.
  - 3.5. Identificar cómo afectan la dirección y velocidad del viento a la distribución de los contaminantes.
4. Comparar estadísticamente según el estacionamiento de cruceros en Cartagena las concentraciones de los siguientes contaminantes gaseosos:  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  y  $\text{O}_3$ .
  - 4.1. Identificar periodo horario de mayor afluencia de cruceros.
  - 4.2. Realizar contrastes de hipótesis según las diferentes etiquetas codificadas y realizar representaciones gráficas.
  - 4.3. Comprobar si existe diferencia entre las fases de estacionamiento y de maniobras en el puerto que afecten a la calidad del aire de la ciudad.
5. Evaluar la influencia de la dispersión horizontal en la presencia de contaminantes debido al tráfico de cruceros.
  - 5.1. Estudiar cómo afectan la dirección y velocidad del viento a la presencia de contaminantes por el tráfico de cruceros mediante contrastes de hipótesis y representaciones gráficas.

### **3. Material y métodos**

#### **3.1. Información sobre los cruceros**

Para la realización del trabajo y con el objetivo de poder llevar a cabo una comparativa entre horas en las que hay tráfico de cruceros en la dársena de Cartagena y las horas en que no, se ha necesitado obtener información sobre los horarios de estacionamientos de los cruceros en el puerto durante los años 2018 y 2019. Esta información sobre los horarios y los nombres de los buques ha sido facilitada por la Autoridad Portuaria de Cartagena (APC).

Además, se ha tenido acceso a la trayectoria de estos buques en su entrada al puerto a través de MarineTraffic (<https://www.marinetraffic.com/>). Esta página web proporciona datos en tiempo real de los barcos estacionados en la dársena de Cartagena, pudiendo rescatar su trayectoria desde el puerto anterior a Cartagena y la trayectoria que ha seguido en su entrada al puerto.

### 3.2. Información de calidad del aire

La Comunidad Autónoma de la Región de Murcia dispone desde 2006 de ocho estaciones que conforman la red de vigilancia atmosférica de la Región de Murcia (Figura 11). Su función es evaluar periódicamente la calidad del aire, midiendo la concentración de determinados contaminantes cada hora.



Figura 11: Estaciones de Calidad del Aire de la Región de Murcia. Fuente: CARM

En Cartagena se sitúan varias de estas estaciones, dos de ellas ubicadas en las cercanías del puerto (Figura 12, con una flecha verde se señala la ubicación de la Estación de Mompeán y con una flecha naranja la ubicación de la Estación del Valle de Escombreras). Gracias a esta red de vigilancia se ha tenido acceso a datos horarios de 2018 y 2019 de los siguientes contaminantes: NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub>.

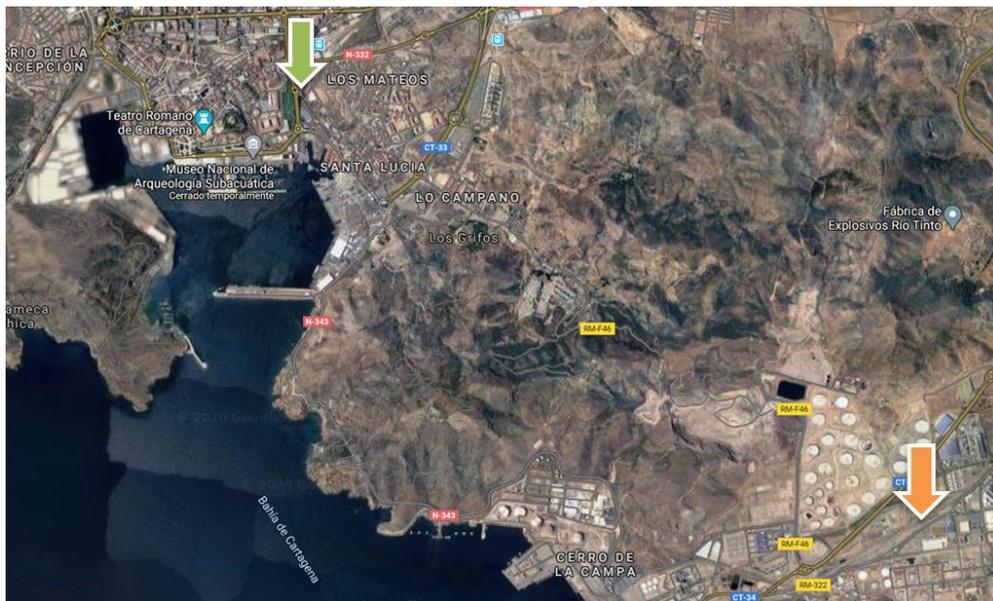


Figura 12: Situación de Estación de Mompeán en verde y Estación del Valle de Escombreras en naranja. Fuente: GoogleMaps

Se muestra también en la Figura 13 la rosa de los vientos de todo el periodo estudiado, donde se observa que el viento viene con mayor frecuencia de sur, sursureste y sursuroeste, haciendo de la estación de Mompeán un punto estratégico de muestreo. La ubicación de la estación se muestra con mayor proximidad en la Figura 14, que se sitúa a menos de 1 km (unos 840 m) del punto de estacionamiento de los cruceros en el puerto (fuente: *GoogleMaps*).

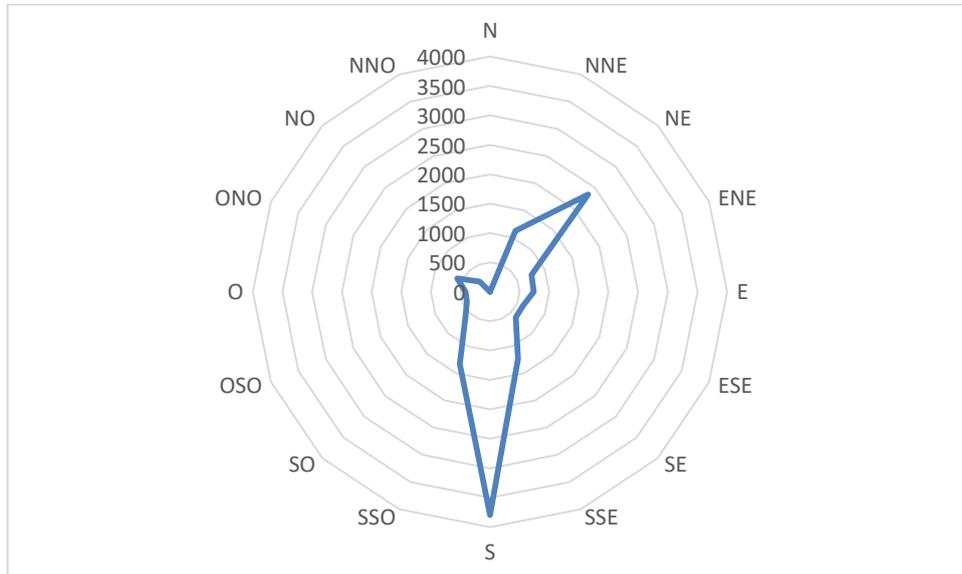


Figura 13: Rosa de los vientos 2018-2019. Fuente: Elaboración propia



Figura 14: Situación de la estación de Mompeán. Fuente: GoogleMaps

En la Tabla 4 y Tabla 5 se detallan brevemente las características de esta estación. La Figura 15 recoge una fotografía del punto de medida ubicado en la estación de Mompeán.



Figura 15: Estación de Mompeán

Tabla 4: Información de la Estación de Mompeán

Estación de Mompeán	
Código Nacional	30016020
Dirección	Calle Mompeán, Cartagena
Tipo	Inmisión
Funcionamiento	Automática

Tabla 5: Características de la estación de Mompeán. Fuente: CARM

Contaminante:	Medida:	Técnica Análisis:	Fecha Instalación:
Ruido Nivel sonoro equivalente	Automático	Desconocido	14/03/2006
NO <sub>x</sub> Óxidos de Nitrógeno totales	Automático	Quimiluminiscencia	14/03/2006
NO Monóxido de Nitrógeno	Automático	Quimiluminiscencia	14/03/2006
NO <sub>2</sub> Dióxido de Nitrógeno	Automático	Quimiluminiscencia	14/03/2006
O <sub>3</sub> Ozono	Automático	Absorción Ultravioleta	10/05/2010
PM <sub>10</sub> Partículas en suspensión (< 10 µm)	Automático	Microbalanza	14/03/2006
PM <sub>10</sub> Partículas en suspensión (< 10 µm)	Manual Diario	Gravimetría	24/01/2009
PM <sub>2,5</sub> Partículas en suspensión (< 2,5 µm)	Manual Diario	Gravimetría	24/01/2009
SO <sub>2</sub> Dióxido de Azufre	Automático	Fluorescencia Ultravioleta	25/01/2018
CO Monóxido de Carbono	Automático	Absorción Infrarroja	13/05/2020

### 3.3. Tratamiento de datos

Se ha realizado una base de datos con los datos de los contaminantes y la información meteorológica y de los cruceros. Se han estudiado únicamente contaminantes gaseosos: NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>, y el tratamiento de los datos se ha realizado con la herramienta estadística SPSS.

Para el estudio estadístico se han realizado las siguientes pruebas:

- Prueba de Kolmogórov-Smirnov para la distribución normal o log-normal de los datos.
- Test de Levene para la homogeneidad de las varianzas.
- Prueba U de Mann Whitney para pruebas no paramétricas aplicadas a dos muestras independientes.

#### 3.3.1. Índice de etiquetas identificativas utilizadas

Para la realización de un adecuado tratamiento fue necesario codificar unas etiquetas en la base de datos. Las etiquetas utilizadas se codificaron para cada hora durante los dos años de estudio y son las siguientes:

- Cruceros B:
  - 0 = "No hay crucero"
  - 4 = "Sí hay crucero"
- Cruceros C:
  - 0 = "No hay crucero"
  - 2 = "Estacionamiento de crucero"
  - 5 = "Entrada o salida de crucero"
- Viento\_rumbo:
  - 1 = "N" (0 – 30 °)
  - 2 = "NNE" (30 – 60 °)
  - 3 = "ENE" (60 – 90 °)
  - 4 = "E" (90 – 120 °)
  - 5 = "ESE" (120 – 150 °)
  - 6 = "SSE" (150 – 180 °)
  - 7 = "S" (180 – 210 °)
  - 8 = "SSO" (210 – 240 °)
  - 9 = "OSO" (240 – 270 °)
  - 10 = "O" (270 – 300 °)
  - 11 = "ONO" (300 – 330 °)
  - 12 = "NNO" (330 – 360 °)
- Viento\_rango (Clasificación de la AEMET (*El lenguaje de los meteorólogos: Los vientos / Aemetblog*, 2016)):
  - 1 = "Calmas" (<2 m/s)
  - 2 = "Viento flojo" (2 – 6,4 m/s)
  - 3 = "Vientos" (6,5 – 11,4 m/s)
  - 4 = "Vientos fuertes" (11,5 – 19,4 m/s)

- 5 = “Vientos muy fuertes” (19,5 – 33,4 m/s)
- 6 = “Huracanadas” (>33,4 m/s)

## 4. Ciudad objeto de estudio: Cartagena

La ciudad de Cartagena está ubicada al este de la Región de Murcia, en el sureste de España. Está delimitada por el Mar Mediterráneo al sur, el Mar Menor (una laguna salada situada en la costa murciana) al este, la rambla de El Albuñón al norte y por los Cabezos del Pericón y la Sierra de los Victorias al oeste (Figura 16).



Figura 16: Ubicación de Cartagena en la Región de Murcia. Fuente: *Pedanías de Cartagena - Región de Murcia Digital* (2004)

El municipio comprende 558,3 km<sup>2</sup> y aproximadamente una quinta parte del territorio es espacio natural protegido.

El casco histórico de la ciudad se encuentra rodeado por cinco colinas (Molinete, Monte Sacro, Monte de San José, Despeñaperros y Monte de la Concepción).

Su clima se define como mediterráneo cálido árido o semiárido, aunque su posición marítima suaviza las temperaturas. La temperatura media mínima está por encima de los 13 °C en invierno y la temperatura media máxima se sitúa entre 26 y 27 °C en verano. Las precipitaciones rondan entre 150 y 200 mm anuales, siendo una de las zonas menos lluviosas de toda la península ibérica.

Por su situación, el viento constituye uno de los factores climáticos más importantes, predominando los flujos del primer y tercer cuadrante; es decir, de noreste y suroeste. El efecto barrera de las cordilleras Béticas favorece el rumbo del suroeste y los vientos de componente noreste se deben al portillo tectónico que forma el campo de Cartagena y el Mar Menor (*Murcianatural - Clima*, 2004).

La actividad industrial en la ciudad de Cartagena se basa principalmente en el sector petroquímico, energético, metalúrgico y de fertilizantes. Es de gran importancia para la economía del municipio la construcción y reparación de barcos y la exportación de aceite de oliva, hortalizas, frutas y cítricos.

La población total en el año 2019 asciende a 214 802, del que el 49,79 % es población masculina y el 50,21 % población femenina (INE, 2019). En la Figura 17 se muestra la distribución por edades.

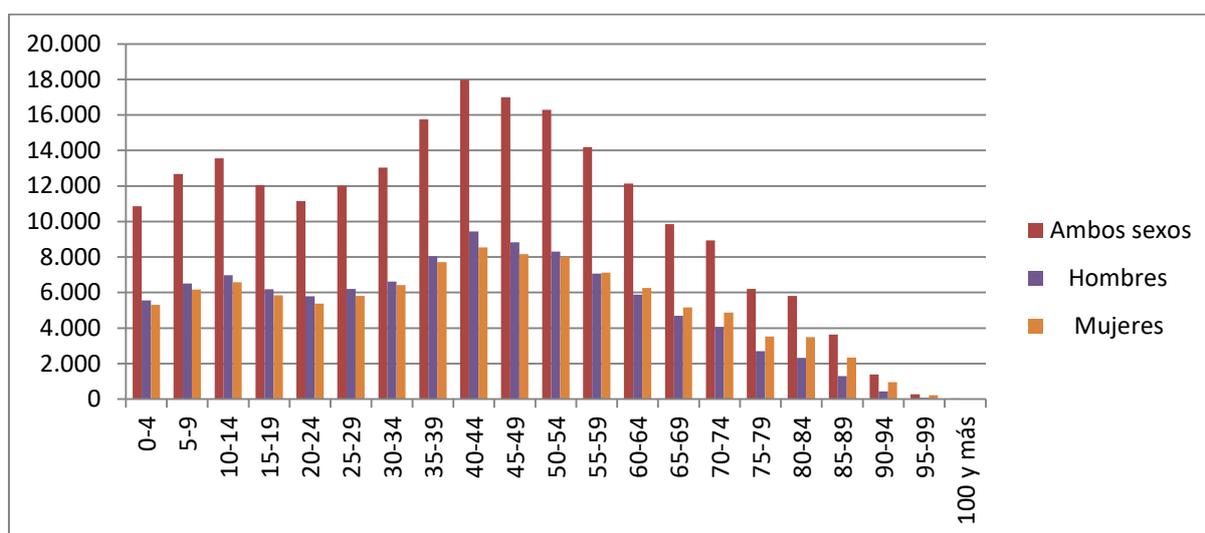


Figura 17: Población por sexo y edad (grupos quinquenales). Cartagena, 2019. Fuente: INE

Es necesario puntualizar que además de las emisiones de los cruceros turísticos hay otras actividades portuarias en la dársena de Cartagena que son fuente de emisiones a la atmósfera. Cabe destacar el transporte de mercancías, con un movimiento de más de 33 millones de toneladas en 2018 y 34 millones de toneladas en 2019 (Puertos del Estado - Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020); el puerto deportivo; el astillero Navantia (empresa pública española de construcción naval) o el Arsenal Militar de Cartagena, que es el apoyo logístico para los buques y las instalaciones de la Armada en el Mar Mediterráneo. Además, en el Valle de Escombreras se llevan a cabo actividades industriales de carácter petroquímico y energético, principalmente.

En ciudades como Cartagena, las emisiones del tráfico y las domésticas (como las calefacciones) y las actividades industriales afectan de forma directa a la calidad del aire y a la contaminación atmosférica. En concreto, en Cartagena la población se ha visto expuesta desde los años 1950 a problemas graves de contaminación atmosférica debido al crecimiento industrial que sufrió la ciudad durante esos años. Además, la situación se vio agravada porque los emplazamientos industriales se situaban muy cerca de la ciudad.

Este estudio es de relevancia debido al importante aumento del tráfico de cruceros que se ha producido en la Dársena de Cartagena en los últimos años, con 479 371 visitantes en total en los años 2018 y 2019 (229 313 y 250 058, respectivamente)(Puertos del Estado - Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020).

## 5. Resultado de tratamiento de datos

### 5.1. Comportamiento de los cruceros

A continuación, se presentan los detalles más importantes para tener en cuenta sobre los cruceros que han estacionado en la dársena:

Durante los años 2018 y 2019 estacionaron un total de 318 cruceros en la dársena de Cartagena, repartidos en 242 días (Tabla 6). En total fueron 96 buques distintos.

Tabla 6: Estacionamiento de cruceros en la dársena de Cartagena 2018-2019. Fuente: APC

Año	Número de cruceros	Número de días
2018	151	114
2019	167	128
TOTAL	318	242

Se distribuyeron mensualmente como se muestra en la Figura 18 y Figura 19.

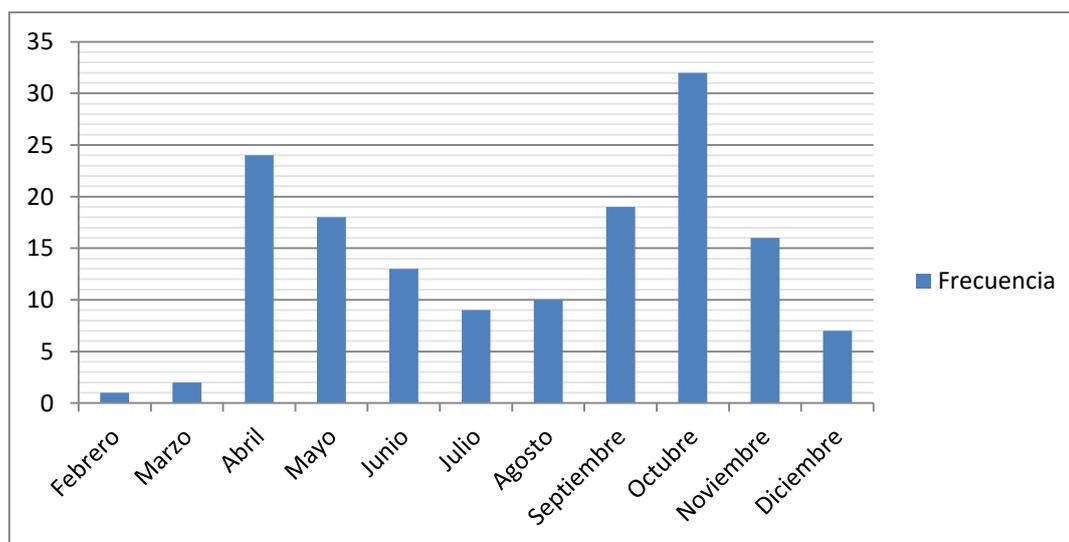


Figura 18: Frecuencia mensual de cruceros 2018 (recuento de casos). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la APC

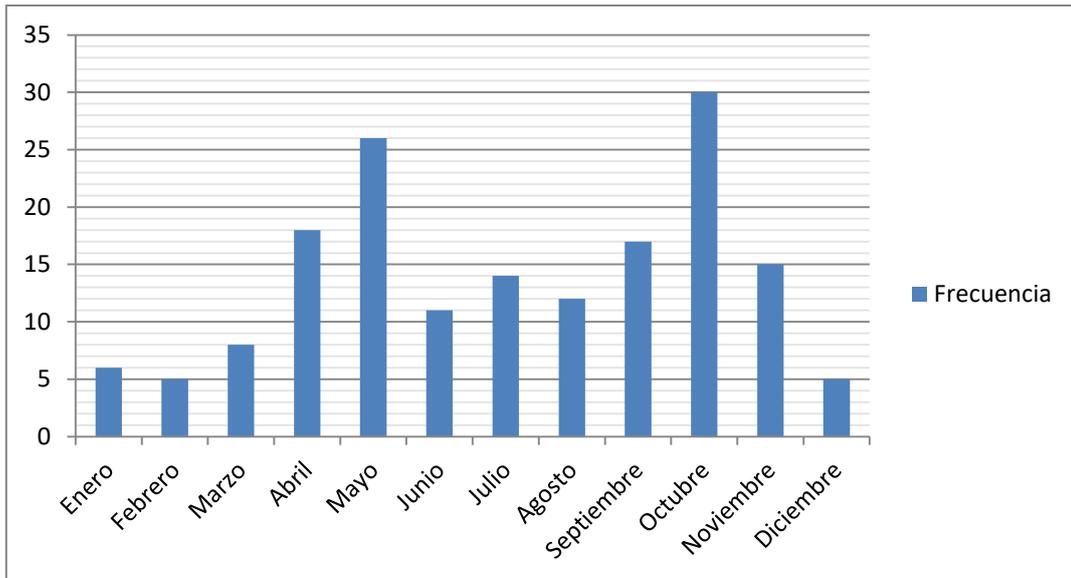


Figura 19: Frecuencia mensual de cruceros 2019 (recuento de casos). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la APC

Durante los dos años de estudio pasaron la noche en la dársena un total de 3 buques (Tabla 7). El 99 % de los cruceros pasaron menos de 24 h estacionados en la dársena y más del 80% de ellos pasaron menos de 10 h.

Tabla 7: Buques que pernoctaron en el periodo estudiado. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la APC

Buque	Fechas	Número de horas
The World	18/04/2018 – 20/04/2018	54,33
Corinthian	26/03/2019 – 27/03/2019	19,42
Azura	30/09/2019 – 1/10/2019	23,92

Sobre la repetición de cruceros el mismo día en el puerto (Tabla 8), se han dado las siguientes situaciones en los dos años de estudio:

Tabla 8: Repetición de cruceros en el periodo estudiado. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la APC

Nº de cruceros simultáneamente	Nº de días en los que se dio la situación
4	1
3	11
2	52
1	178

En la Figura 20 se muestra en forma de histograma el recuento de horas con crucero. Principalmente, se distribuyen en la franja horaria de 7:00 h a 19:00 h.

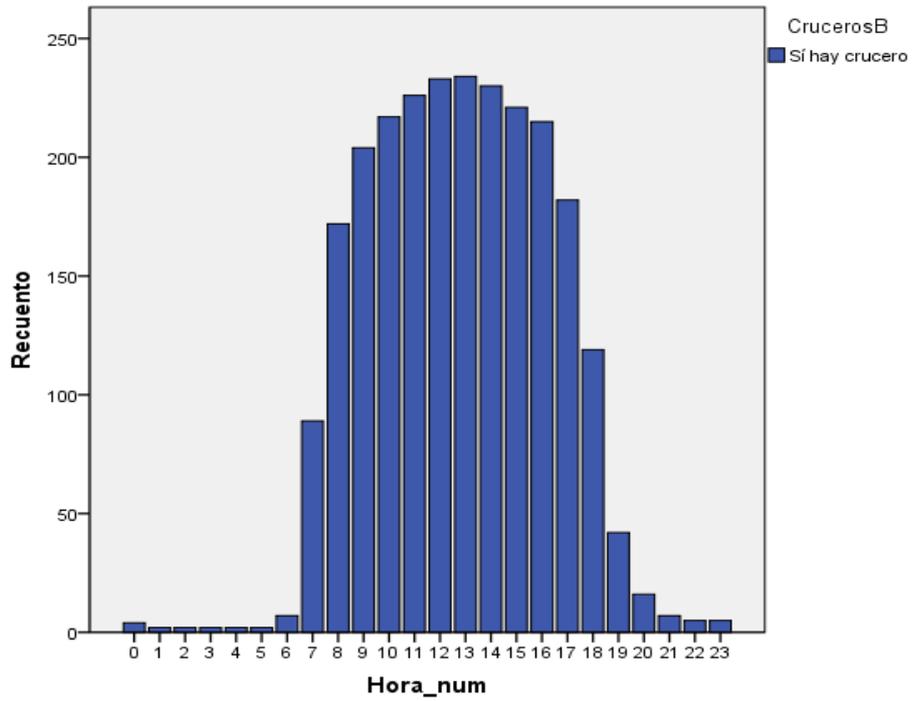


Figura 20: Histograma distribución de cruceros por horas (recuento de casos). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la APC

En la Figura 21 y Figura 22 se muestran en forma de histograma los cruceros que más han visitado Cartagena en los dos años de estudio (96 buques en total que visitaron Cartagena 318 veces), con un máximo de 12 repeticiones en el caso de los buques AIDASTella Y Celebrity Reflection.

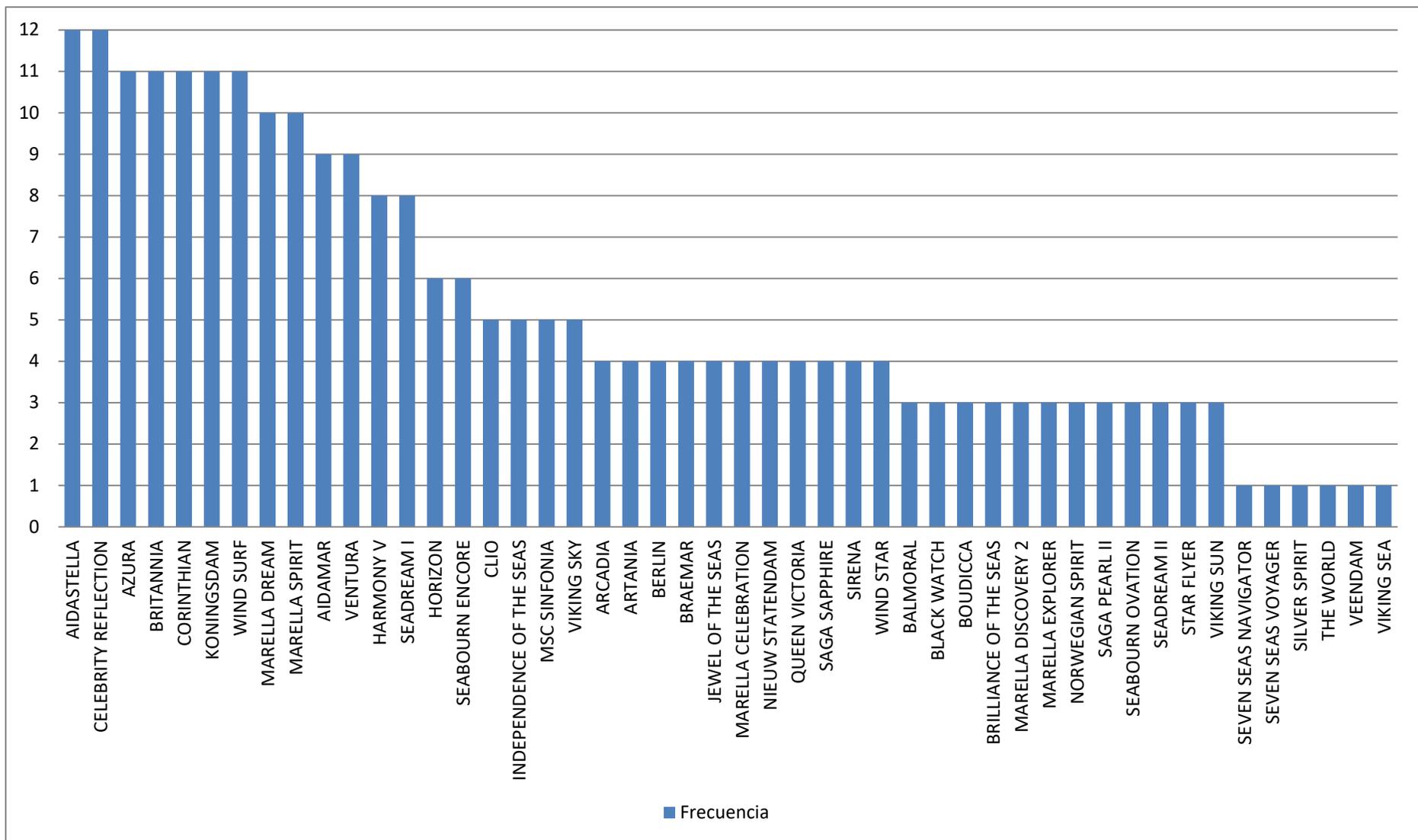


Figura 21: Histograma cruceros 2018-2019 I (recuento de casos). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la APC

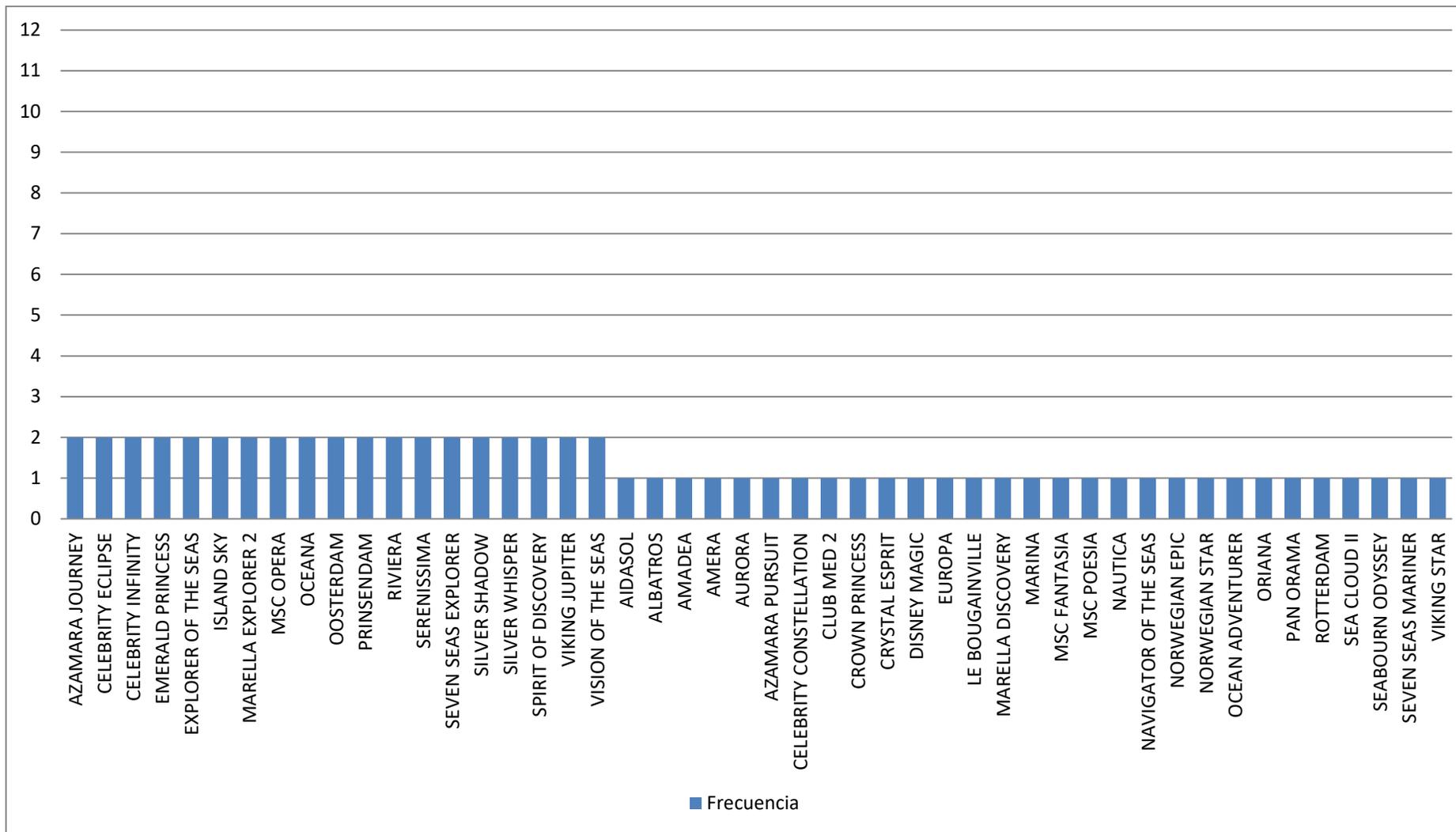


Figura 22: Histograma cruceros 2018-2019 II (recuento de casos). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la APC

## 5.2. Estadística descriptiva

En la Tabla 9 y Tabla 10 se muestran los estadísticos descriptivos de los contaminantes a estudiar separados por año. La representación gráfica en forma de barras de error se recoge en la Figura 23, Figura 24, Figura 25 y Figura 26, en las que se muestra tanto el valor de la media anual como el nivel de significación (p-valor) de la prueba U de Mann Whitney para la comparación de cada contaminante según el año.

### a. 2018

Tabla 9: Estadísticos de cada muestra de contaminantes (2018)

		Estadísticos <sup>a</sup>				
		NO_Mompean	NO <sub>2</sub> _Mompean	NO <sub>x</sub> _Mompean	SO <sub>2</sub> _Mompean	O <sub>3</sub> _Mompean
N	Válidos	7751	7751	7751	8461	8663
	Perdidos	1009	1009	1009	299	97
Media		10,27	19,52	35,18	4,76	66,83
Mediana		6,00	16,00	25,00	4,00	73,00
Desv. típ.		14,799	14,542	34,004	2,791	31,599
Varianza		219,006	211,475	1156,289	7,788	998,491
Mínimo		1	1	3	1	2
Máximo		243	105	478	70	137
Percentiles	25	5,00	10,00	18,00	3,00	44,00
	50	6,00	16,00	25,00	4,00	73,00
	75	10,00	24,00	39,00	6,00	91,00

a. Año = 2018

### b. 2019

Tabla 10: Estadísticos de cada muestra de contaminantes (2019)

		Estadísticos <sup>a</sup>				
		NO_Mompean	NO <sub>2</sub> _Mompean	NO <sub>x</sub> _Mompean	SO <sub>2</sub> _Mompean	O <sub>3</sub> _Mompean
N	Válidos	8658	8656	8658	8542	8533
	Perdidos	102	104	102	218	227
Media		8,23	16,49	29,02	4,55	63,07
Mediana		5,00	12,00	20,00	4,00	67,00
Desv. típ.		11,698	13,378	28,588	8,284	30,842
Varianza		136,837	178,970	817,267	68,621	951,229
Mínimo		1	0	0	1	2
Máximo		176	108	348	688	137
Percentiles	25	4,00	8,00	14,00	3,00	39,00
	50	5,00	12,00	20,00	4,00	67,00
	75	7,00	20,00	31,00	5,00	87,00

a. Año = 2019

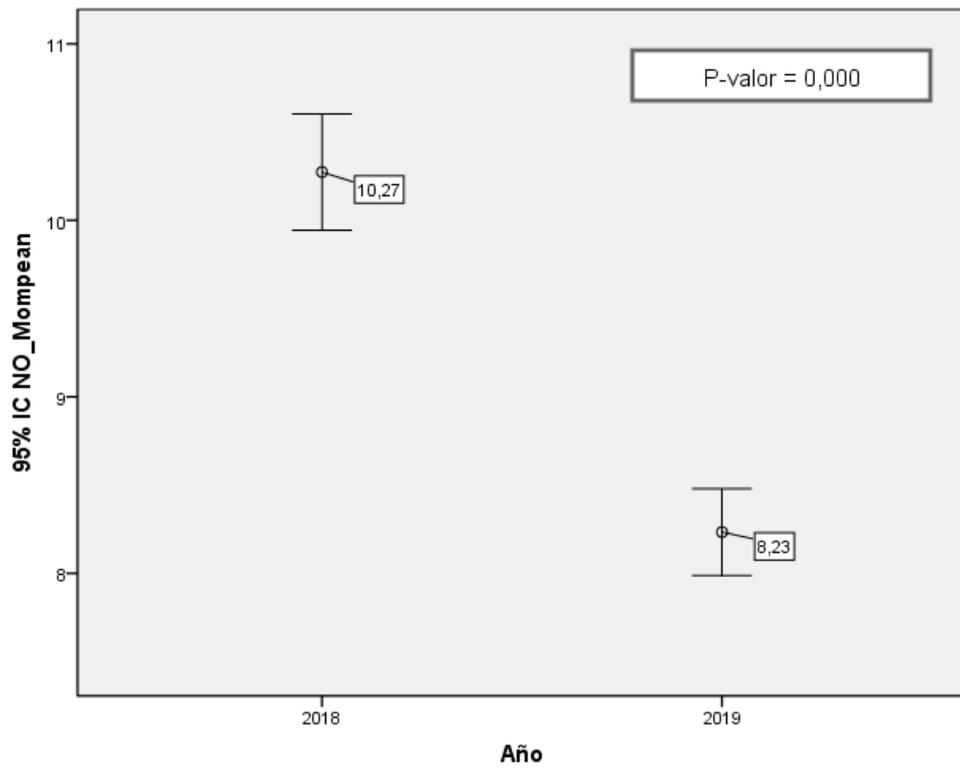


Figura 23: Barras de error comparativa por años para NO

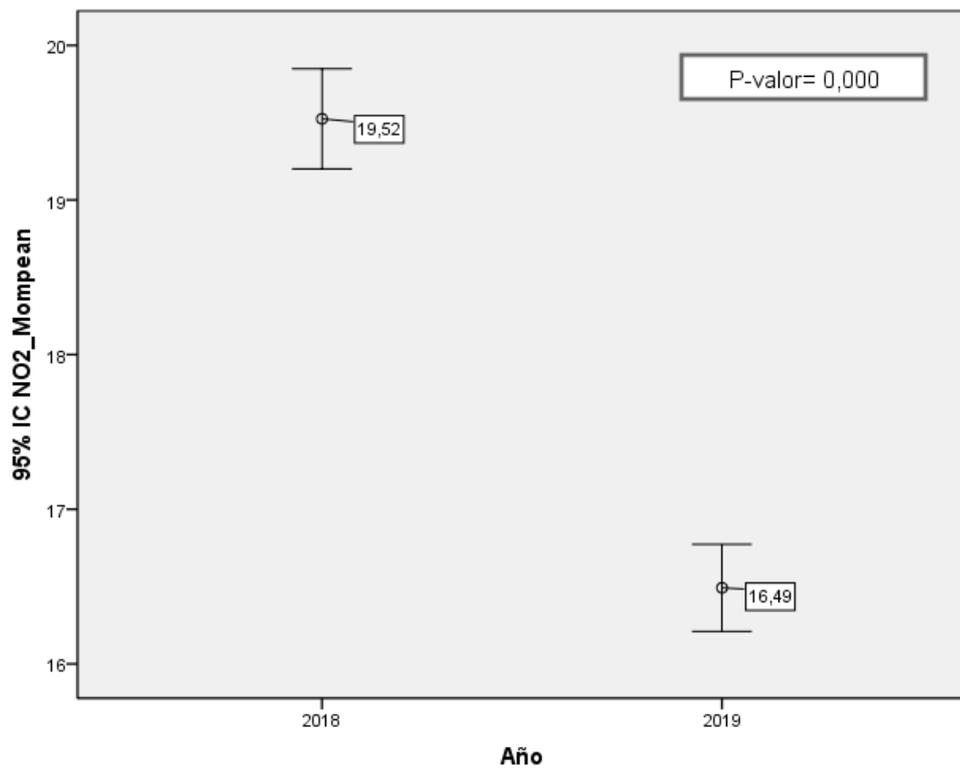


Figura 24: Barras de error comparativa por años para NO<sub>2</sub>

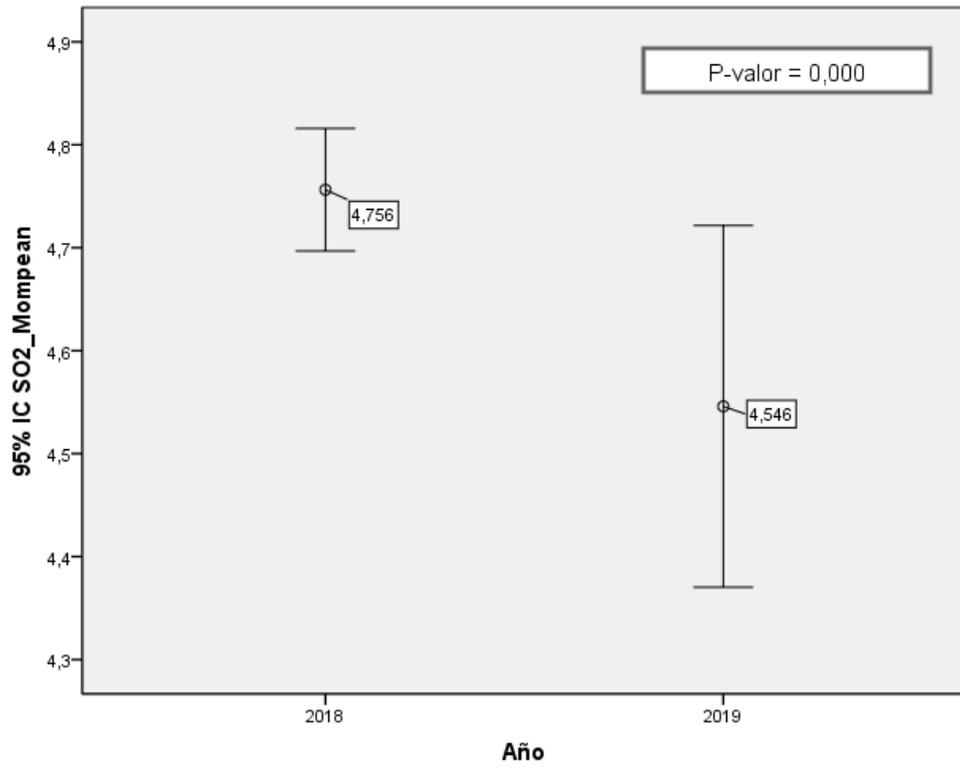


Figura 25: Barras de error comparativa por años para SO<sub>2</sub>

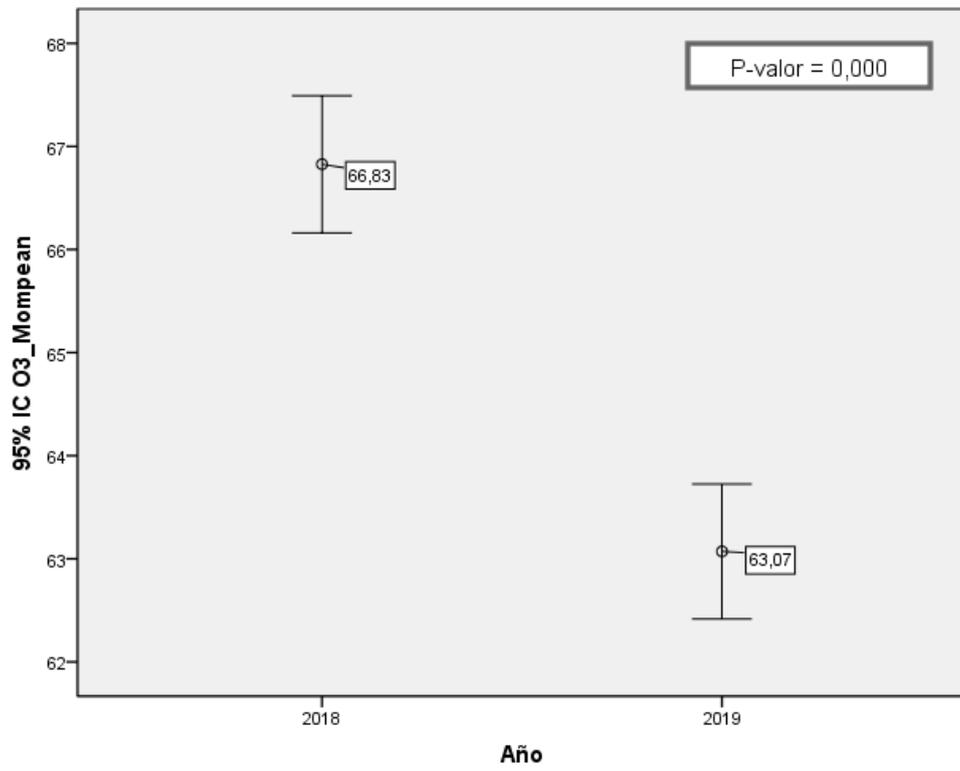


Figura 26: Barras de error comparativa por años para O<sub>3</sub>

### 5.3. Estudio de normalidad de los datos

Para estudiar la normalidad de los datos de los contaminantes se realiza la prueba de Kolmogórov-Smirnov, un contraste de hipótesis en el que la hipótesis nula es la normalidad de los datos. Los resultados se recogen en la Tabla 11 y Tabla 12.

#### a. 2018

Tabla 11: Prueba de normalidad Kolmogórov-Smirnov (2018)

Prueba de Kolmogórov-Smirnov para una muestra <sup>c</sup>					
		NO_Mompean	NO <sub>2</sub> _Mompean	SO <sub>2</sub> _Mompean	O <sub>3</sub> _Mompean
N		7751	7751	8461	8663
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	10,27	19,52	4,76	66,83
	Desviación típica	14,799	14,542	2,791	31,599
Diferencias más extremas	Absoluta	,288	,150	,175	,084
	Positiva	,288	,150	,175	,064
	Negativa	-,286	-,105	-,144	-,084
Z de Kolmogorov-Smirnov		25,392	13,204	16,113	7,826
Sig. asintót. (bilateral)		,000	,000	,000	,000
a. La distribución de contraste es la Normal.					
b. Se han calculado a partir de los datos.					
c. Año = 2018					

Con nivel de significación del  $0,000 < 0,05$  (95 % de significación) se rechaza la hipótesis nula, concluyendo que los datos de contaminantes de 2018 no presentan una distribución normal.

En la Figura 27, Figura 28, Figura 29 y Figura 30 se muestran los histogramas para las distintas muestras, la curva en negro muestra el perfil de la distribución si se ajustara a la normalidad:

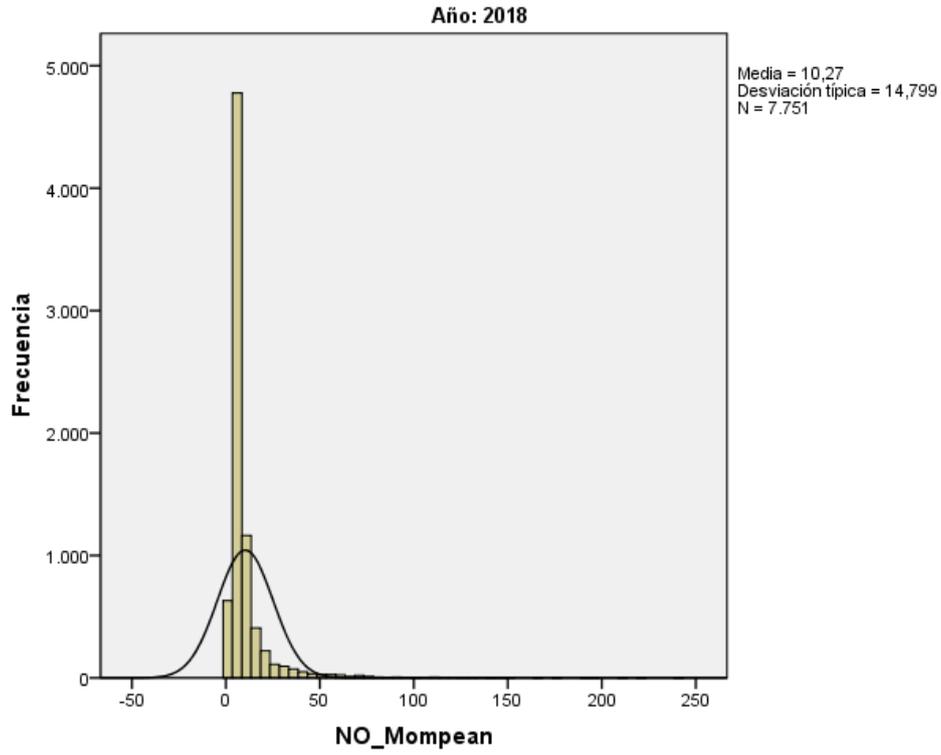


Figura 27: Histograma para muestra de NO (2018)

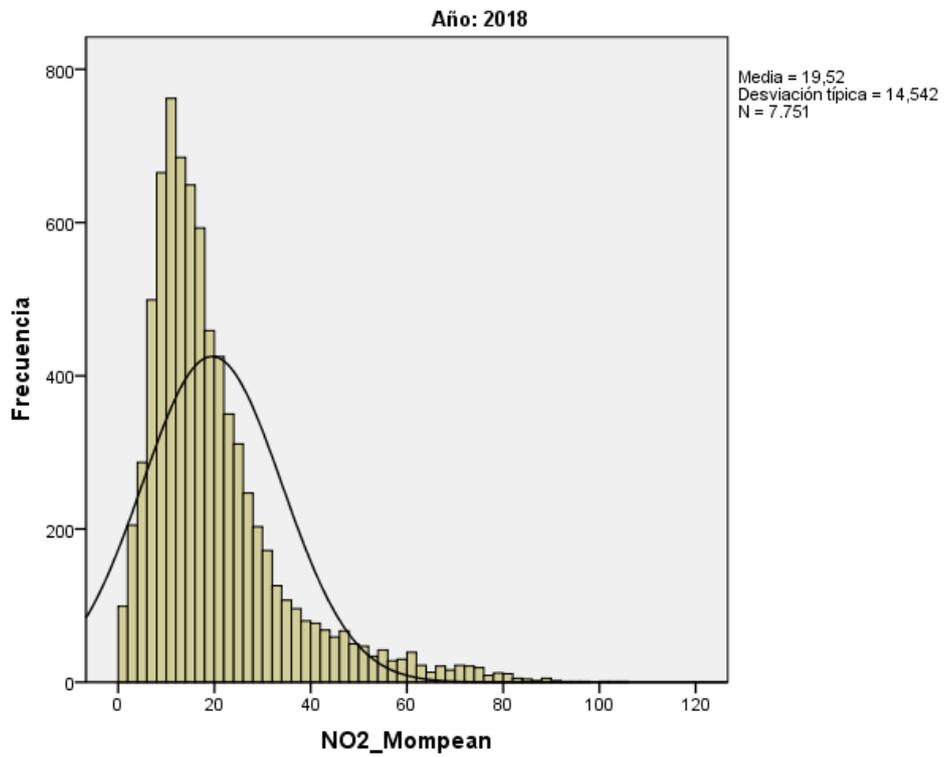


Figura 28: Histograma para muestra de NO<sub>2</sub> (2018)

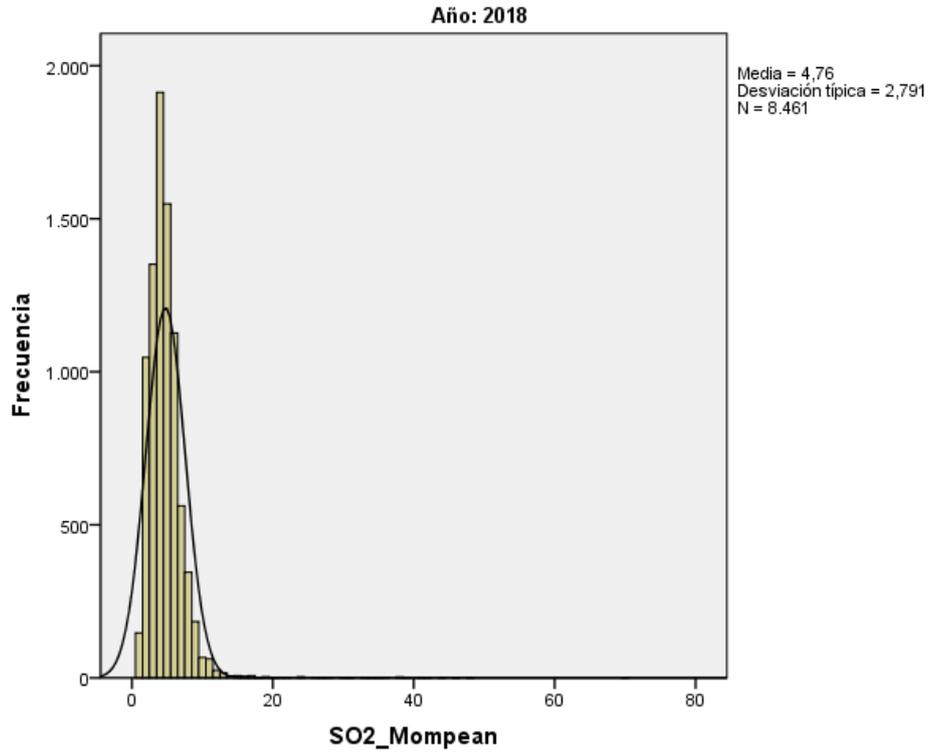


Figura 29: Histograma para muestra de SO<sub>2</sub> (2018)

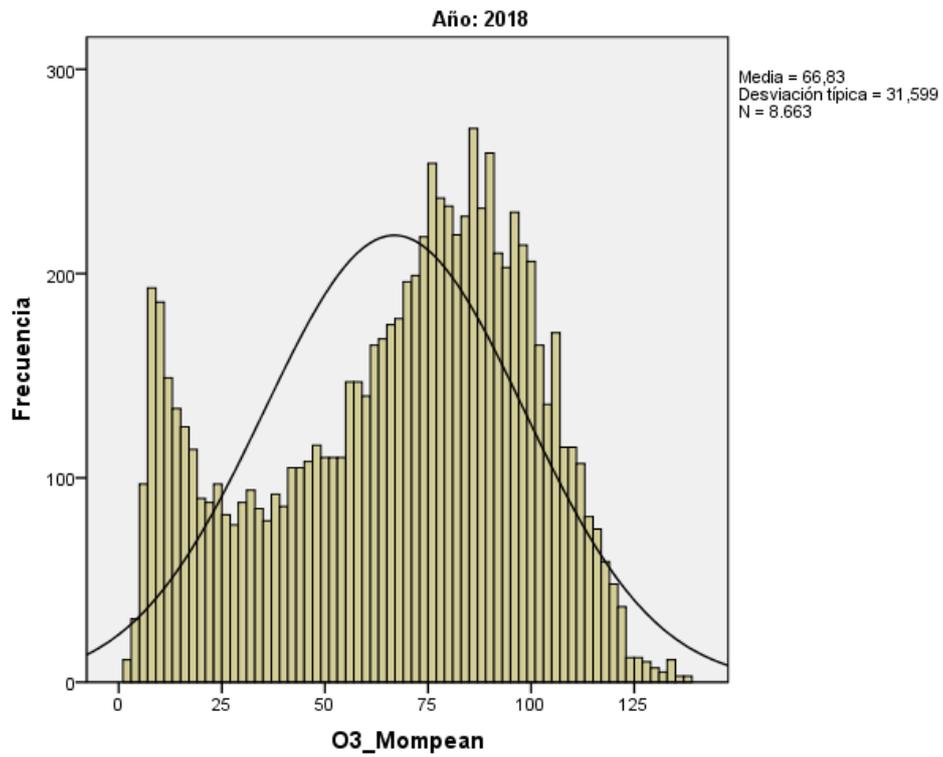


Figura 30: Histograma para muestra de O<sub>3</sub> (2018)

*b. 2019*

Tabla 12: Prueba de normalidad Kolmogórov-Smirnov (2019)

Prueba de Kolmogórov-Smirnov para una muestra <sup>c</sup>					
		NO_Mompean	NO <sub>2</sub> _Mompean	SO <sub>2</sub> _Mompean	O <sub>3</sub> _Mompean
N		8658	8656	8542	8533
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	8,23	16,49	4,55	63,07
	Desviación típica	11,698	13,378	8,284	30,842
Diferencias más extremas	Absoluta	,317	,182	,346	,060
	Positiva	,317	,182	,303	,056
	Negativa	-,268	-,156	-,346	-,060
Z de Kolmogorov-Smirnov		29,511	16,971	31,950	5,569
Sig. asintót. (bilateral)		,000	,000	,000	,000
a. La distribución de contraste es la Normal.					
b. Se han calculado a partir de los datos.					
c. Año = 2019					

Con nivel de significación del  $0,000 < 0,05$  (95 % de significación) se rechaza la hipótesis nula, concluyendo que los datos de contaminantes de 2019 no presentan una distribución normal.

En la Figura 31, Figura 32, Figura 33 y Figura 34 se muestran los histogramas para las distintas muestras, la curva en negro muestra el perfil de la distribución si se ajustara a la normalidad:

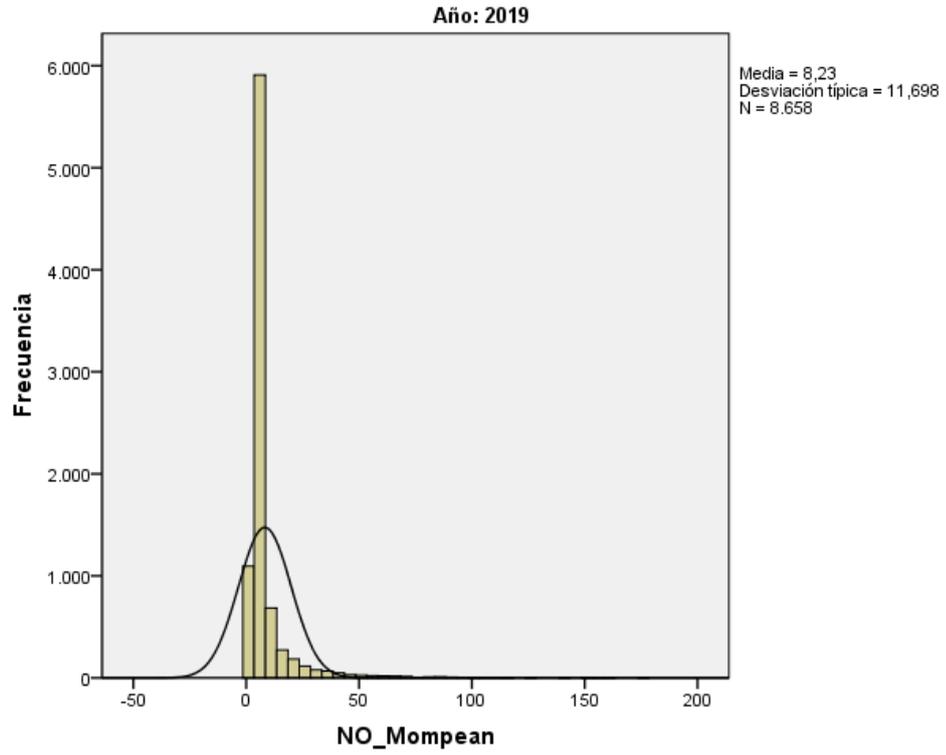


Figura 31: Histograma para muestra de NO (2019)

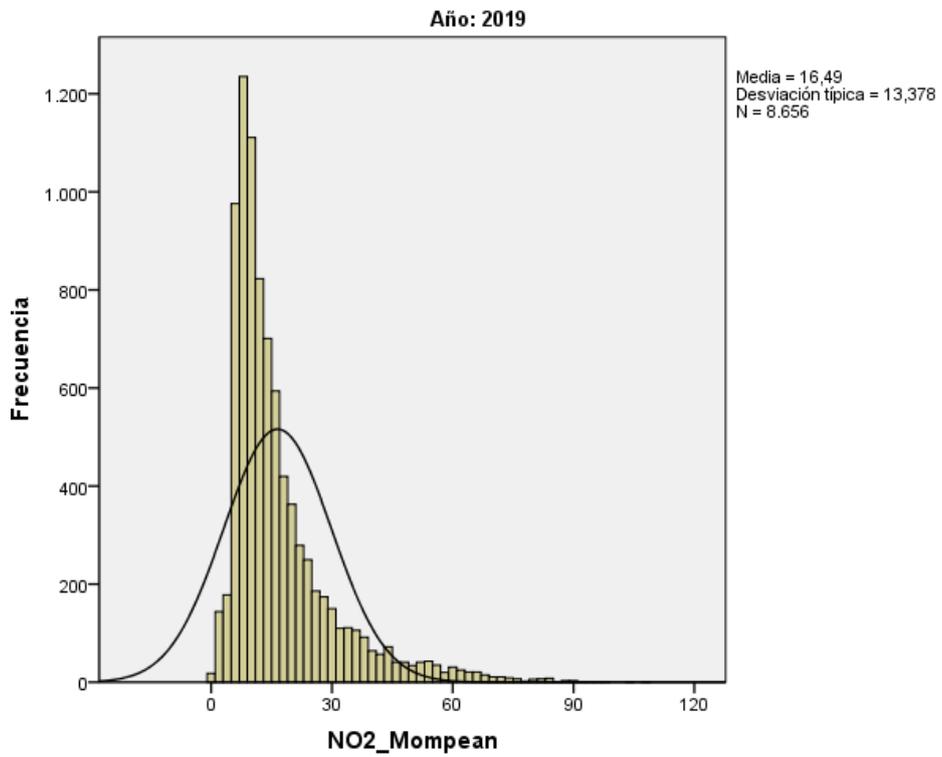


Figura 32: Histograma para muestra de NO<sub>2</sub> (2019)

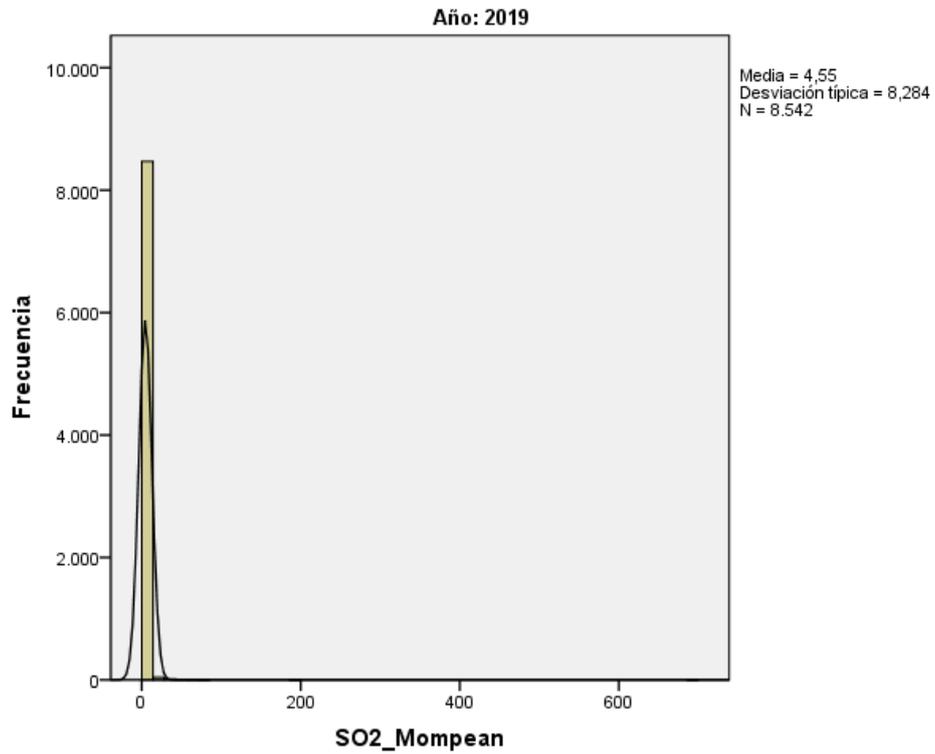


Figura 33: Histograma para muestra de SO<sub>2</sub> (2019)

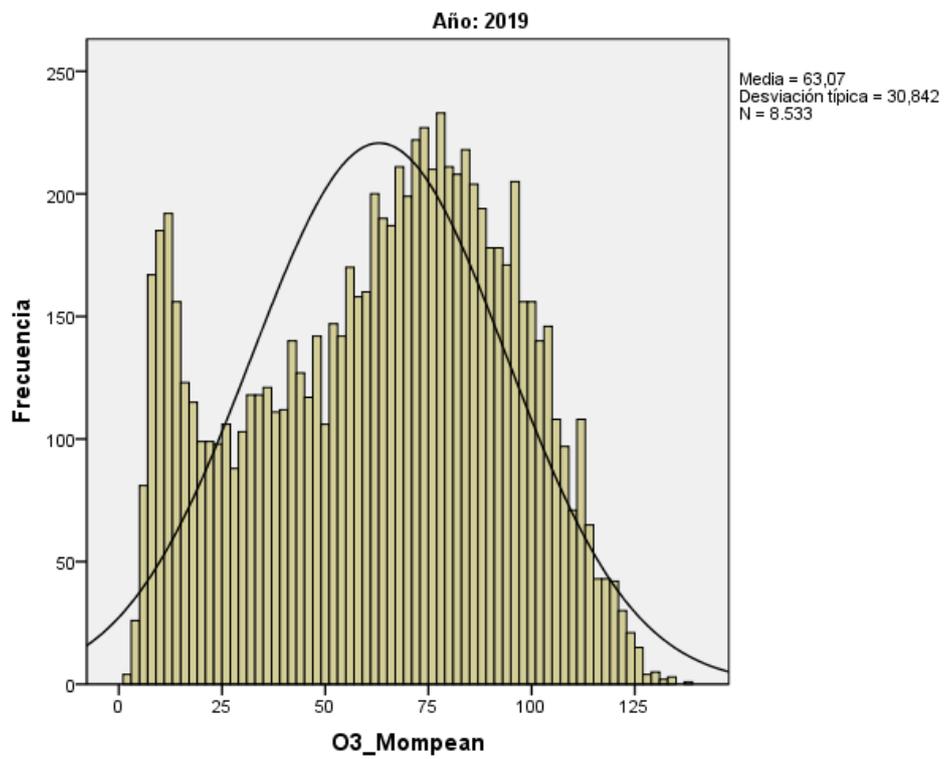


Figura 34: Histograma para muestra de O<sub>3</sub> (2019)

## 5.4. Estudio de log-normalidad de los datos

Para estudiar la log-normalidad en primer lugar se hace el logaritmo en base diez de los datos de los contaminantes y a continuación se realiza la prueba de Kolmogórov-Smirnov, en la que la hipótesis nula es la normalidad del logaritmo de los datos. Los resultados se recogen en la Tabla 13 y Tabla 14.

### a. 2018

Tabla 13: Prueba de log-normalidad Kolmogórov-Smirnov (2018)

Prueba de Kolmogórov-Smirnov para una muestra <sup>c</sup>					
		LogNO_ <sub>1</sub> Mompean	LogNO <sub>2</sub> Mompean	LogSO <sub>2</sub> Mompean	LogO <sub>3</sub> Mompean
N		7751	7751	8461	8663
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,8579	1,1789	,6262	1,7386
	Desviación típica	,30937	,33013	,20959	,32786
Diferencias más extremas	Absoluta	,148	,068	,153	,188
	Positiva	,148	,027	,081	,138
	Negativa	-,123	-,068	-,153	-,188
Z de Kolmogorov-Smirnov		13,011	5,945	14,108	17,478
Sig. asintót. (bilateral)		,000	,000	,000	,000
a. La distribución de contraste es la Normal.					
b. Se han calculado a partir de los datos.					
c. Año = 2018					

Con nivel de significación del  $0,000 < 0,05$  (95 % de significación) se rechaza la hipótesis nula, concluyendo que los datos no presentan una distribución log-normal.

En la Figura 35, Figura 36, Figura 37 y Figura 38 se muestran los histogramas para las distintas muestras, la curva en negro muestra el perfil de la distribución si se ajustara a la log-normalidad:

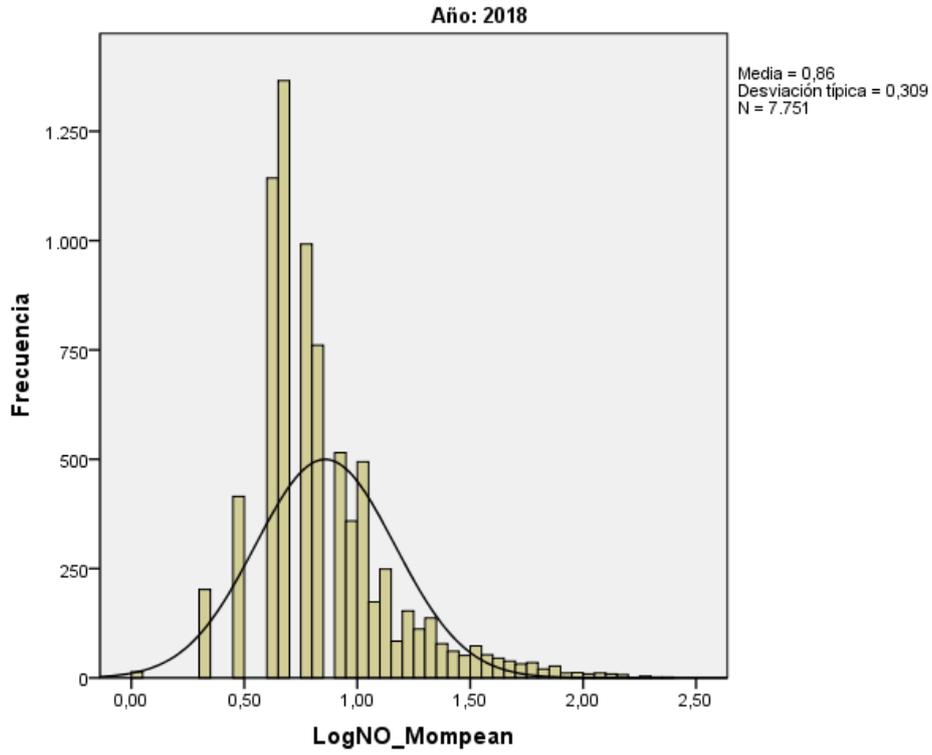


Figura 35: Histograma para muestra logarítmica de NO (2018)

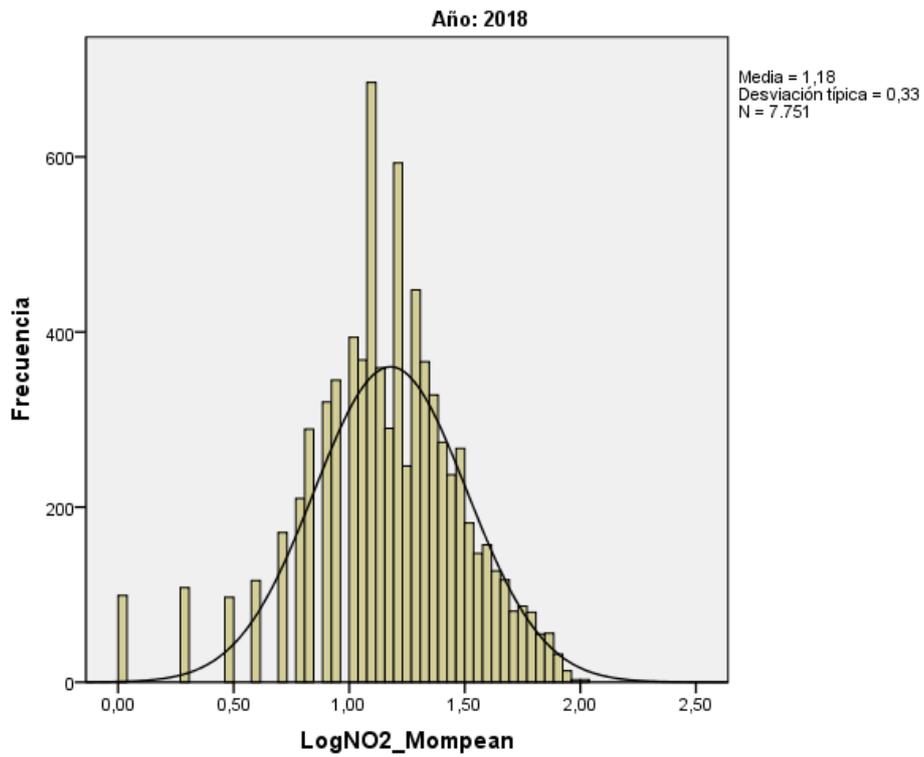


Figura 36: Histograma para muestra logarítmica de NO<sub>2</sub> (2018)

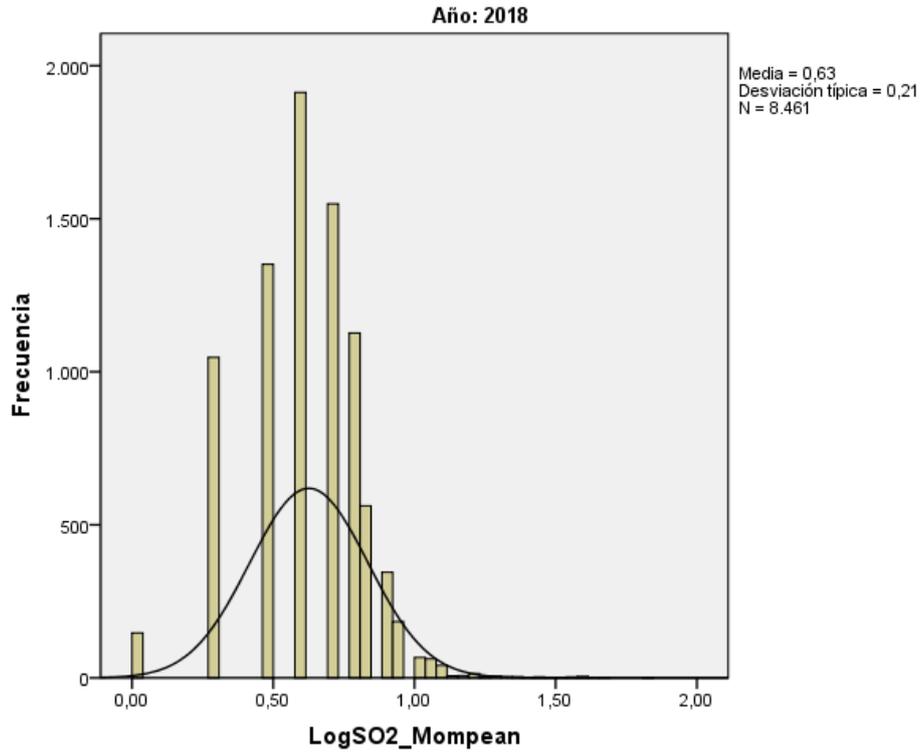


Figura 37: Histograma para muestra logarítmica de SO<sub>2</sub> (2018)

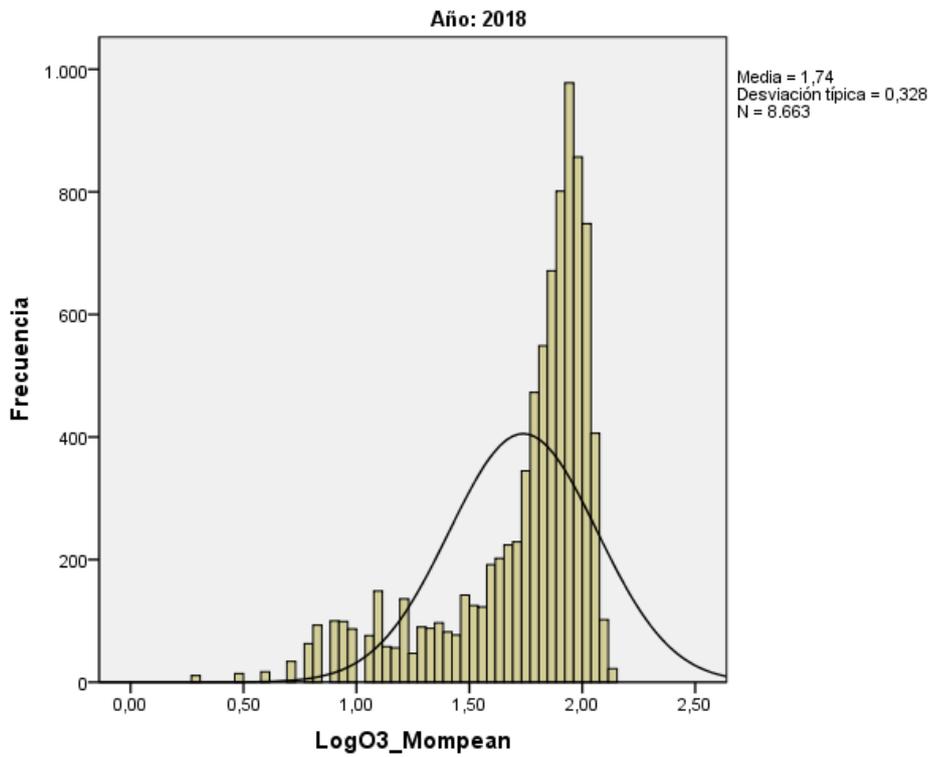


Figura 38: Histograma para muestra logarítmica de O<sub>3</sub> (2018)

**b. 2019**

**Tabla 14: Prueba de log-normalidad Kolmogórov-Smirnov (2019)**

<b>Prueba de Kolmogórov-Smirnov para una muestra<sup>c</sup></b>					
		LogNO_ Mompean	LogNO <sub>2</sub> _ Mompean	LogSO <sub>2</sub> _ Mompean	LogO <sub>3</sub> _ Mompean
N		8658	8638	8542	8533
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	,7513	1,1077	,5827	1,7146
	Desviación típica	,32994	,30545	,23487	,31866
Diferencias más extremas	Absoluta	,199	,060	,119	,164
	Positiva	,174	,060	,092	,117
	Negativa	-,199	-,058	-,119	-,164
Z de Kolmogorov-Smirnov		18,505	5,545	11,037	15,162
Sig. asintót. (bilateral)		,000	,000	,000	,000
a. La distribución de contraste es la Normal.					
b. Se han calculado a partir de los datos.					
c. Año = 2019					

Con nivel de significación del  $0,000 < 0,05$  (95 % de significación) se rechaza la hipótesis nula, concluyendo que los datos no presentan una distribución log-normal.

En la Figura 39, Figura 40, Figura 41 y Figura 42 se muestran los histogramas para las distintas muestras, la curva en negro muestra el perfil de la distribución si se ajustara a la log-normalidad:

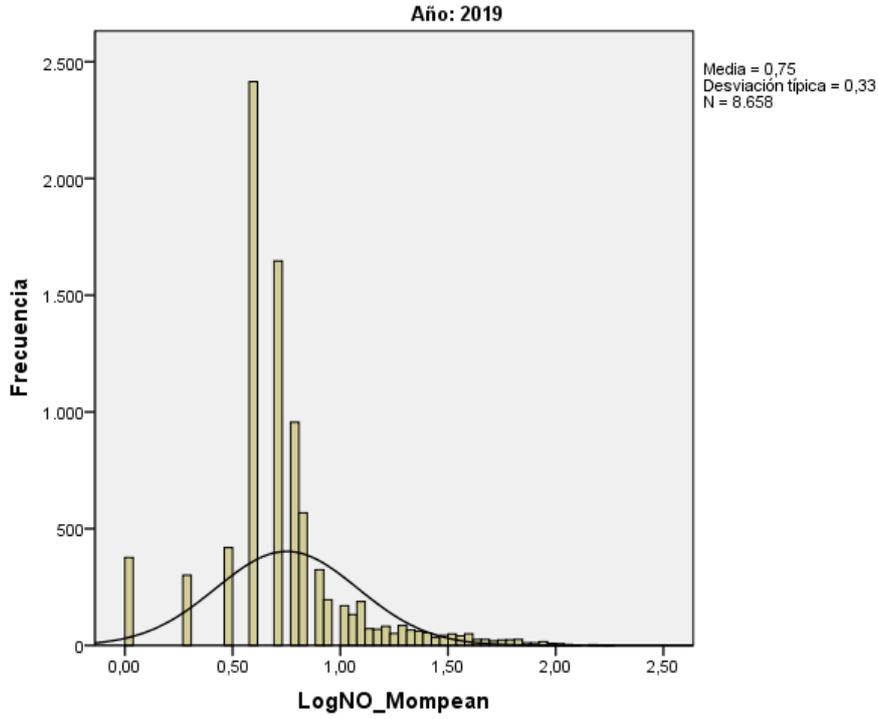


Figura 39: Histograma para muestra logarítmica de NO (2019)

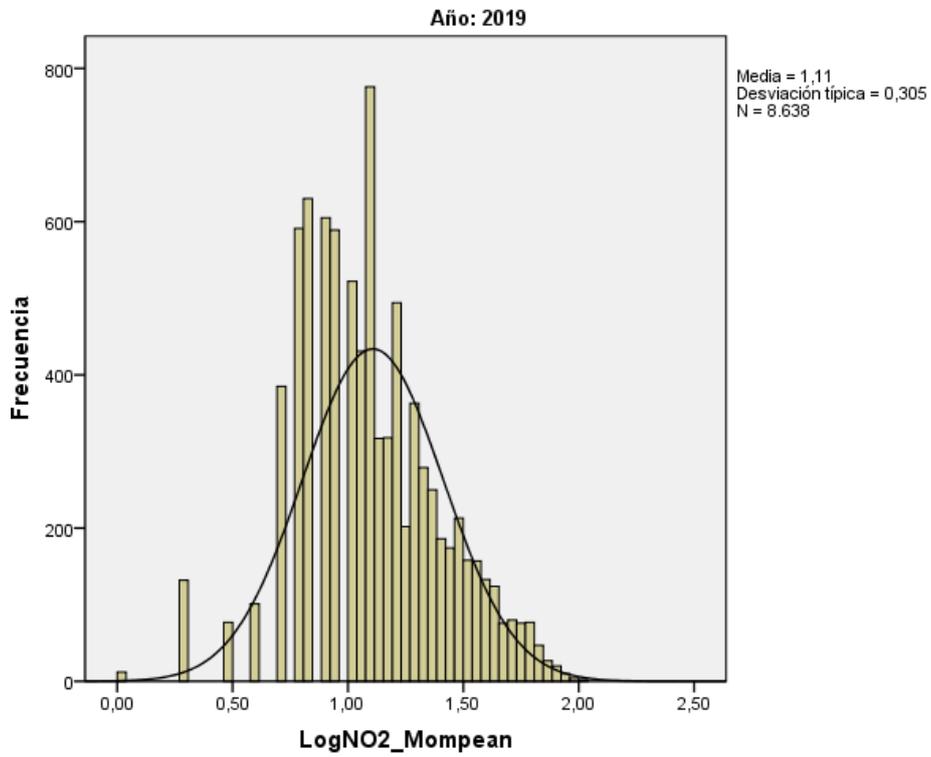


Figura 40: Histograma para muestra logarítmica de NO<sub>2</sub> (2019)

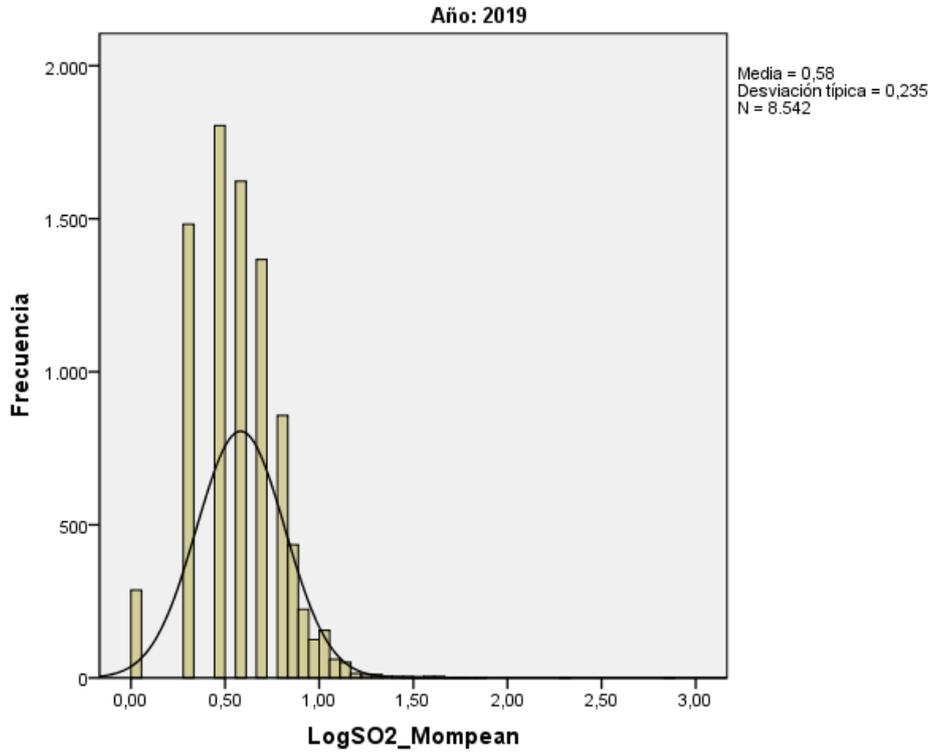


Figura 41: Histograma para muestra logarítmica de SO<sub>2</sub> (2019)

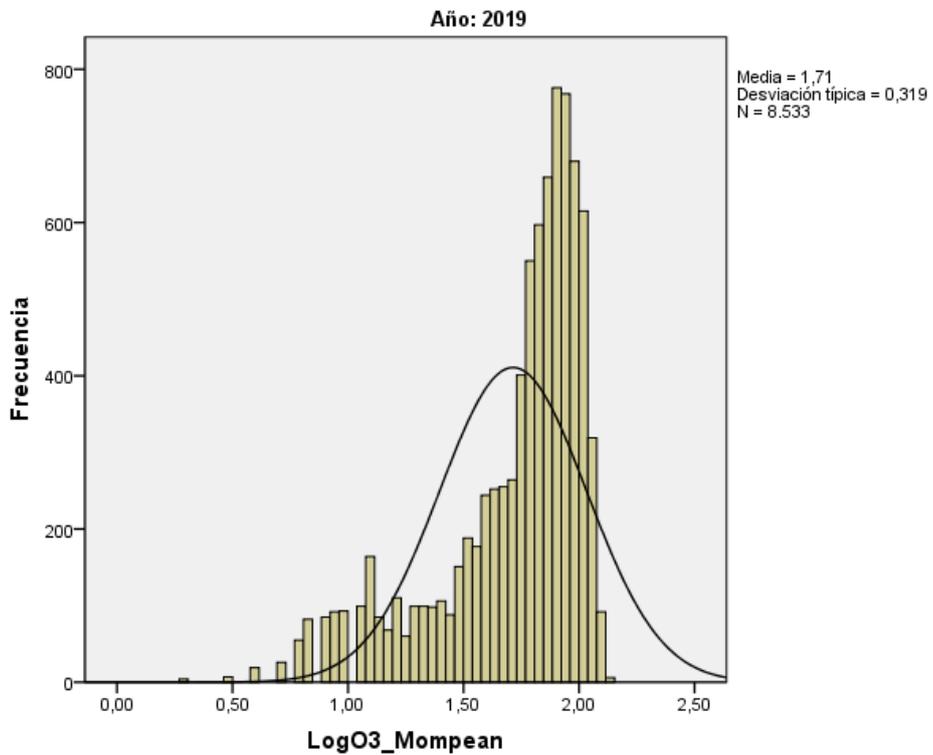


Figura 42: Histograma para muestra logarítmica de O<sub>3</sub> (2019)

## 5.5. Homogeneidad de las varianzas

Se va a estudiar si existe homogeneidad de las varianzas en los datos de los contaminantes con el Test de Levene. Los resultados se recogen en la Tabla 15 y Tabla 16.

**Tabla 15: Prueba homogeneidad varianzas 2018**

Prueba de homogeneidad de varianzas <sup>a</sup>				
	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
SO <sub>2</sub> _Mompean	25,101	1	8459	,000
NO_Mompean	1,611	1	7749	,204
NO <sub>2</sub> _Mompean	,021	1	7749	,884
O <sub>3</sub> _Mompean	1,819	1	8661	,177
a. Año = 2018				

Con un nivel de significación de 0,000 se rechaza la hipótesis de que exista homogeneidad de varianzas para el SO<sub>2</sub> en 2018 según la etiqueta Cruceros B, que identifica hora con crucero y hora sin crucero. Para el resto de los contaminantes no se puede rechazar la hipótesis nula, por lo que se asume homogeneidad de varianzas.

**Tabla 16: Prueba homogeneidad varianzas 2019**

Prueba de homogeneidad de varianzas <sup>a</sup>				
	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
SO <sub>2</sub> _Mompean	,001	1	8523	,981
NO_Mompean	231,183	1	8639	,000
NO <sub>2</sub> _Mompean	276,290	1	8637	,000
O <sub>3</sub> _Mompean	,408	1	8514	,523
a. Año = 2019				

Con un nivel de significación de 0,000 se rechaza la hipótesis de que exista homogeneidad de varianzas para los NO<sub>x</sub> en 2019, también según la etiqueta Cruceros B. En el caso del SO<sub>2</sub> y del O<sub>3</sub> no se puede rechazar la hipótesis nula, por lo que se asume homogeneidad de varianzas.

## 5.6. Distribución de contaminantes por otros factores

Previo al estudio de la influencia del tráfico de cruceros a la calidad del aire de Cartagena se van a realizar una serie de pruebas para estudiar las distribuciones de los compuestos debido a otros factores.

### 5.6.1. Días de la semana

Se va representar en forma de barras de error la concentración de los contaminantes a lo largo de los días de la semana. Los resultados de 2018 de las distintas muestras se recogen en la Figura 43, Figura 44, Figura 45 y Figura 46; y los resultados de 2019 se recogen en la Figura 47, Figura 48, Figura 49 y Figura 50.

a. 2018

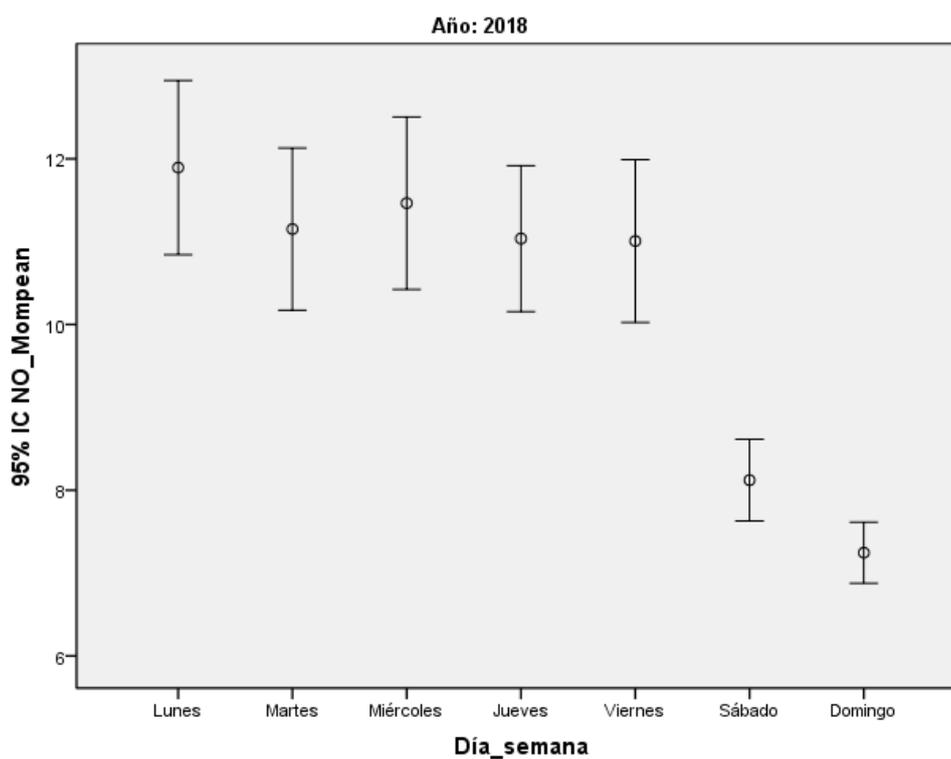


Figura 43: Barra de error NO - Días de la semana (2018)

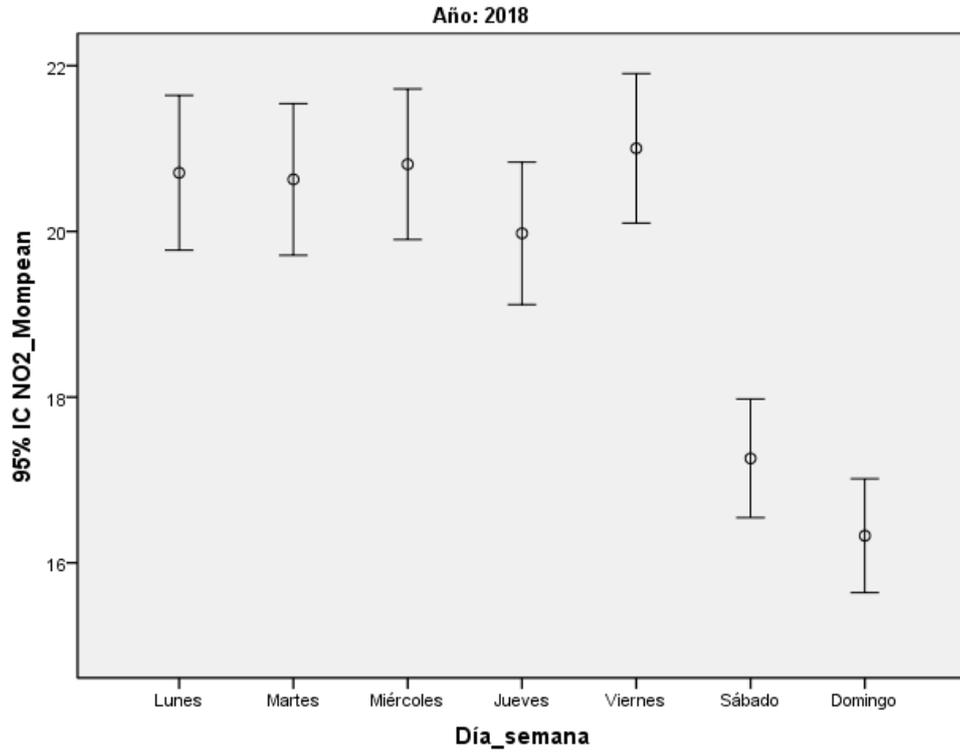


Figura 44: Barra de error NO<sub>2</sub> - Días de la semana (2018)

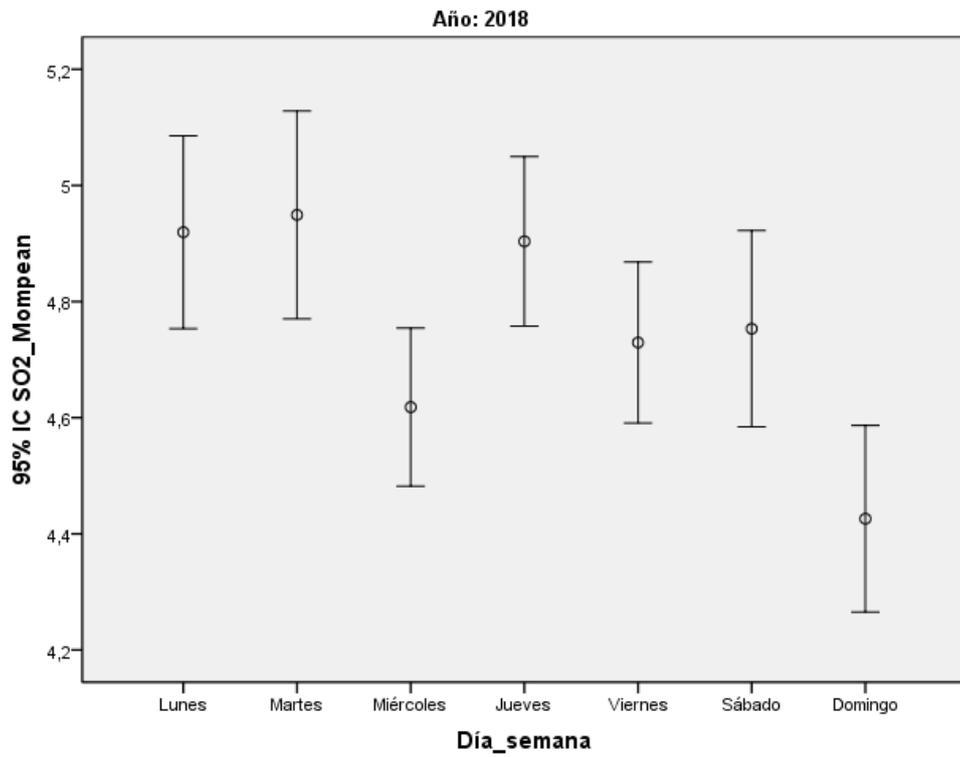


Figura 45: Barra de error SO<sub>2</sub> - Días de la semana (2018)

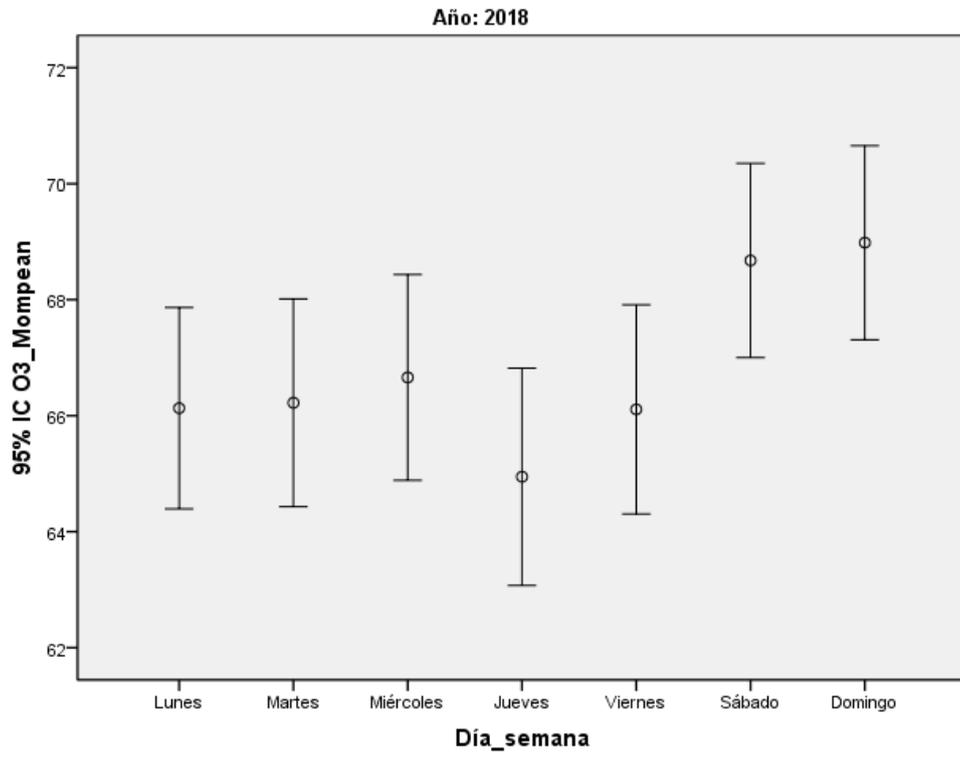


Figura 46: Barra de error O<sub>3</sub> - Días de la semana (2018)

b. 2019

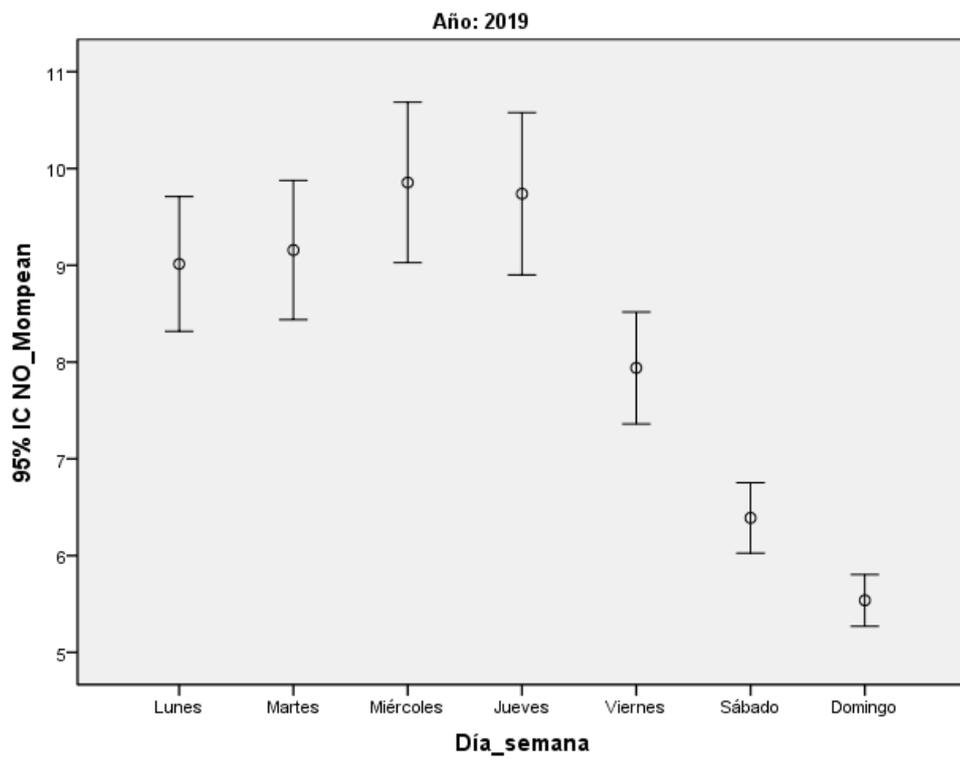


Figura 47: Barra de error NO - Días de la semana (2019)

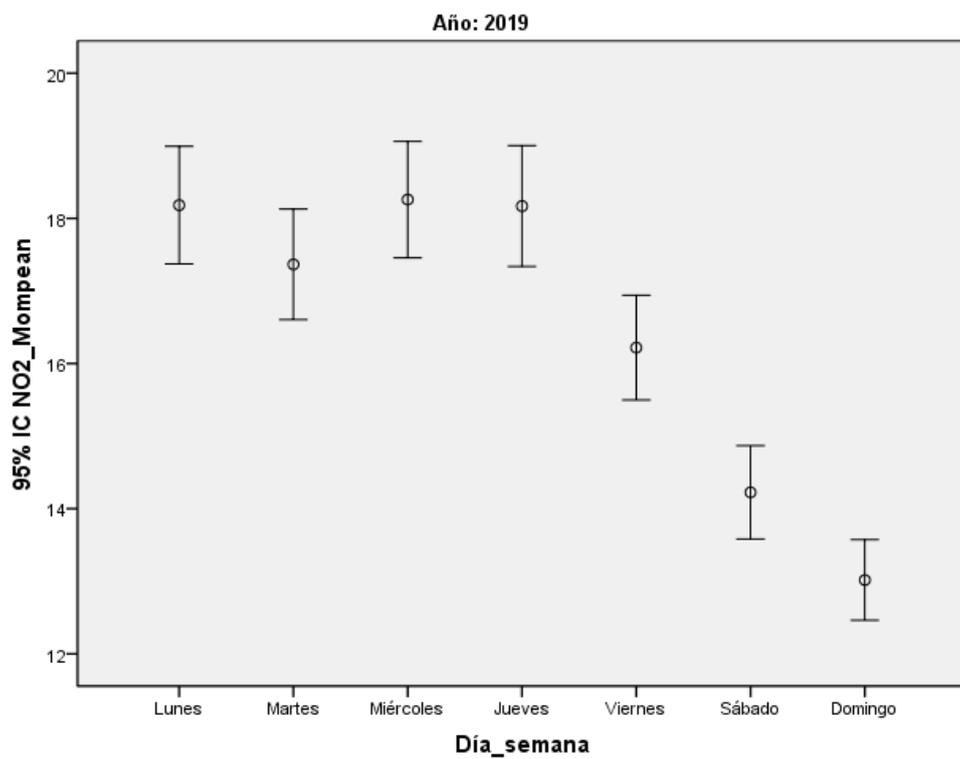


Figura 48: Barra de error NO<sub>2</sub> - Días de la semana (2019)

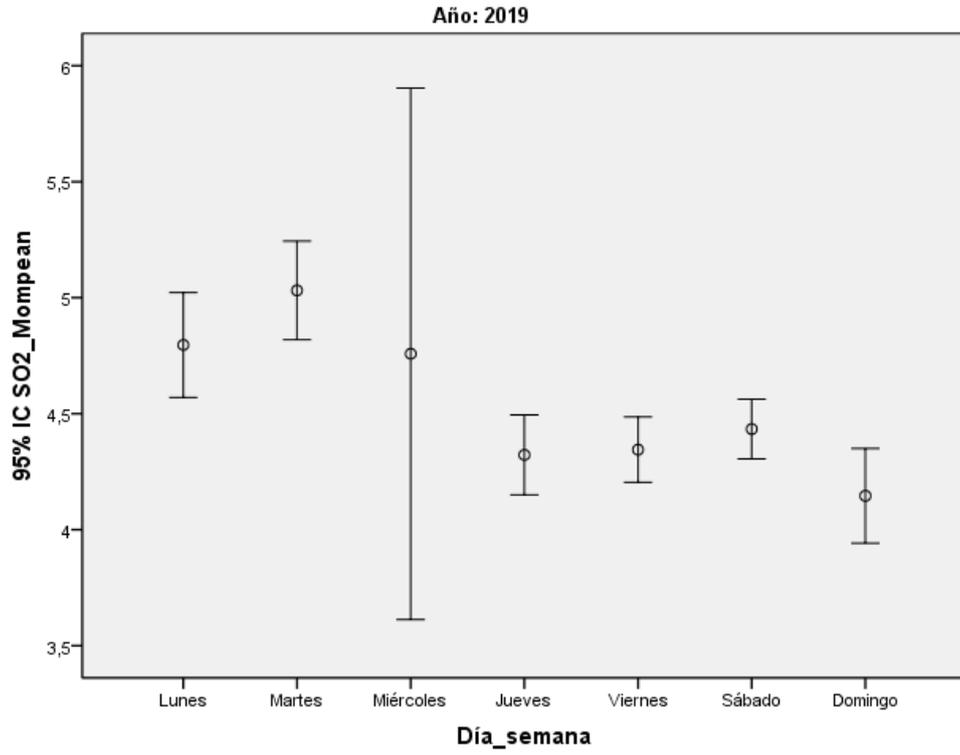


Figura 49: Barra de error SO<sub>2</sub> - Días de la semana (2019)

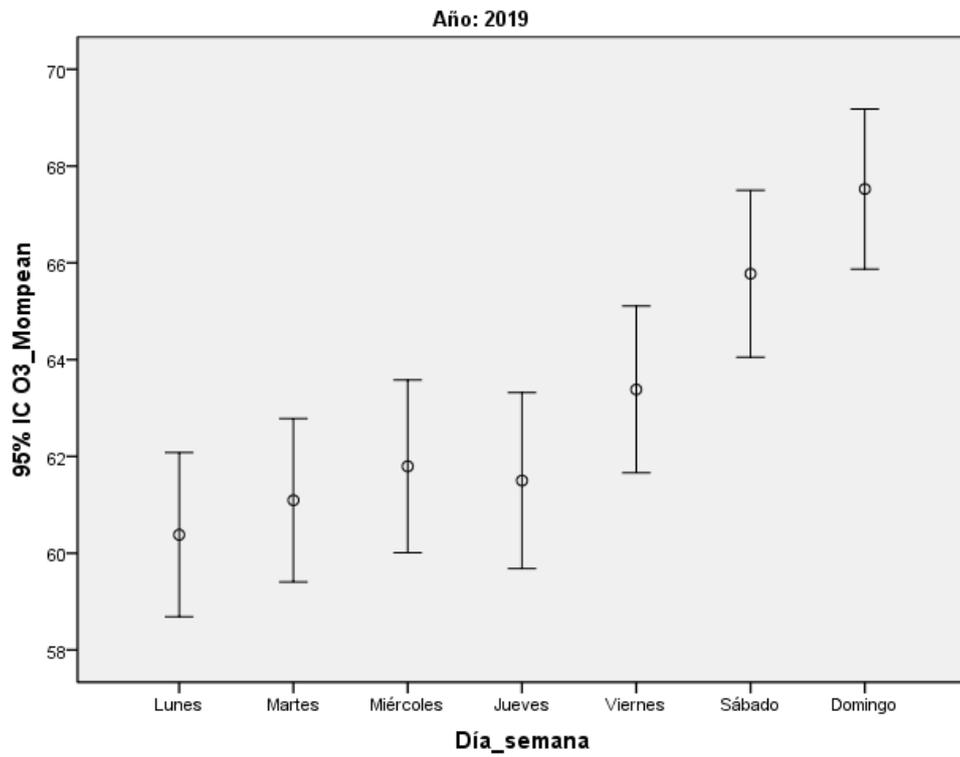


Figura 50: Barra de error O<sub>3</sub> - Días de la semana (2019)

### 5.6.2. Evolución horaria

Se va representar en forma de barras de error la concentración de los contaminantes a lo largo de las horas del día. Los resultados de 2018 de las distintas muestras se recogen en la Figura 51, Figura 52, Figura 53 y Figura 54; y los resultados de 2019 se recogen en la Figura 55, Figura 56, Figura 57 y Figura 58.

a. 2018

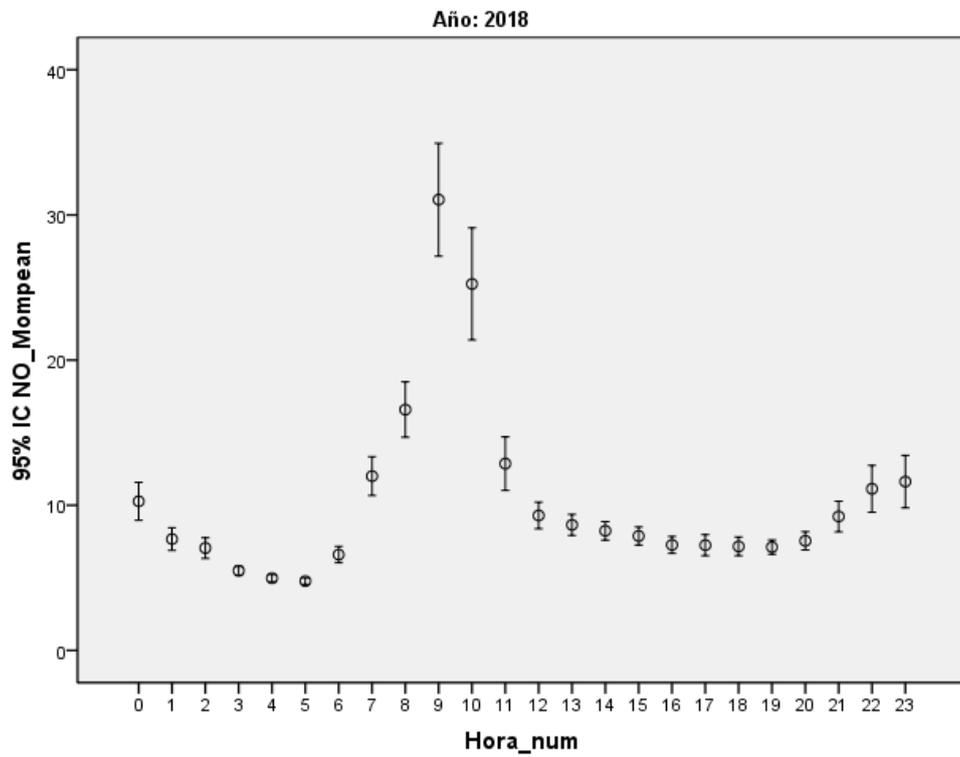


Figura 51: Barra de error NO – Evolución horaria (2018)

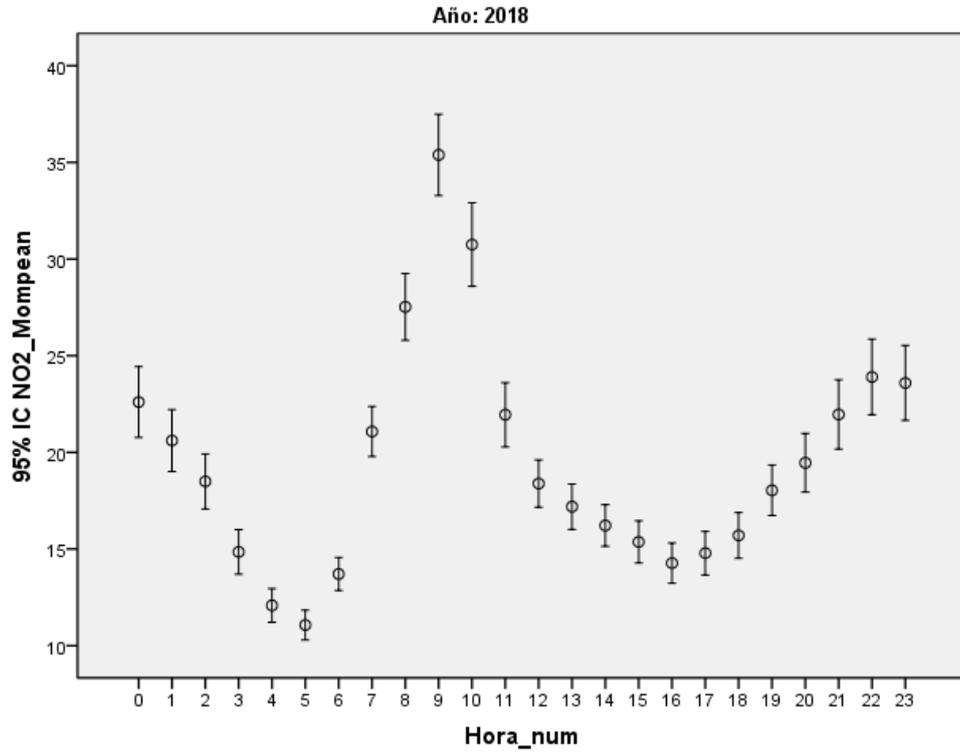


Figura 52: Barra de error NO<sub>2</sub> – Evolución horaria (2018)

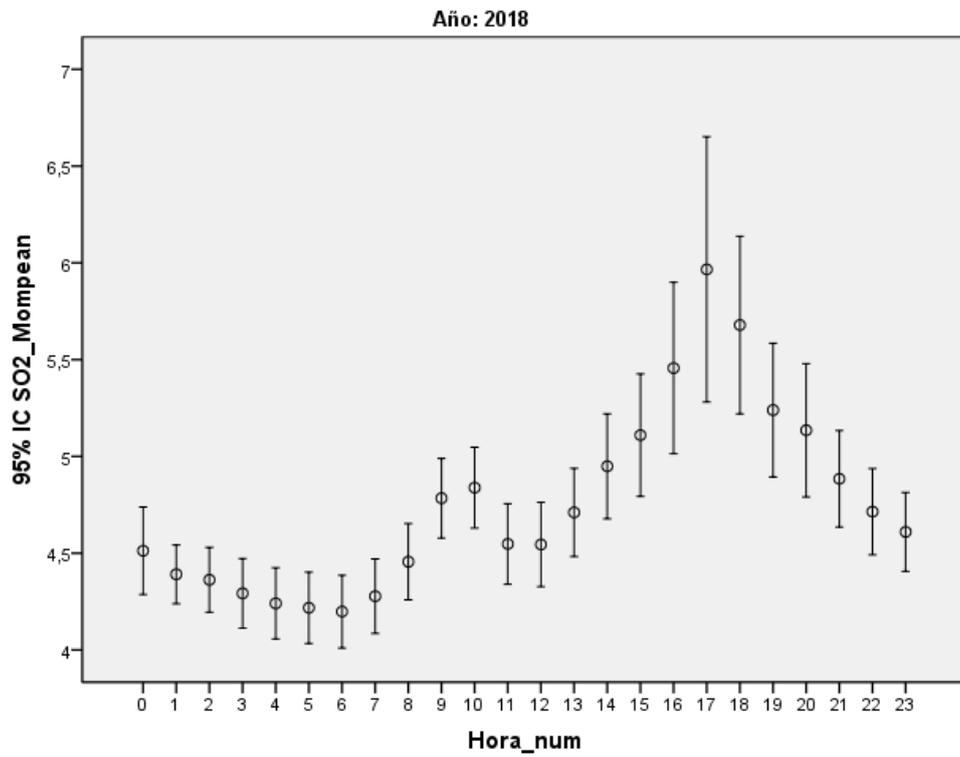


Figura 53: Barra de error SO<sub>2</sub> – Evolución horaria (2018)

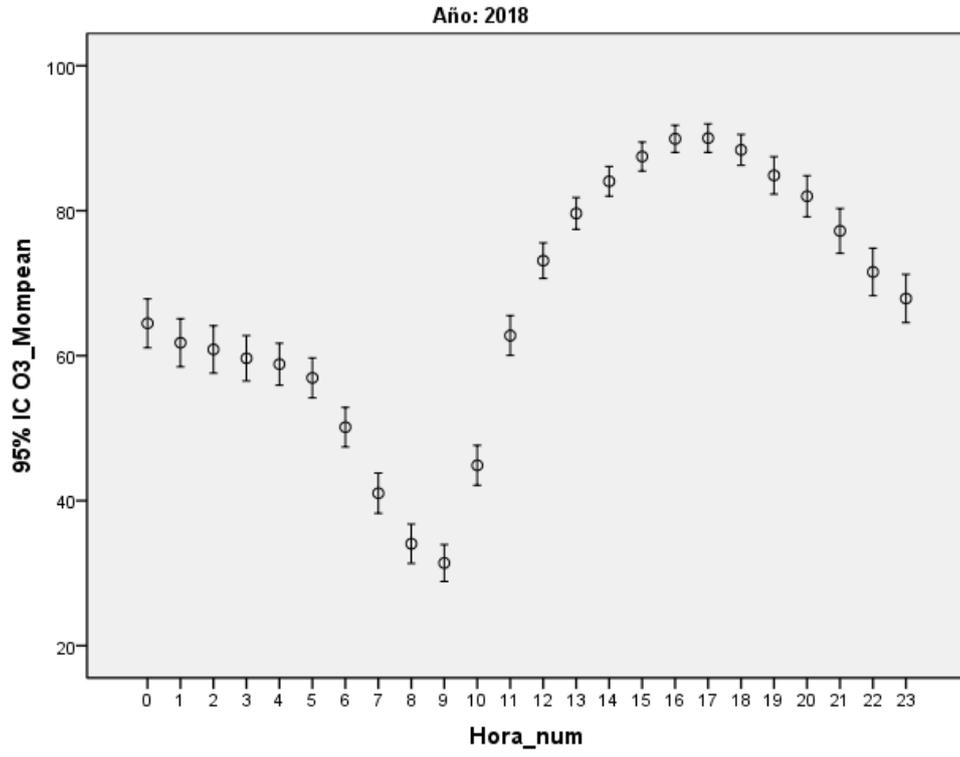


Figura 54: Barra de error O<sub>3</sub> – Evolución horaria (2018)

b. 2019

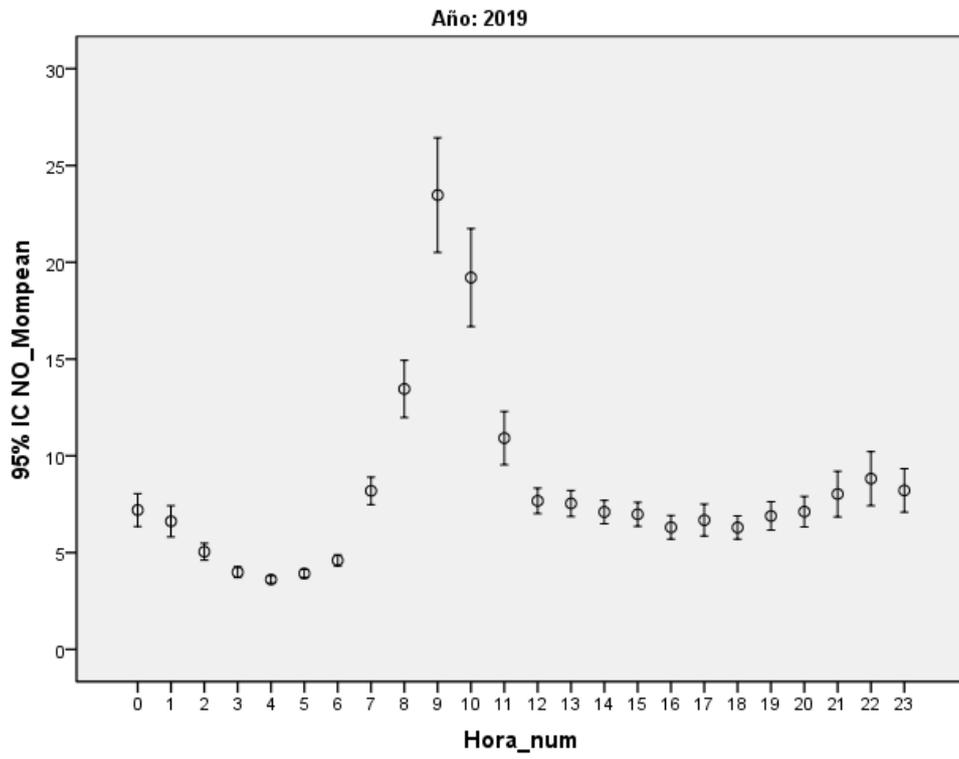


Figura 55: Barra de error NO – Evolución horaria (2019)

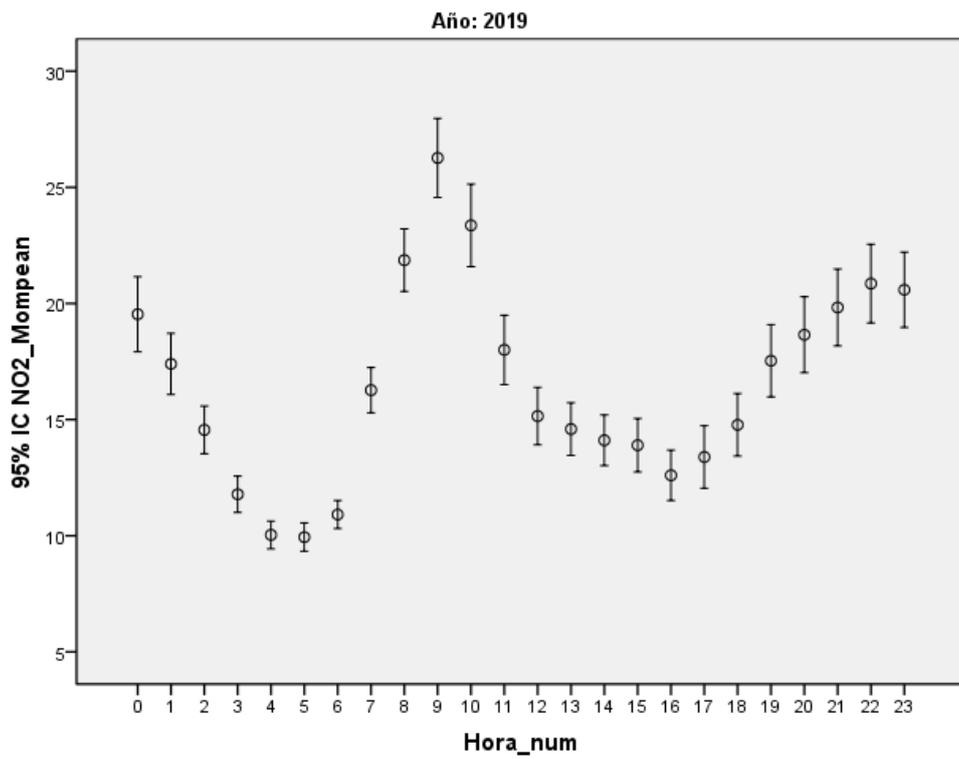


Figura 56: Barra de error NO<sub>2</sub> – Evolución horaria (2019)

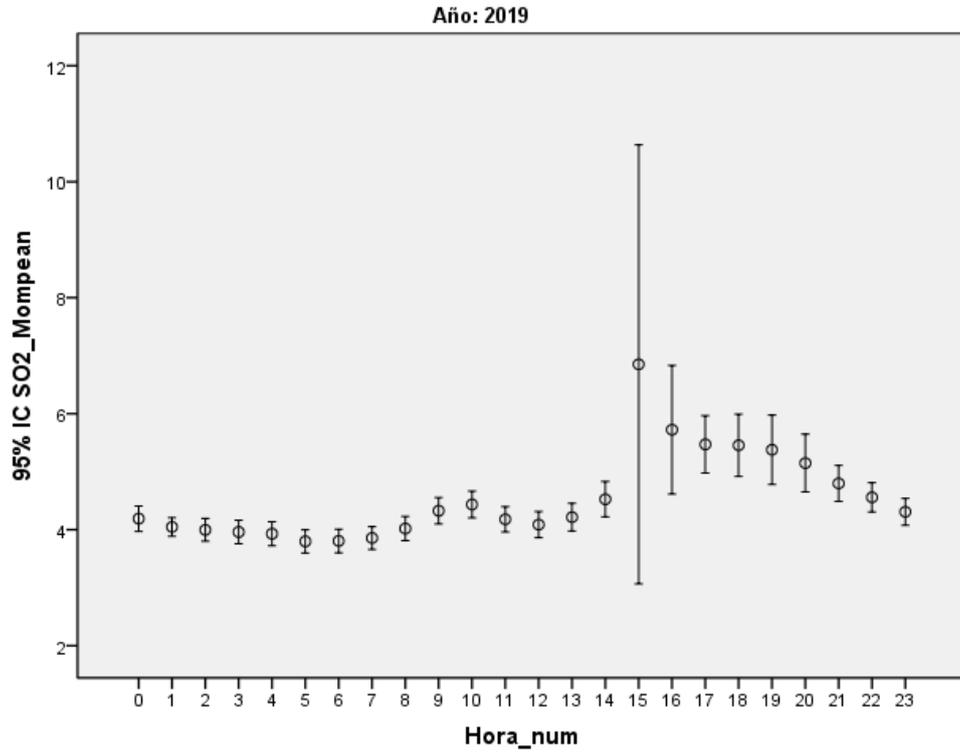


Figura 57: Barra de error SO<sub>2</sub> – Evolución horaria (2019)

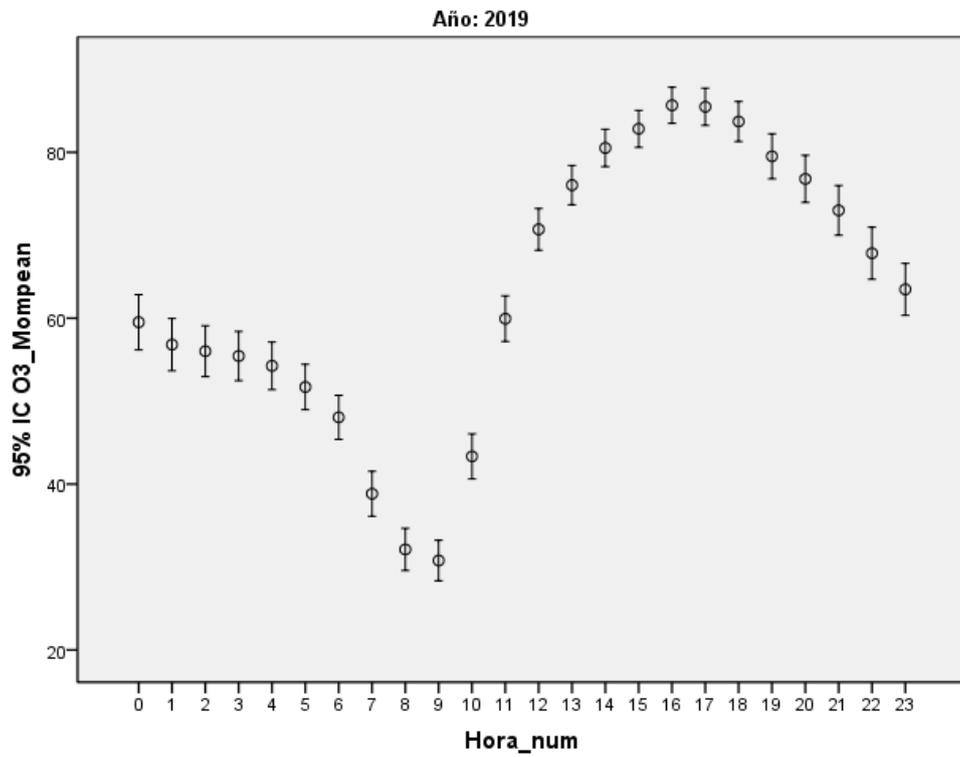


Figura 58: Barra de error O<sub>3</sub> – Evolución horaria (2019)

### 5.6.3. Factores meteorológicos

Por último, se va a estudiar la distribución de la concentración de los contaminantes según la dirección y velocidad del viento.

#### i. Dirección del viento

En la Figura 59 y Figura 64 se muestran las distribuciones de las direcciones del viento en los dos años de estudio en forma de rosas del viento.

Además, se representa en forma de barras de error la concentración de los contaminantes según las etiquetas "Viento\_rumbos". Los resultados de 2018 para las distintas muestras se recogen en la Figura 60, Figura 61, Figura 62 y Figura 63; y los resultados de 2019 se recogen en la Figura 65, Figura 66, Figura 67 y Figura 68.

a. 2018

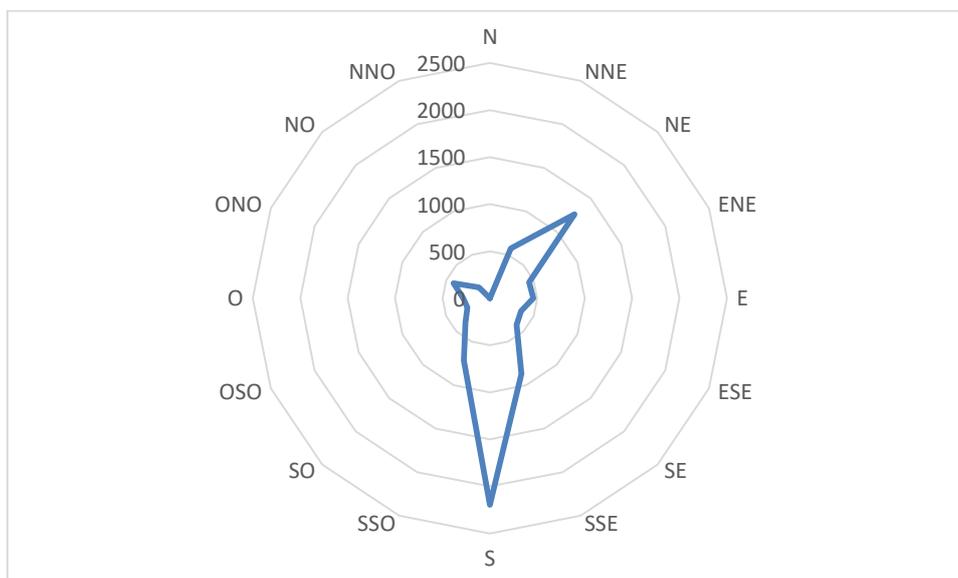


Figura 59: Rosa de los vientos 2018

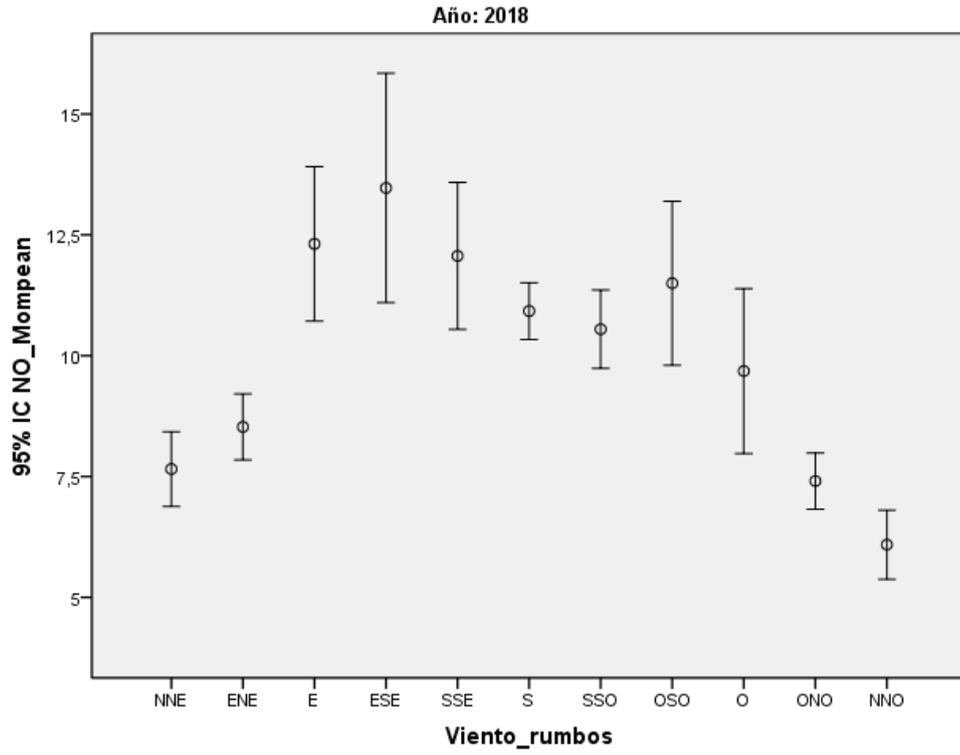


Figura 60: Barras de error NO – Etiqueta “Viento\_rumbos” (2018)

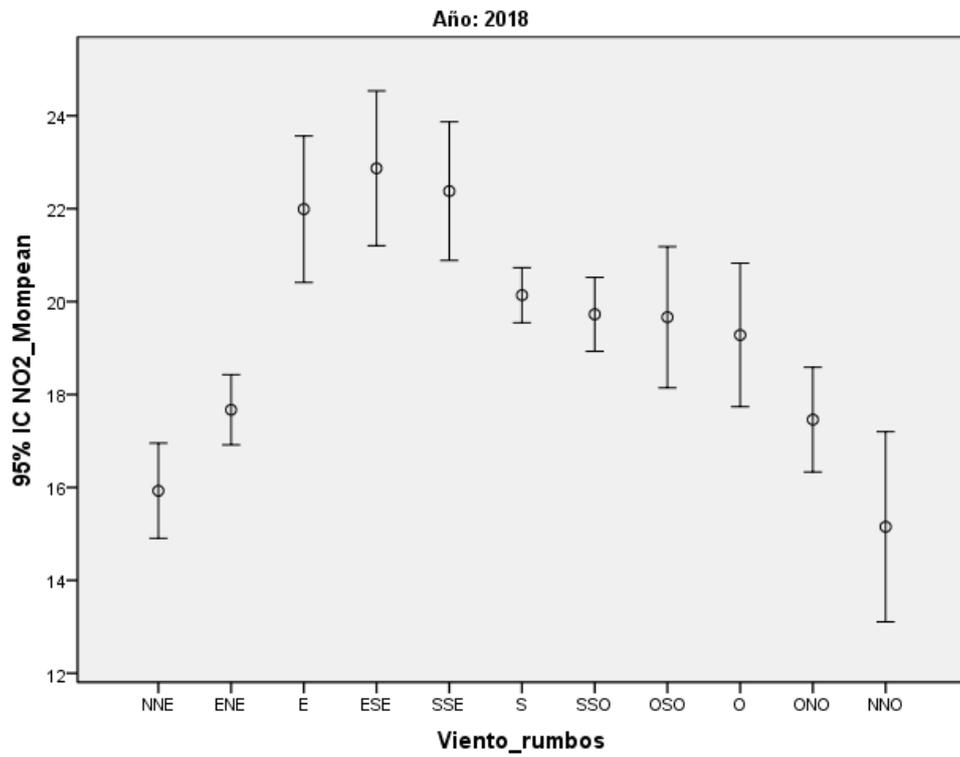


Figura 61: Barras de error NO<sub>2</sub> – Etiqueta “Viento\_rumbos” (2018)

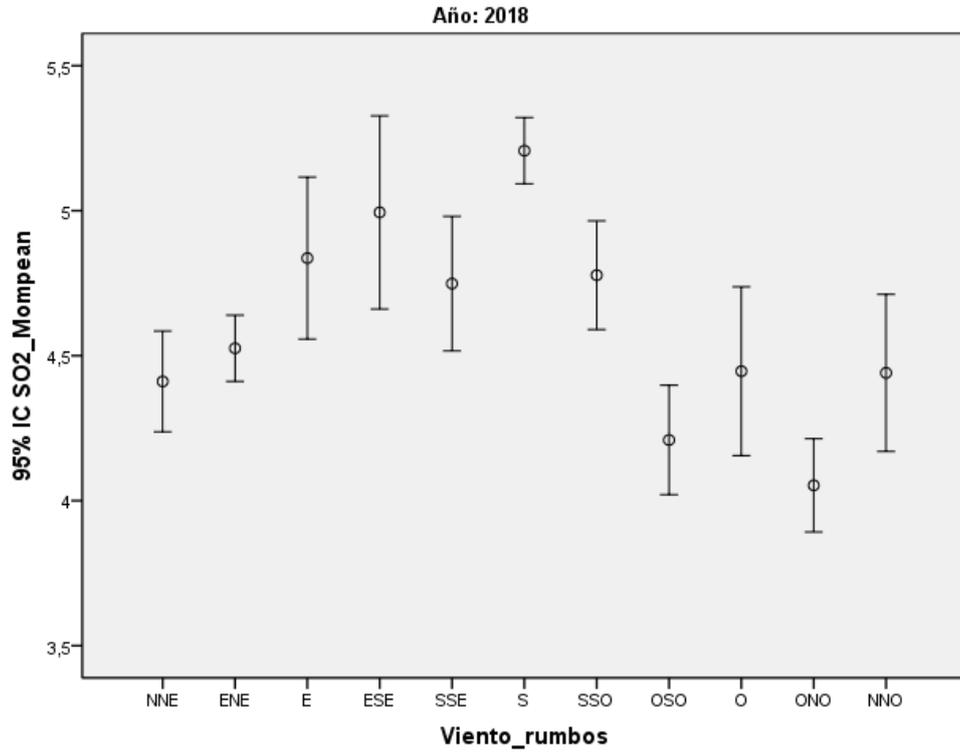


Figura 62: Barras de error SO<sub>2</sub> – Etiqueta “Viento\_rumbos” (2018)

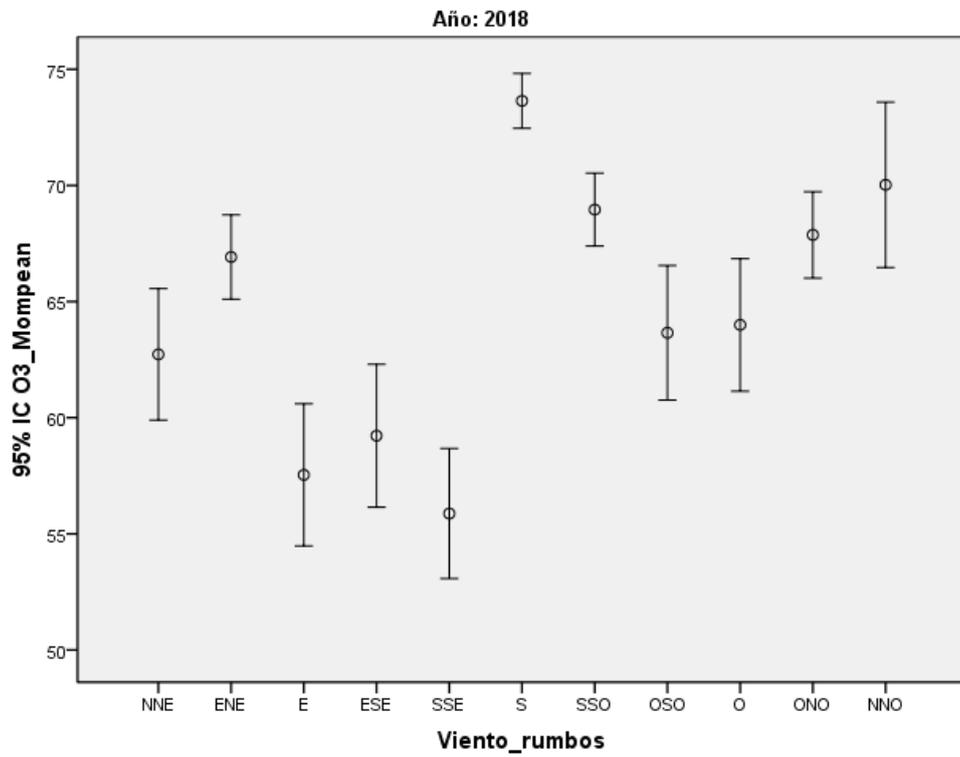


Figura 63: Barras de error O<sub>3</sub> – Etiqueta “Viento\_rumbos” (2018)

b. 2019

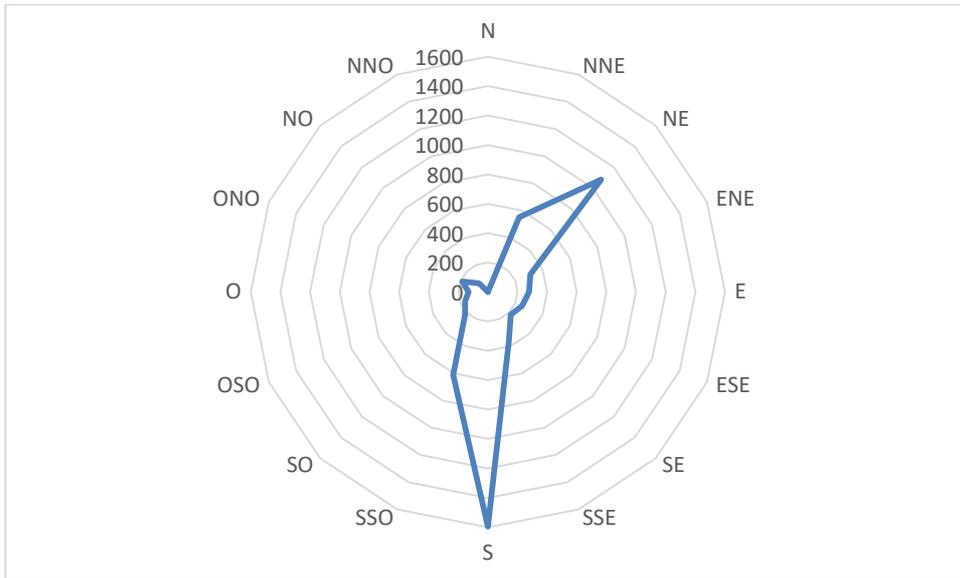


Figura 64: Rosa de los vientos 2019

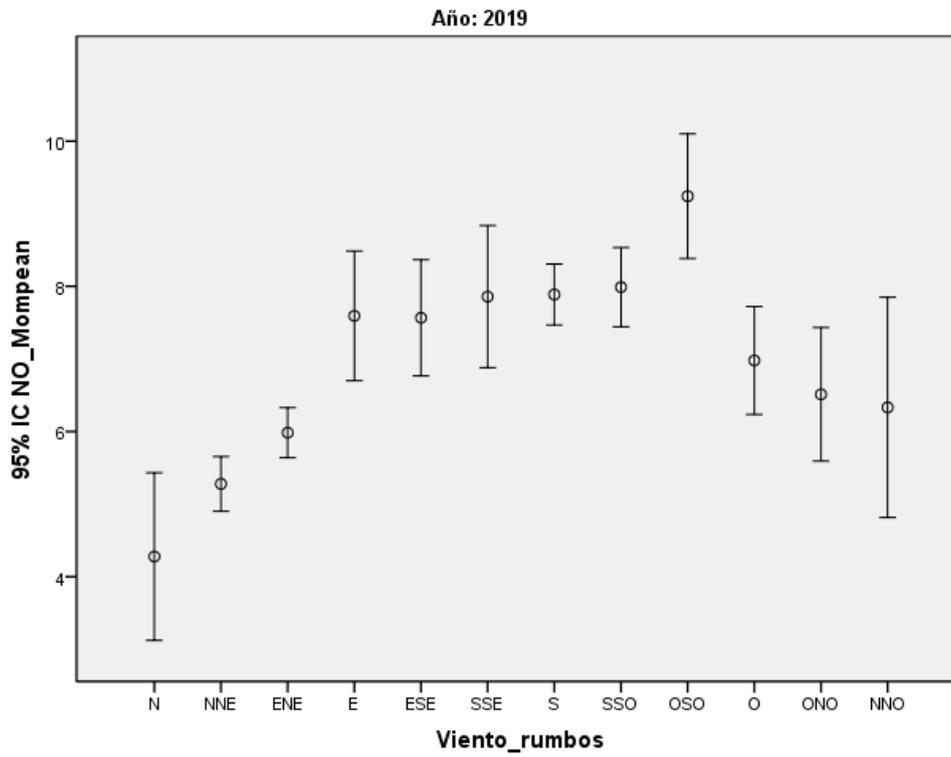


Figura 65: Barras de error NO – Etiqueta “Viento\_rumbos” (2019)

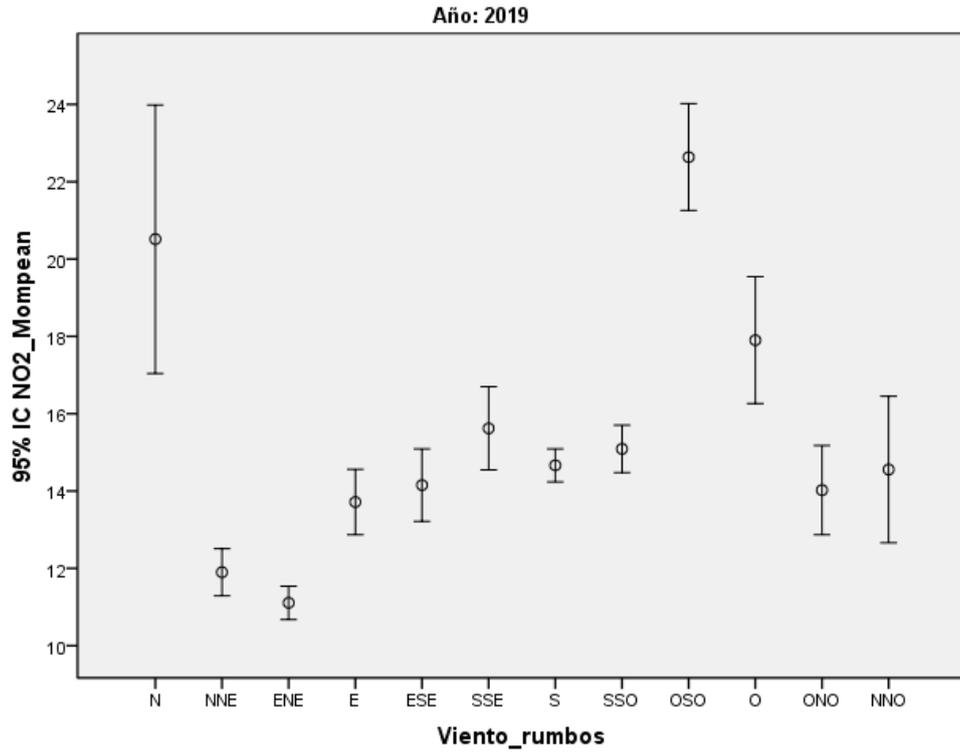


Figura 66: Barras de error NO<sub>2</sub> – Etiqueta “Viento\_rumbos” (2019)

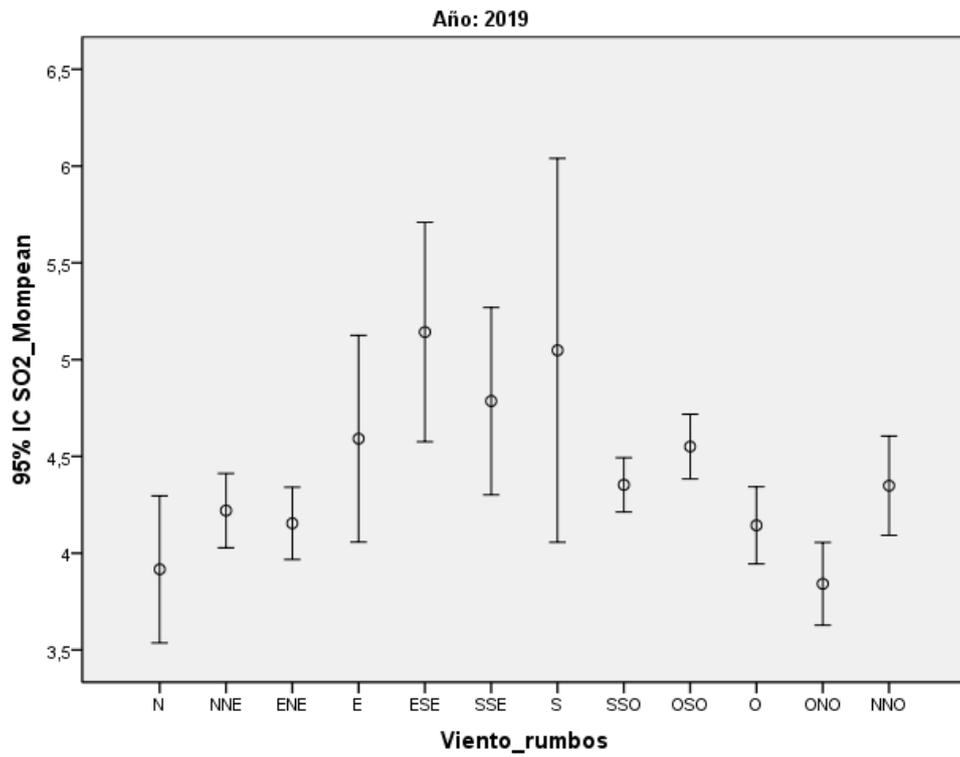


Figura 67: Barras de error SO<sub>2</sub> – Etiqueta “Viento\_rumbos” (2019)

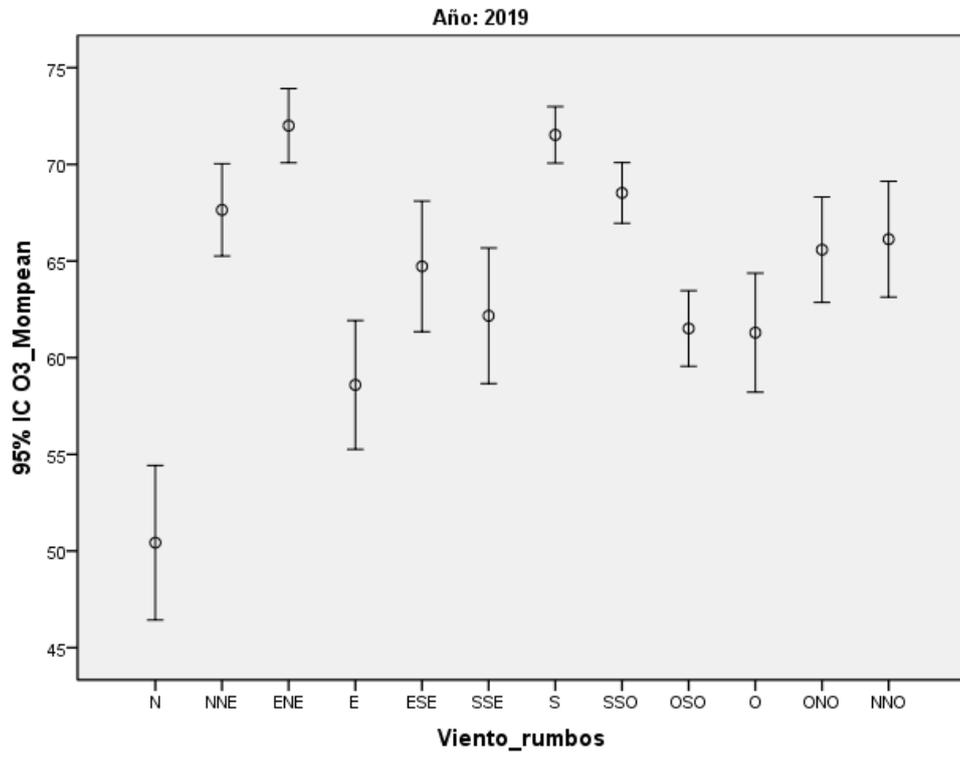


Figura 68: Barras de error O<sub>3</sub> – Etiqueta “Viento\_rumbos” (2019)

*ii. Velocidad del viento*

En la Figura 69 y Figura 74 se muestra la distribución de las velocidades del viento según el recuento del número de casos.

Además, se representa en forma de barras de error la concentración de los contaminantes según las etiquetas "Viento\_rangos". Los resultados de 2018 para las distintas muestras se recogen en la Figura 70, Figura 71, Figura 72 y Figura 73; y los resultados de 2019 se recogen en la Figura 75, Figura 76, Figura 77 y Figura 78.

a. 2018

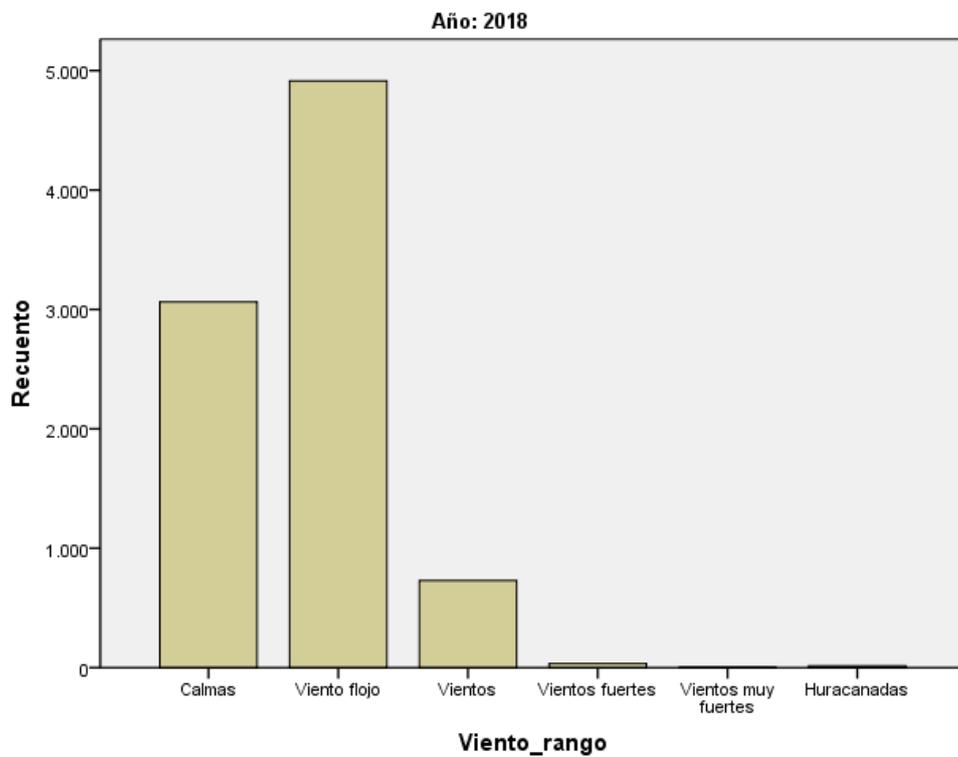


Figura 69: Histograma velocidad de vientos (2018)

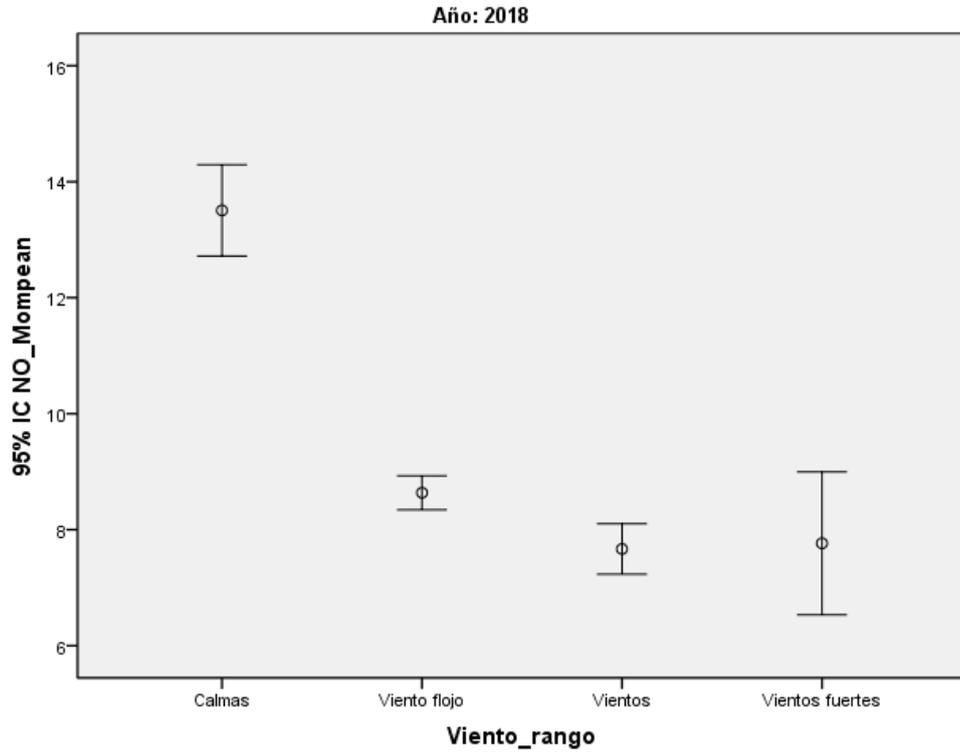


Figura 70: Barras de error NO – Etiqueta “Viento\_rango” (2018)

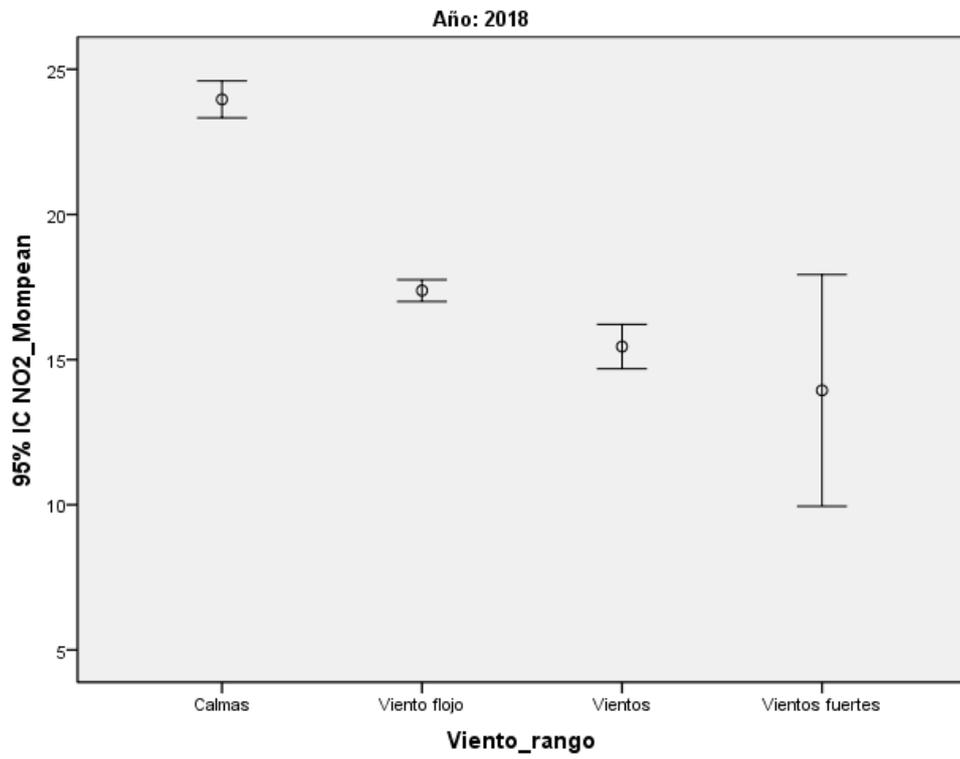


Figura 71: Barras de error NO<sub>2</sub> – Etiqueta “Viento\_rango” (2018)

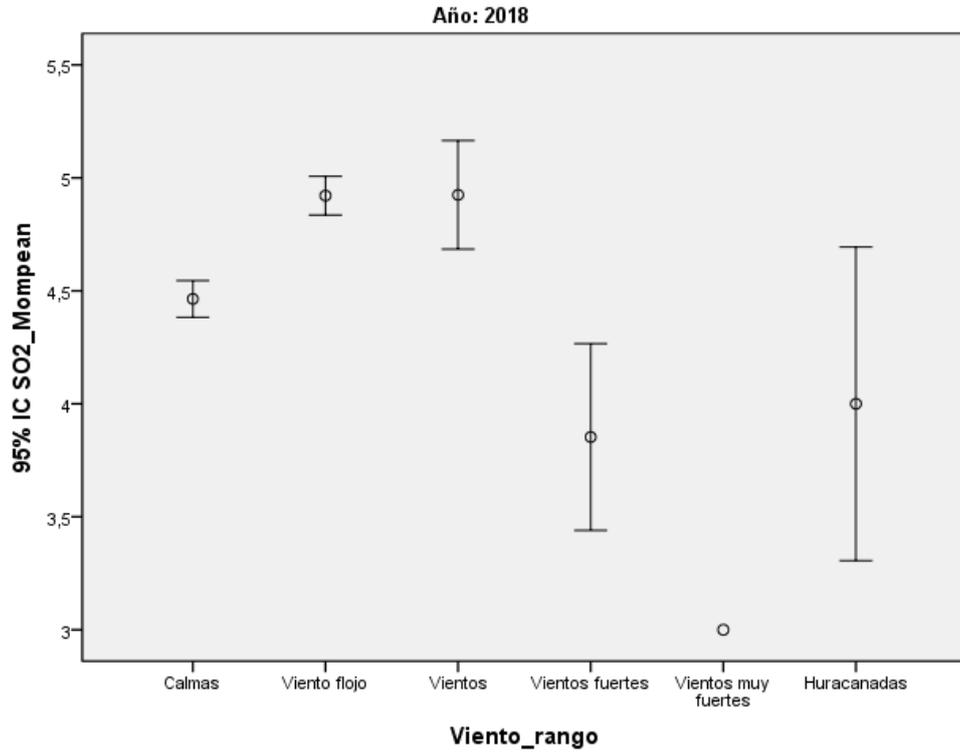


Figura 72: Barras de error SO<sub>2</sub> – Etiqueta “Viento\_rango” (2018)

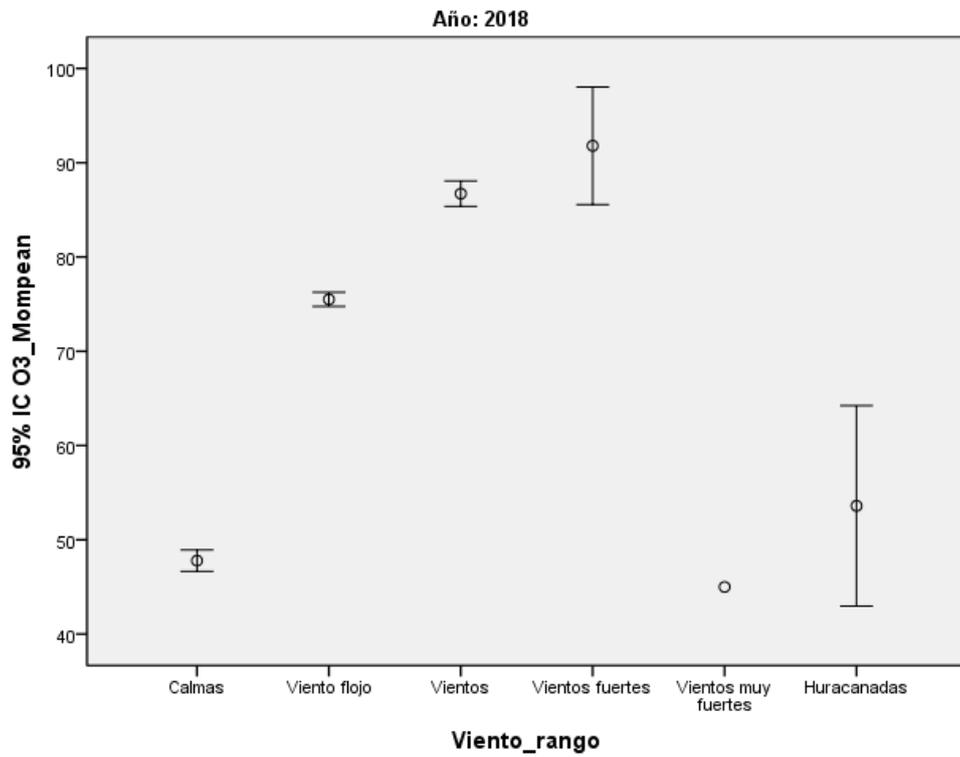


Figura 73: Barras de error O<sub>3</sub> – Etiqueta “Viento\_rango” (2018)

b. 2019

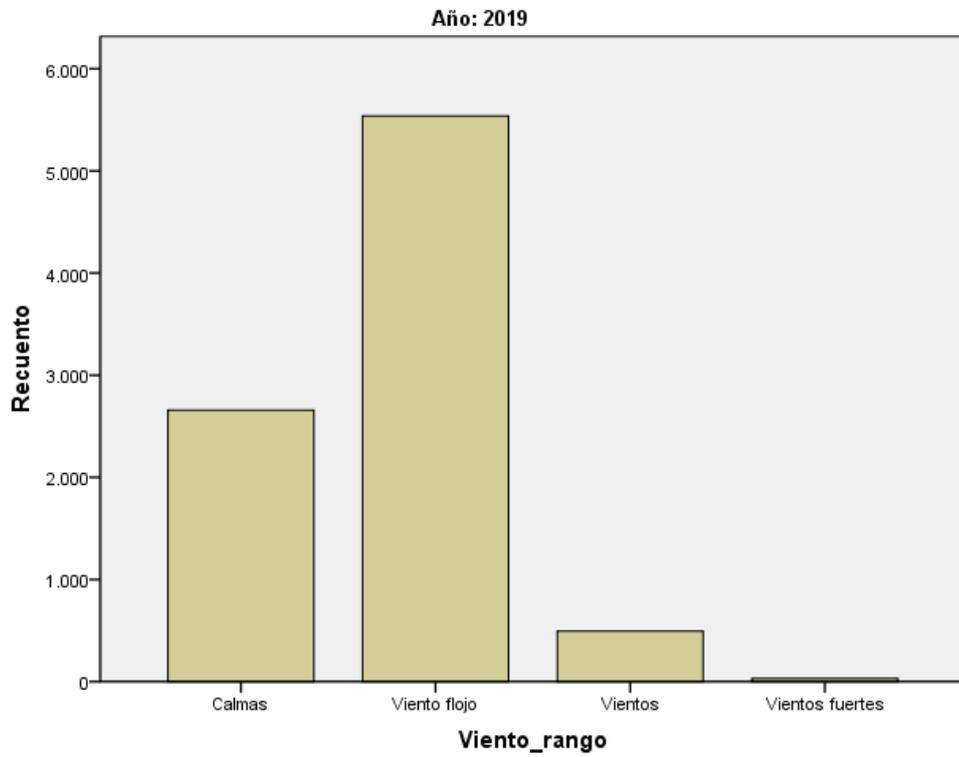


Figura 74: Histograma velocidad de vientos (2019)

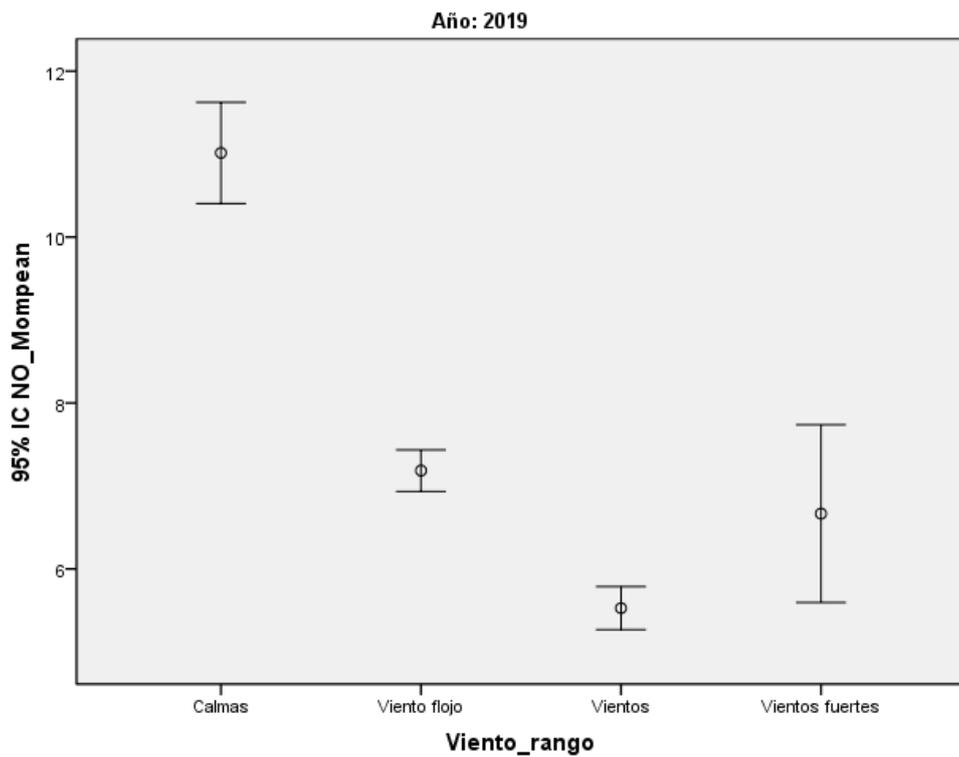


Figura 75: Barras de error NO – Etiqueta “Viento\_rango” (2019)

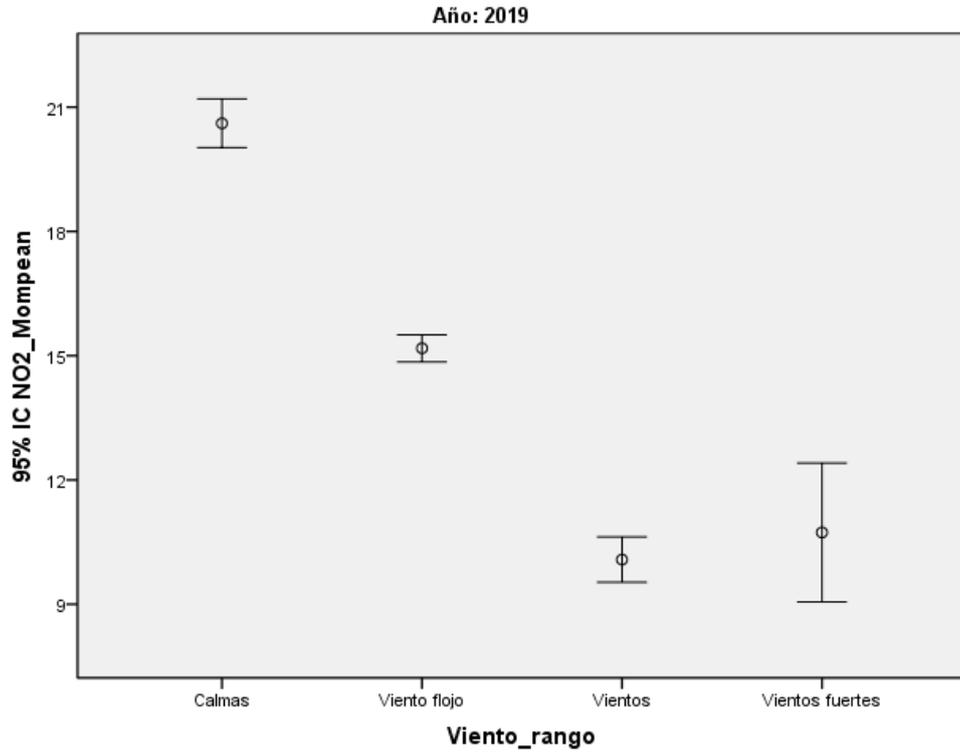


Figura 76: Barras de error NO<sub>2</sub> – Etiqueta “Viento\_rango” (2019)

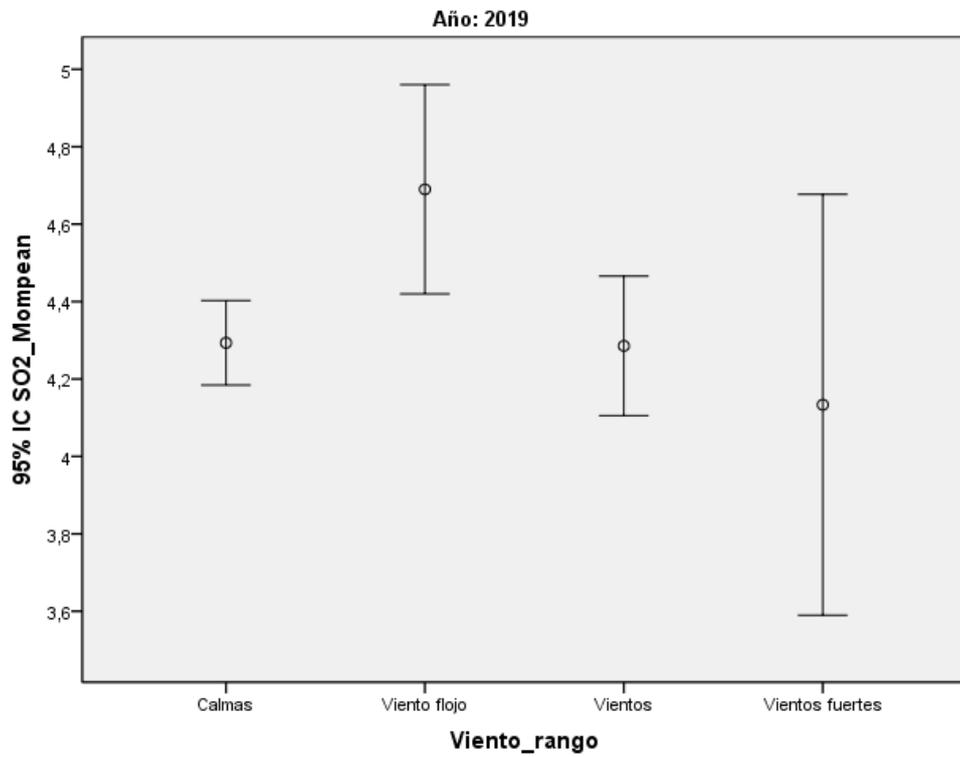


Figura 77: Barras de error SO<sub>2</sub> – Etiqueta “Viento\_rango” (2019)

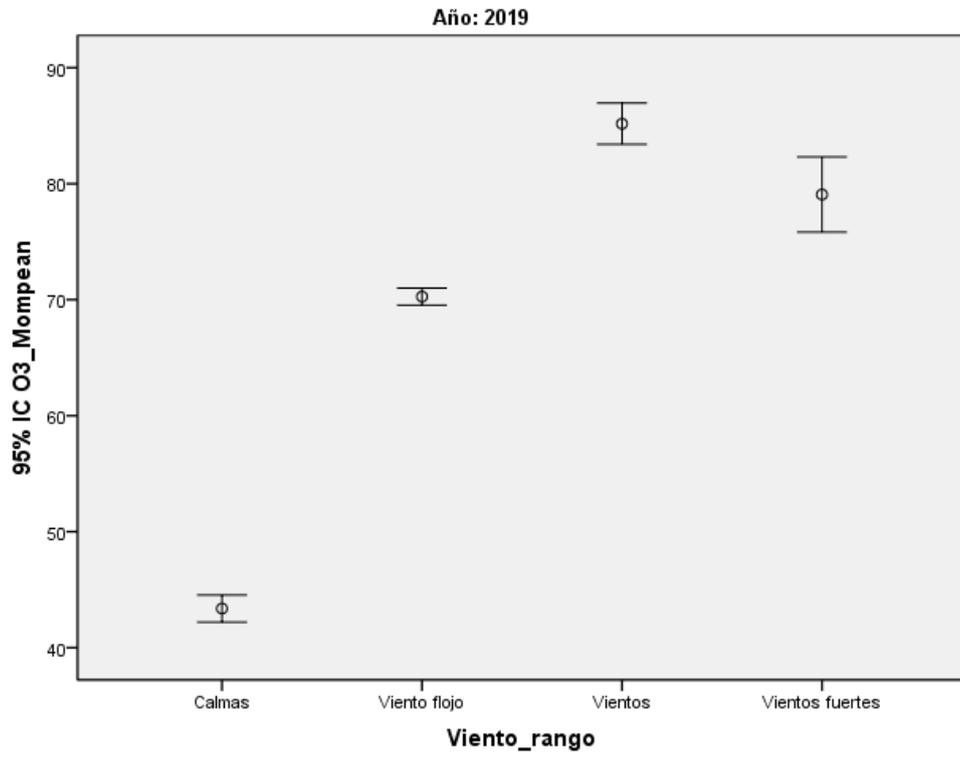


Figura 78: Barras de error O<sub>3</sub> – Etiqueta “Viento\_rango” (2019)

## 5.7. Influencia de cruceros en concentración de contaminantes

En este apartado se va a realizar la prueba U de Mann Whitney según las diferentes etiquetas de datos creadas en relación con el tráfico de cruceros.

### 5.7.1. Cruceros B

En la Tabla 17, Tabla 18, Tabla 19 y Tabla 20 se analizan los datos por año según la etiqueta "Cruceros B", que diferencia las horas en las que hay crucero y las que no lo hay.

a. 2018

Tabla 17: Rangos para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" (2018)

Rangos <sup>a</sup>				
	CrucerosB	N	Rango promedio	Suma de rangos
NO_Mompean	No hay crucero	6752	3807,98	25711506,00
	Sí hay crucero	999	4335,71	4331370,00
	Total	7751		
NO <sub>2</sub> _Mompean	No hay crucero	6752	3854,65	26026575,50
	Sí hay crucero	999	4020,32	4016300,50
	Total	7751		
SO <sub>2</sub> _Mompean	No hay crucero	7290	4161,16	30334860,00
	Sí hay crucero	1171	4665,78	5463631,00
	Total	8461		
O <sub>3</sub> _Mompean	No hay crucero	7490	4289,31	32126937,50
	Sí hay crucero	1173	4604,59	5401178,50
	Total	8663		
a. Año = 2018				

Tabla 18: Estadísticos de contraste para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" (2018)

Estadísticos de contraste <sup>a,b</sup>				
	NO_Mompean	NO <sub>2</sub> _Mompean	SO <sub>2</sub> _Mompean	O <sub>3</sub> _Mompean
U de Mann-Whitney	2913378,000	3228447,500	3759165,000	4073142,500
W de Wilcoxon	2,571E7	2,603E7	3,033E7	3,213E7
Z	-7,001	-2,185	-6,650	-4,015
Sig. asintót. (bilateral)	,000	,029	,000	,000
a. Año = 2018				
b. Variable de agrupación: CrucerosB				

Con un nivel de significación en todos los casos menor del 0,05 se puede rechazar la hipótesis nula para NO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>, por lo que se concluye con una significación del 95 % que los datos de concentración obtenidos cuando hay crucero y cuando no lo hay pertenecen a distribuciones de datos distintas.

En la Figura 79, Figura 80, Figura 81 y Figura 82 se muestran las barras de error para los distintos contaminantes:

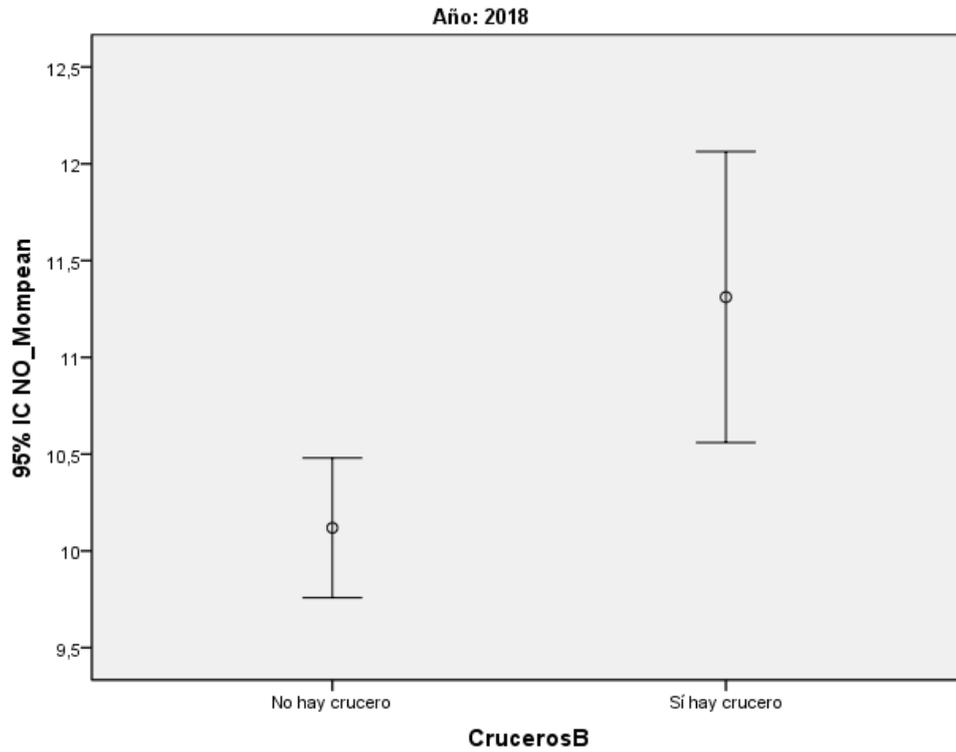


Figura 79: Barra de error NO - Etiqueta "Cruceros B" (2018)

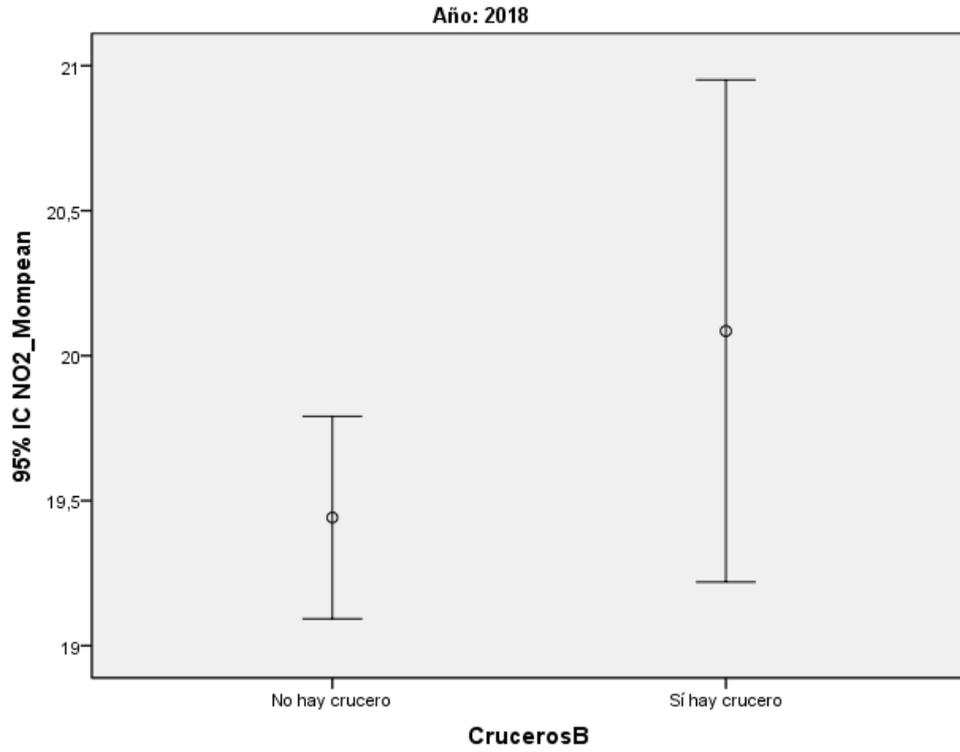


Figura 80: Barra de error NO<sub>2</sub> - Etiqueta "Cruceros B" (2018)

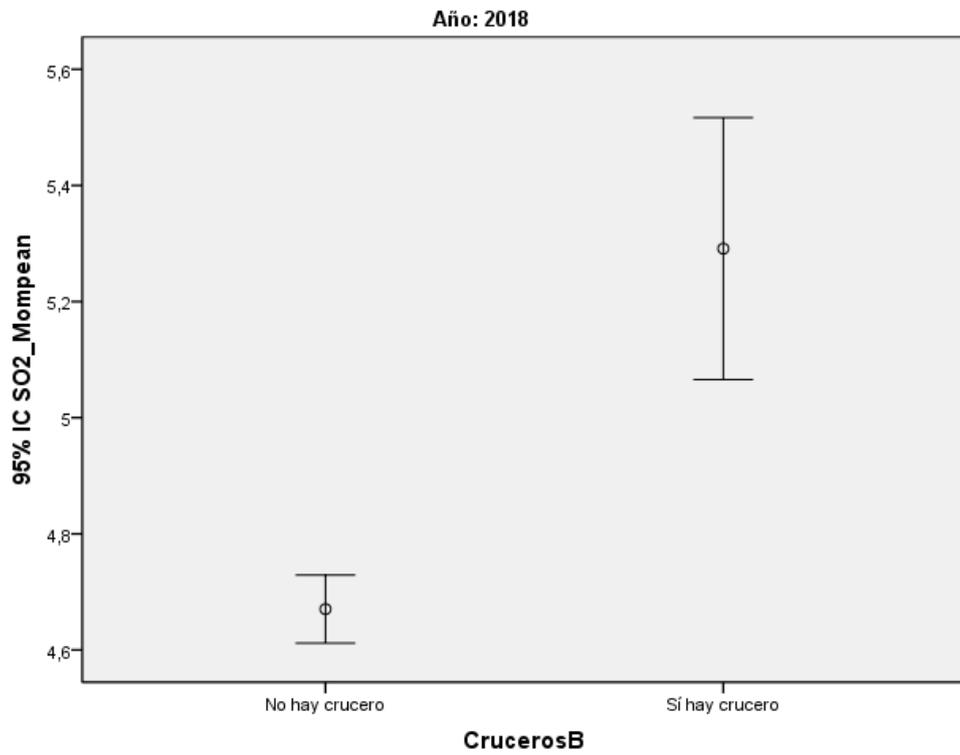


Figura 81: Barra de error SO<sub>2</sub> - Etiqueta "Cruceros B" (2018)

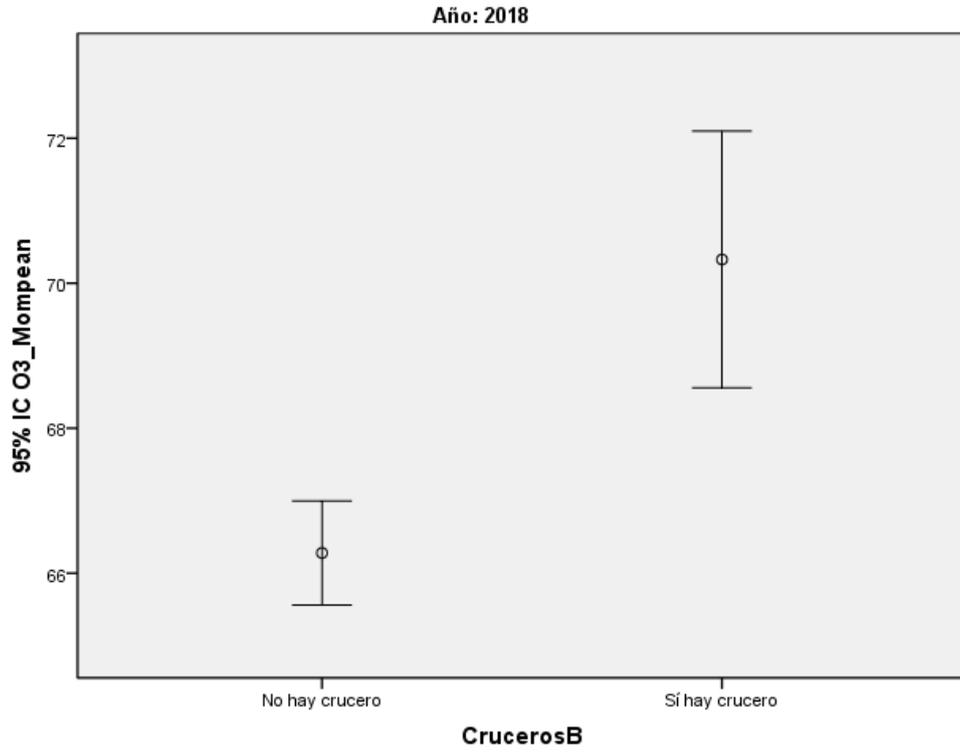


Figura 82: Barra de error O<sub>3</sub> - Etiqueta "Cruceros B" (2018)

b. 2019

Tabla 19: Rangos para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" (2019)

Rangos <sup>a</sup>				
	CrucerosB	N	Rango promedio	Suma de rangos
NO_Mompean	No hay crucero	7400	4084,87	30228014,50
	Sí hay crucero	1241	5729,05	7109746,50
	Total	8641		
NO <sub>2</sub> _Mompean	No hay crucero	7398	4190,52	31001436,50
	Sí hay crucero	1241	5091,90	6319043,50
	Total	8639		
SO <sub>2</sub> _Mompean	No hay crucero	7289	4255,06	31015137,00
	Sí hay crucero	1236	4309,82	5326938,00
	Total	8525		
O <sub>3</sub> _Mompean	No hay crucero	7307	4274,64	31234785,00
	Sí hay crucero	1209	4160,96	5030601,00
	Total	8516		
a. Año = 2019				

Tabla 20: Estadísticos de contraste para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" (2019)

Estadísticos de contraste <sup>a,b</sup>				
	NO_Mompean	NO <sub>2</sub> _Mompean	SO <sub>2</sub> _Mompean	O <sub>3</sub> _Mompean
U de Mann-Whitney	2844314,500	3632535,500	4446732,000	4299156,000
W de Wilcoxon	3,023E7	3,100E7	3,102E7	5030601,000
Z	-21,824	-11,795	-,733	-1,489
Sig. asintót. (bilateral)	,000	,000	,463	,136
a. Año = 2019				
b. Variable de agrupación: CrucerosB				

Con un nivel de significación menor del 0,05 se puede rechazar la hipótesis nula para los óxidos de nitrógeno, por lo que se concluye con una significación del 95 % que los datos obtenidos en 2019 cuando hay crucero y cuando no lo hay pertenecen a distribuciones de datos distintas. Sin embargo, para el SO<sub>2</sub> y el O<sub>3</sub> no se puede rechazar esta hipótesis nula y no se puede afirmar que existan diferencias con significación estadísticas.

En la Figura 83, Figura 84, Figura 85 y Figura 86 se muestran las barras de error para los distintos contaminantes:

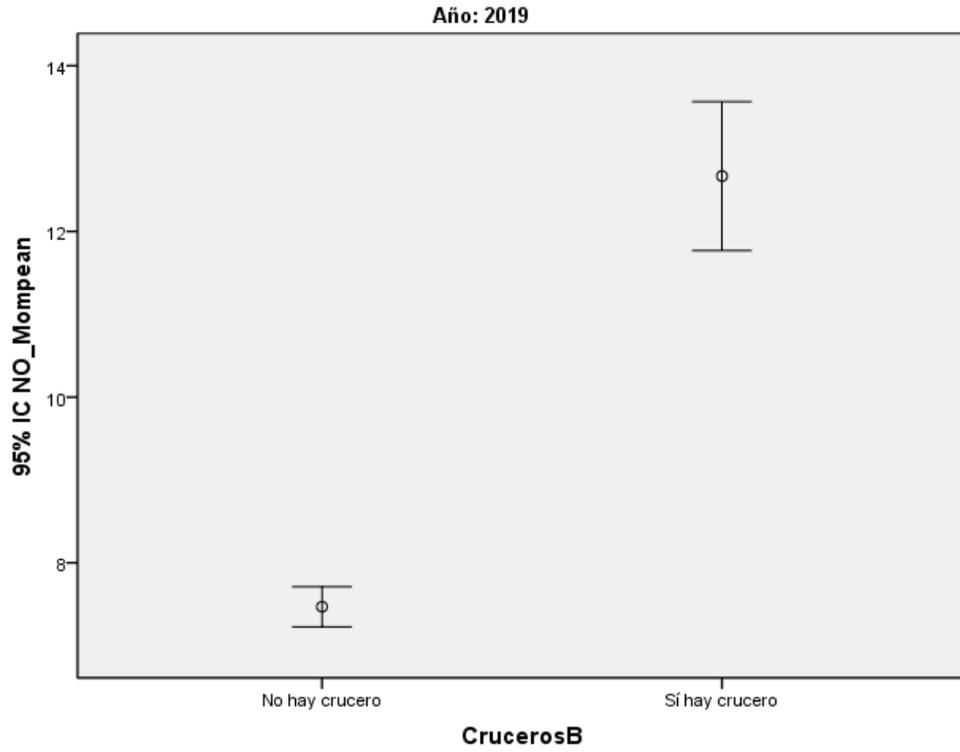


Figura 83: Barra de error NO - Etiqueta "Cruceros B" (2019)

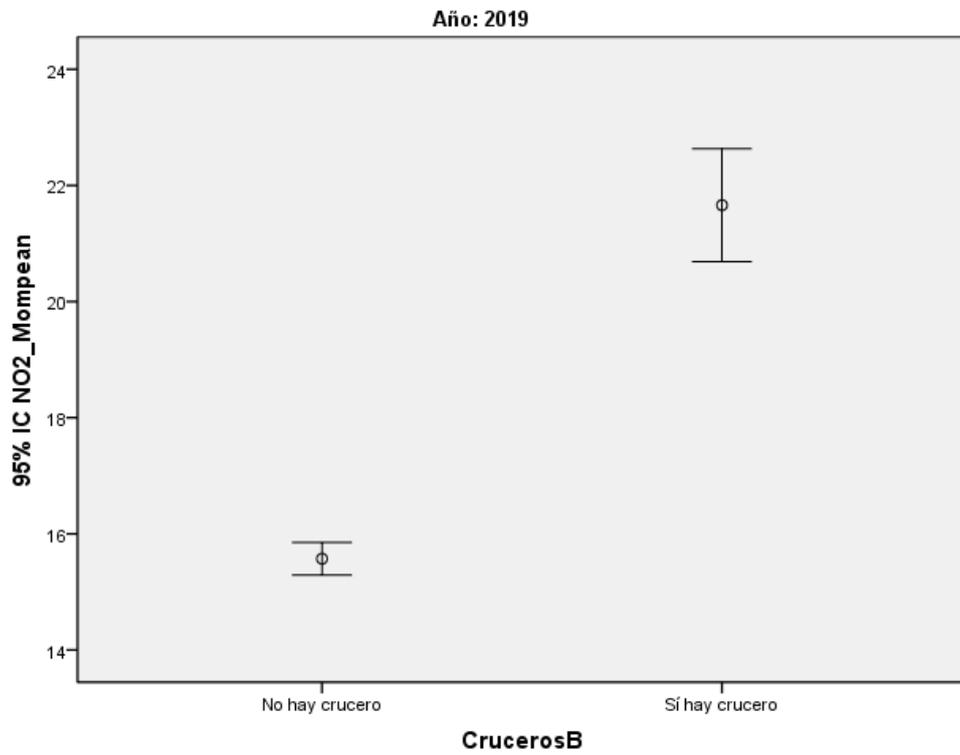


Figura 84: Barra de error NO<sub>2</sub> - Etiqueta "Cruceros B" (2019)

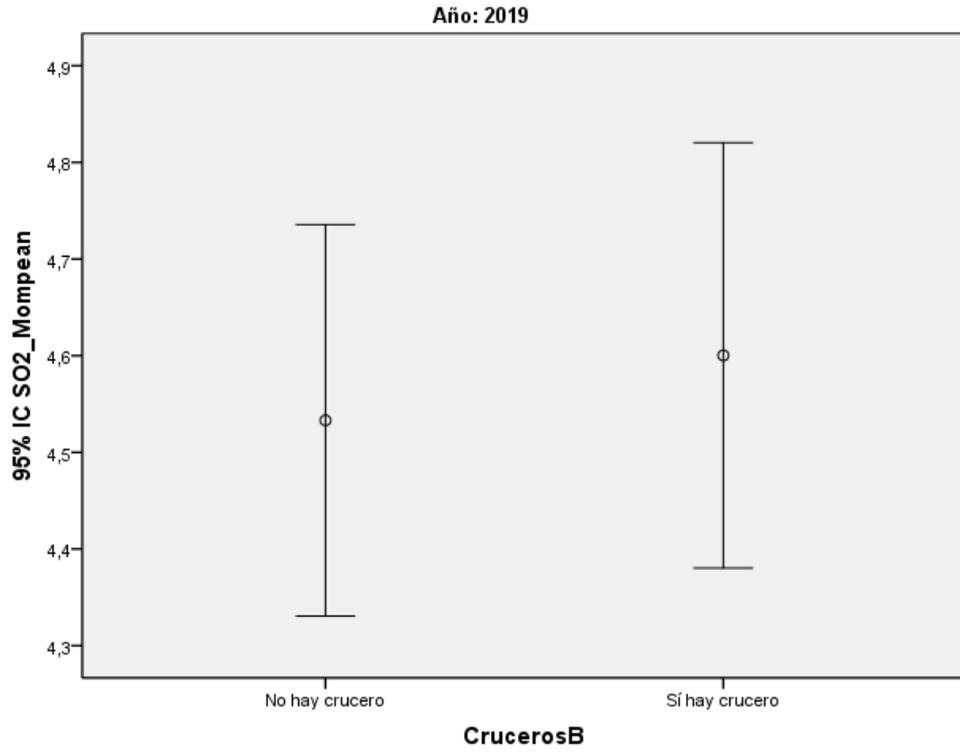


Figura 85: Barra de error SO<sub>2</sub> - Etiqueta "Cruceros B" (2019)

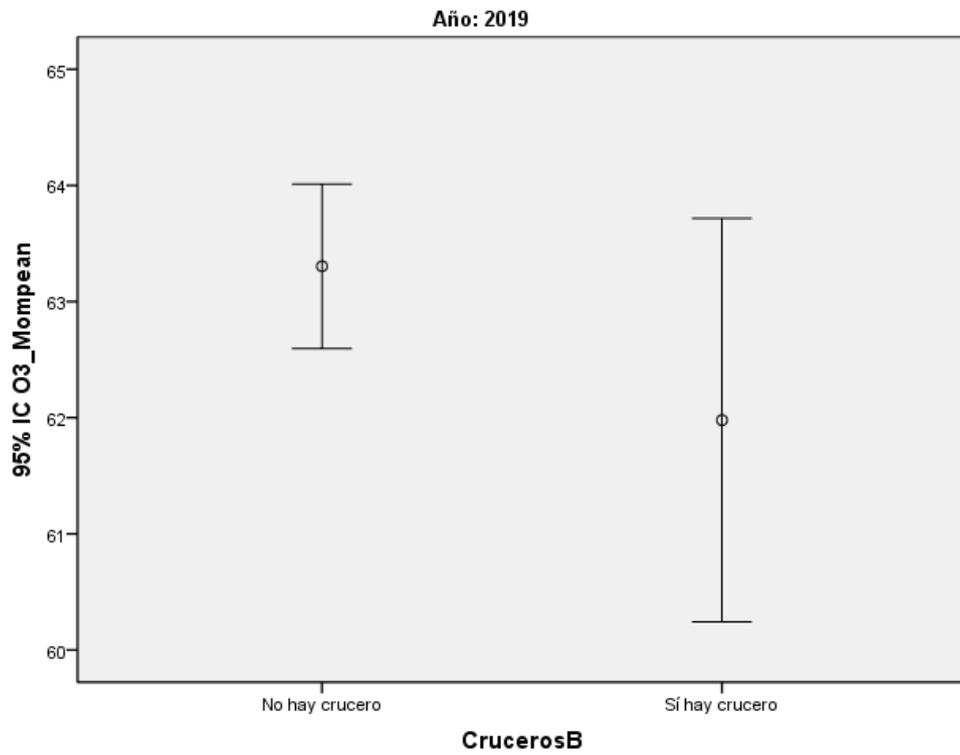


Figura 86: Barra de error O<sub>3</sub> - Etiqueta "Cruceros B" (2019)

Este estudio de datos, sin embargo, podría verse afectado por multitud de factores adicionales al comparar todos los rangos horarios entre sí. En vista de esta problemática se procede a hacer un estudio enfocado en un horario más concreto de llegada de cruceros. El horario estudiado será de 7:00 h a 19:00 h, donde se concentran la mayoría de los estacionamientos de cruceros.

### 5.7.2. Cruceros B con restricción horaria

Se va a centrar el estudio en el horario de mayor afluencia de cruceros: de 7:00 h a 19:00 h, para aislar en la medida de lo posible otros factores que afecten a la concentración de contaminantes. En la Tabla 21 y la Tabla 22 se muestran los resultados de 2018; mientras que en la Tabla 23 y la Tabla 24 se recogen los de 2019.

a. 2018

Tabla 21: Rangos para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" de 7 h a 19 h (2018)

Rangos <sup>a</sup>				
	CrucerosB	N	Rango promedio	Suma de rangos
NO_Mompean	No hay crucero	3211	2096,81	6732862,50
	Sí hay crucero	977	2086,90	2038903,50
	Total	4188		
NO <sub>2</sub> _Mompean	No hay crucero	3211	2102,72	6751819,00
	Sí hay crucero	977	2067,50	2019947,00
	Total	4188		
SO <sub>2</sub> _Mompean	No hay crucero	3425	2233,84	7650918,50
	Sí hay crucero	1149	2447,44	2812106,50
	Total	4574		
O <sub>3</sub> _Mompean	No hay crucero	3531	2326,36	8214376,00
	Sí hay crucero	1151	2387,95	2748527,00
	Total	4682		
a. Año = 2018				

Tabla 22: Estadísticos de contraste para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" de 7 h a 19 h (2018)

Estadísticos de contraste <sup>a,b</sup>				
	NO_Mompean	NO <sub>2</sub> _Mompean	SO <sub>2</sub> _Mompean	O <sub>3</sub> _Mompean
U de Mann-Whitney	1561150,500	1542194,000	1783893,500	1978630,000
W de Wilcoxon	2038903,500	2019947,000	7650918,500	8214376,000
Z	-,225	-,798	-4,802	-1,342
Sig. asintót. (bilateral)	,822	,425	,000	,179
a. Año = 2018				
b. Variable de agrupación: CrucerosB				

Con un nivel de significación de 0,000 el único contaminante para el que se puede rechazar la hipótesis nula del contraste de hipótesis es el  $\text{SO}_2$ , mientras que para los óxidos de nitrógeno y el ozono no existe una diferencia estadística significativa. En la Figura 87, Figura 88, Figura 89 y Figura 90 se muestran las barras de error para las distintas muestras:

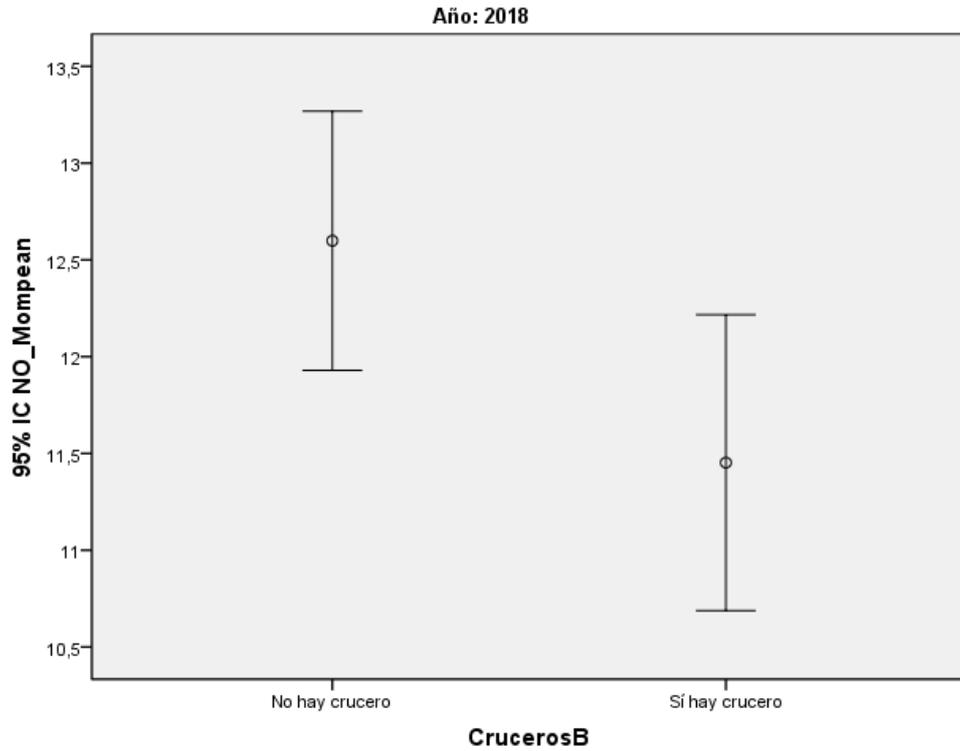


Figura 87: Barra de error NO - Etiqueta "Cruceros B", 7 h -19 h (2018)

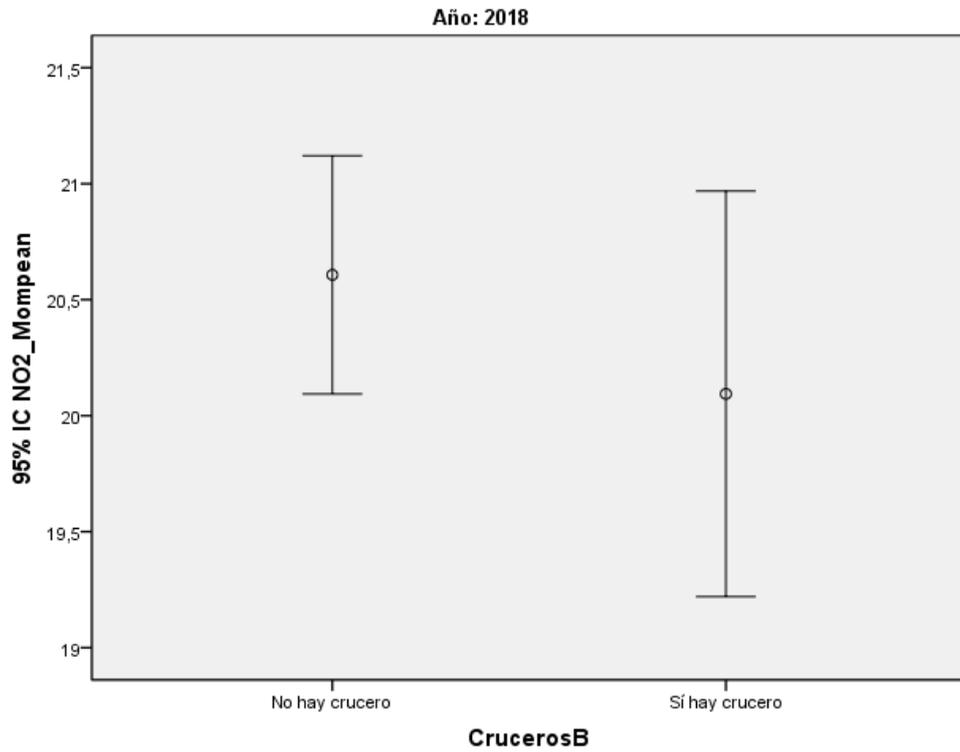


Figura 88: Barra de error NO<sub>2</sub> - Etiqueta "Cruceros B", 7 h -19 h (2018)

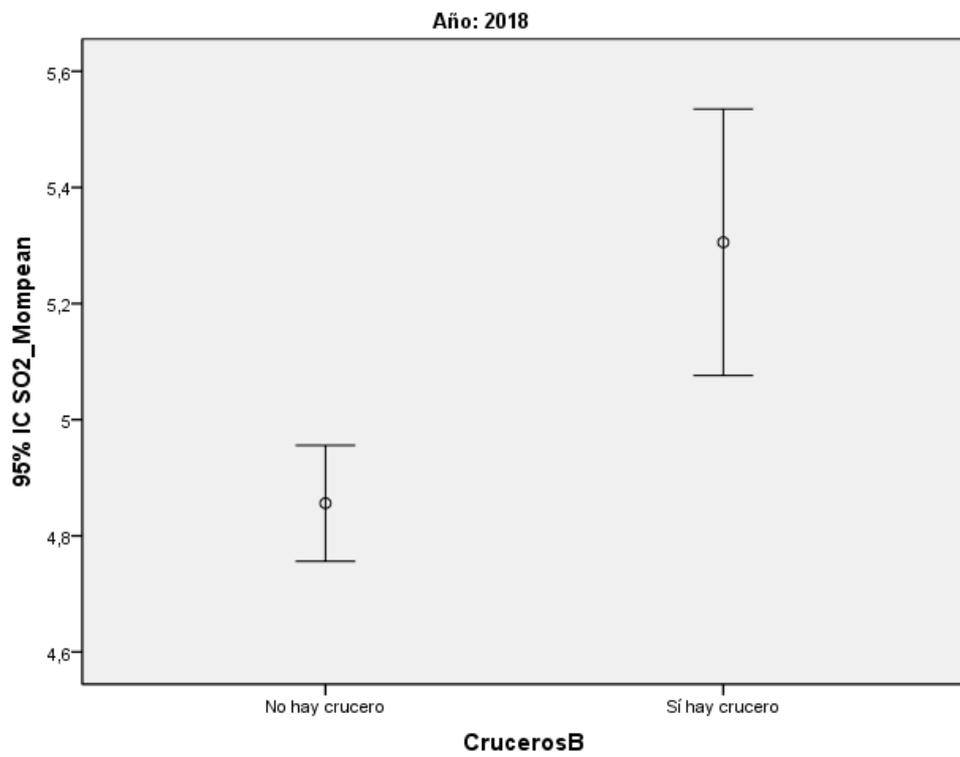


Figura 89: Barra de error SO<sub>2</sub> - Etiqueta "Cruceros B", 7 h -19 h (2018)

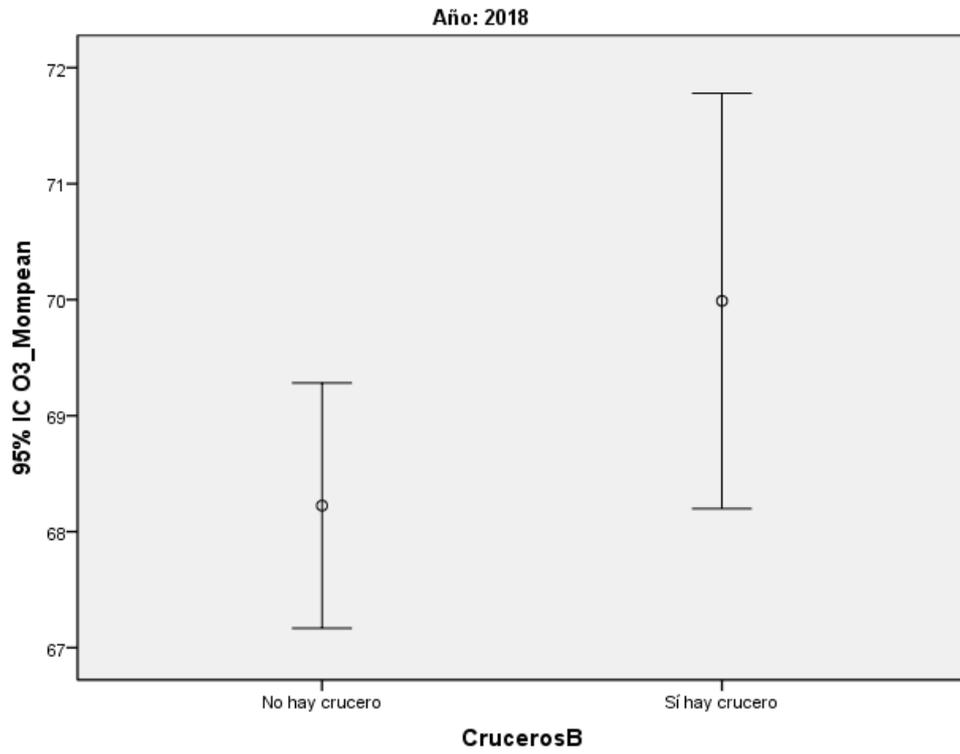


Figura 90: Barra de error O<sub>3</sub> - Etiqueta "Cruceros B", 7 h -19 h (2018)

b. 2019

Tabla 23: Rangos para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" de 7 h a 19 h (2019)

Rangos <sup>a</sup>				
	CrucerosB	N	Rango promedio	Suma de rangos
NO_Mompean	No hay crucero	3465	2193,27	7599669,00
	Sí hay crucero	1209	2750,87	3325806,00
	Total	4674		
NO <sub>2</sub> _Mompean	No hay crucero	3464	2208,59	7650553,50
	Sí hay crucero	1209	2704,92	3270247,50
	Total	4673		
SO <sub>2</sub> _Mompean	No hay crucero	3405	2319,10	7896545,50
	Sí hay crucero	1204	2265,12	2727199,50
	Total	4609		
O <sub>3</sub> _Mompean	No hay crucero	3433	2362,12	8109161,50
	Sí hay crucero	1177	2140,35	2519193,50
	Total	4610		
a. Año = 2019				

Tabla 24: Estadísticos de contraste para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" de 7 h a 19 h (2019)

Estadísticos de contraste <sup>a,b</sup>				
	NO_Mompean	NO <sub>2</sub> _Mompean	SO <sub>2</sub> _Mompean	O <sub>3</sub> _Mompean
U de Mann-Whitney	1594824,000	1649173,500	2001789,500	1825940,500
W de Wilcoxon	7599669,000	7650553,500	2727199,500	2519193,500
Z	-12,481	-11,024	-1,225	-4,933
Sig. asintót. (bilateral)	,000	,000	,221	,000
a. Año = 2019				
b. Variable de agrupación: CrucerosB				

En 2019 con un nivel de significación de 0,000 se puede rechazar la hipótesis nula del contraste de hipótesis para el NO, NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>; mientras que no existe una diferencia estadística significativa para el SO<sub>2</sub>. En la Figura 91, Figura 92, Figura 93 y Figura 94 se muestran las barras de error para las distintas muestras:

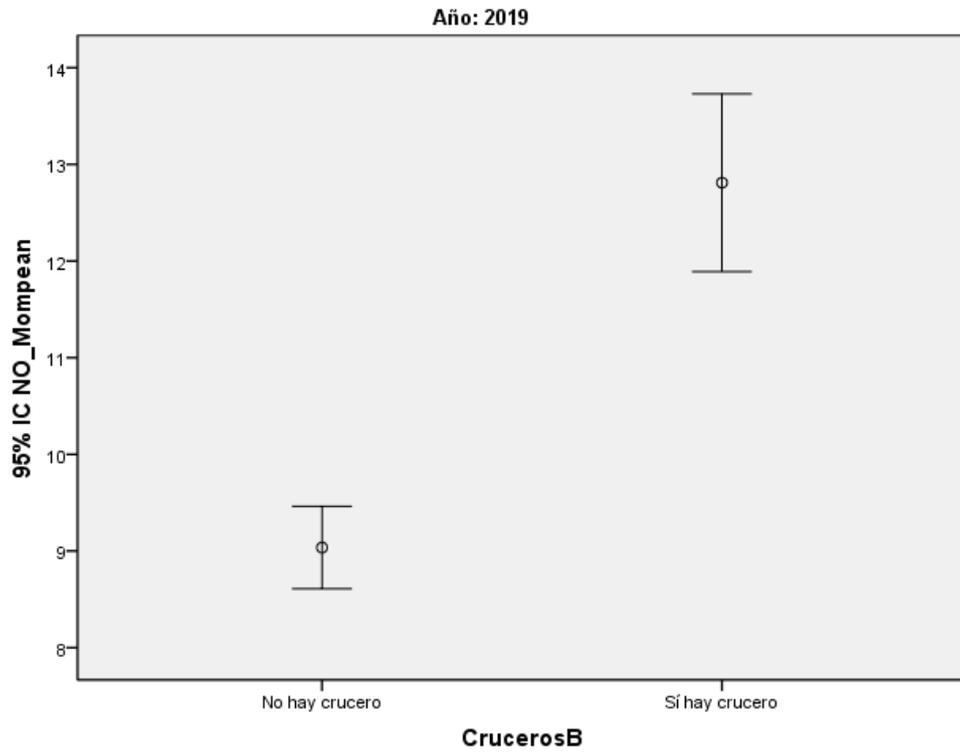


Figura 91: Barra de error NO - Etiqueta "Cruceros B", 7 h -19 h (2019)

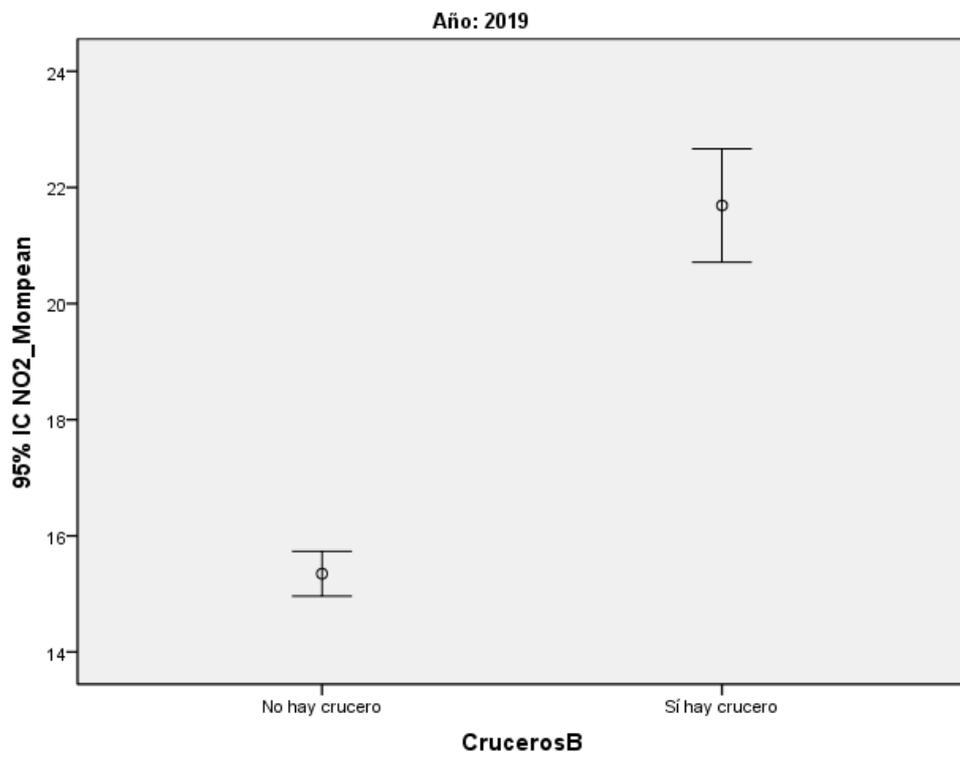


Figura 92: Barra de error NO<sub>2</sub> - Etiqueta "Cruceros B", 7 h -19 h (2019)

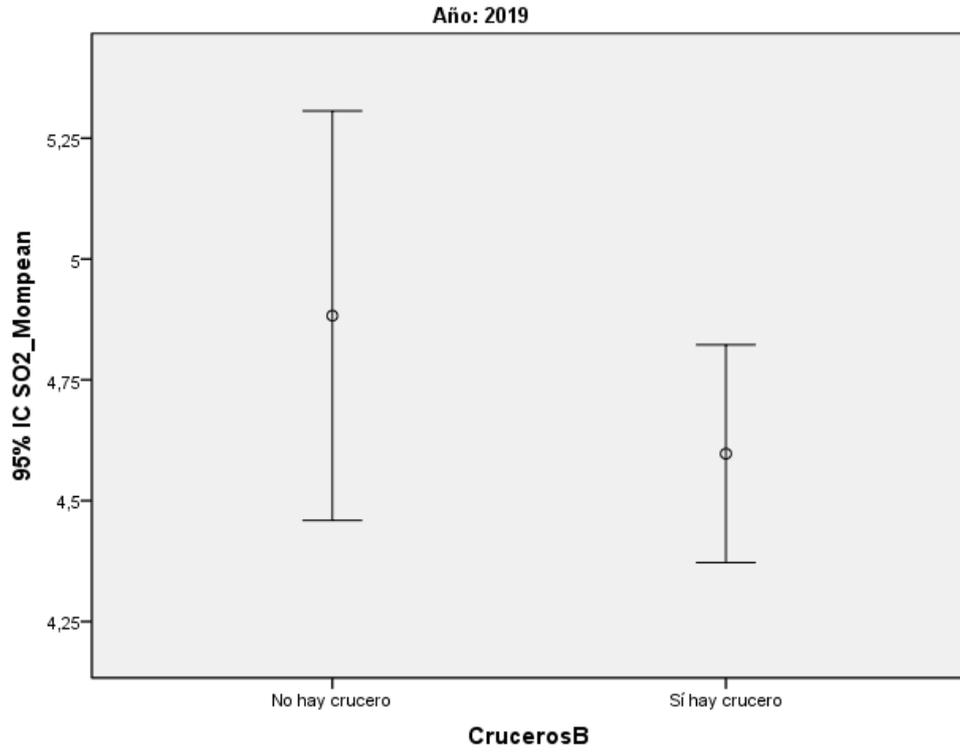


Figura 93: Barra de error SO<sub>2</sub> - Etiqueta "Cruceros B", 7 h -19 h (2019)

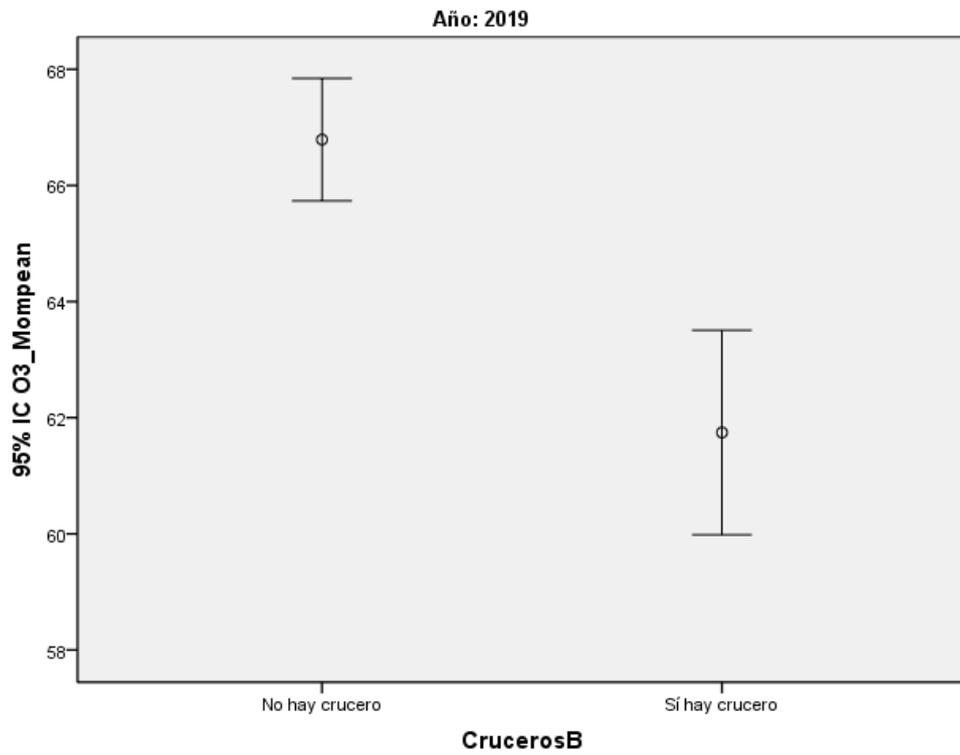


Figura 94: Barra de error O<sub>3</sub> - Etiqueta "Cruceros B", 7 h -19 h (2019)

### 5.7.3. Cruceros B con restricción horaria. Evolución horaria.

Se va a realizar un estudio más detallado de la diferencia entre contaminantes por horas. En la Figura 95, Figura 96, Figura 97 y Figura 98 se muestran las barras de error del año 2018, y en la Figura 99, Figura 100, Figura 101 y Figura 102 se muestran las barras de error de 2019. En la Tabla 25 y Tabla 26 se recogen los resultados de los contrastes de hipótesis según la etiqueta “Cruceros B” para cada hora en el intervalo de horas de 7:00 h a 19:00 h. Cualquier valor por debajo de 0,05 implica con un 95 % de significación que existen diferencias estadísticas significativas entre los datos de contaminantes cuando hay crucero y cuando no.

a. 2018

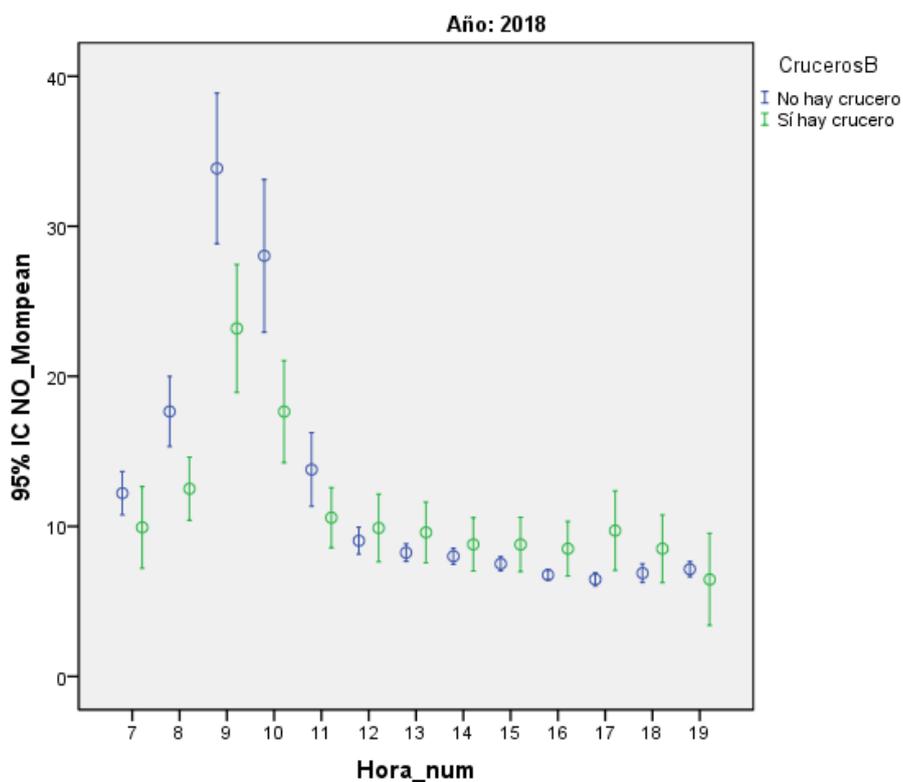


Figura 95: Barra de error NO por horas - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2018)

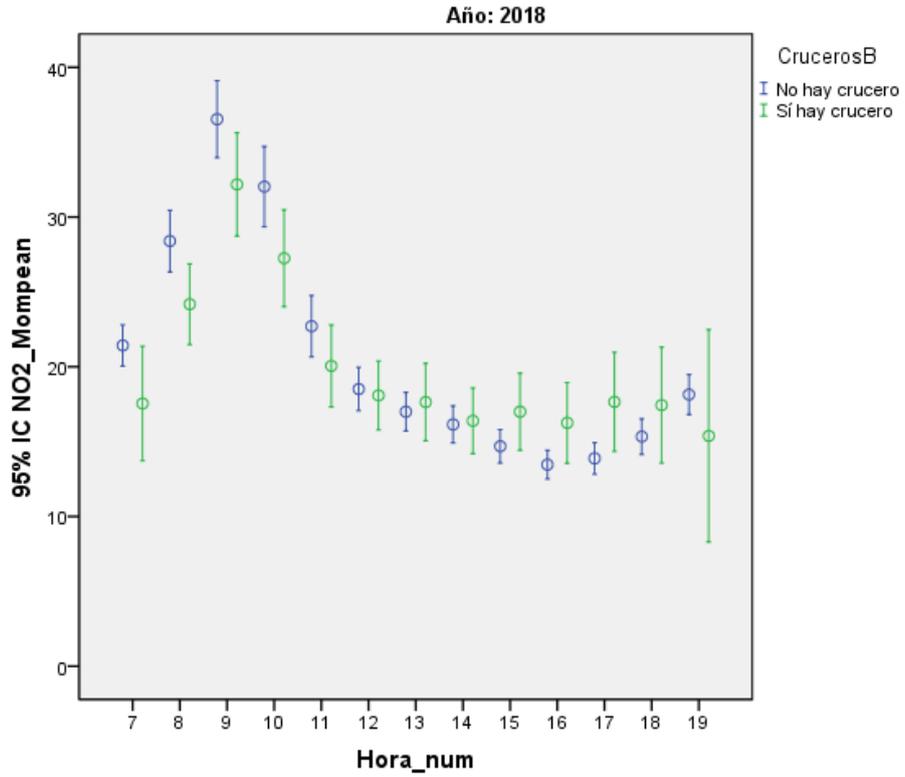


Figura 96: Barra de error NO<sub>2</sub> por horas - Etiqueta "Cruceros B", 7 h -19 h (2018)

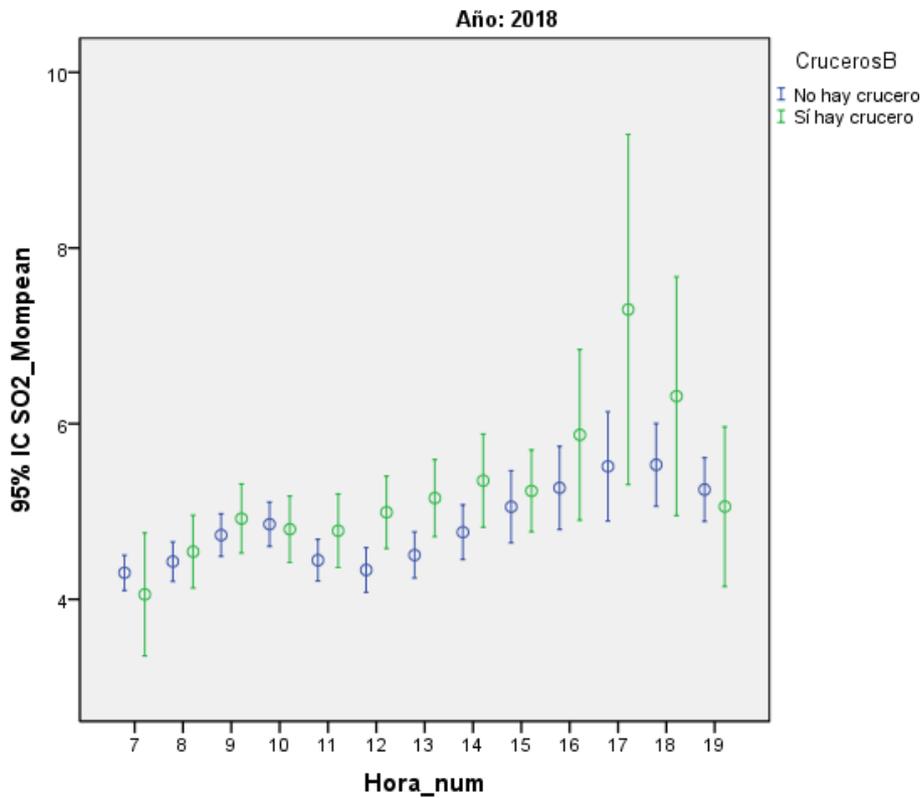


Figura 97: Barra de error SO<sub>2</sub> por horas - Etiqueta "Cruceros B", 7 h -19 h (2018)

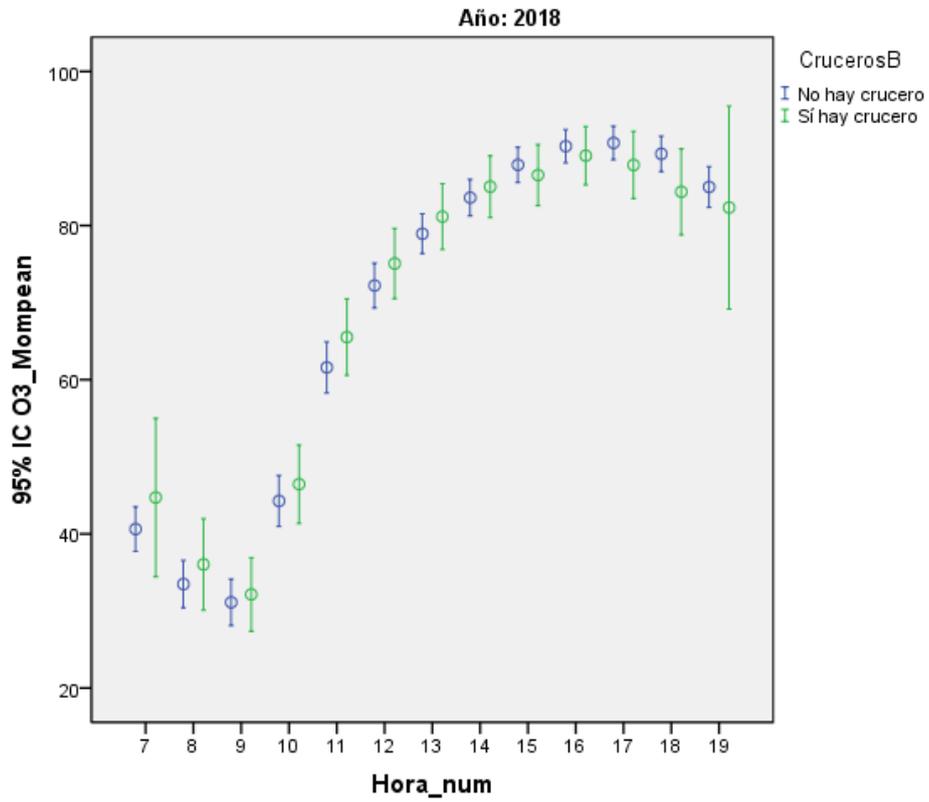


Figura 98: Barra de error O<sub>3</sub> por horas - Etiqueta "Cruceros B", 7 h -19 h (2018)

Tabla 25: Prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" por horas de 7 h a 19 h (2018)

	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
NO	0.524	0.435	0.236	0.309	0.262	0.545	0.328	0.207	0.303	0.796	0.142	0.990	0.119
NO <sub>2</sub>	0.088	0.279	0.163	0.218	0.196	0.589	0.581	0.582	0.755	0.696	0.403	0.951	0.146
SO <sub>2</sub>	0.281	0.575	0.353	0.889	0.263	<b>0.004</b>	<b>0.011</b>	<b>0.019</b>	0.154	0.176	<b>0.042</b>	0.207	0.595
O <sub>3</sub>	0.534	0.393	0.436	0.460	0.246	0.242	0.323	0.399	0.678	0.778	0.339	0.129	0.620

b. 2019

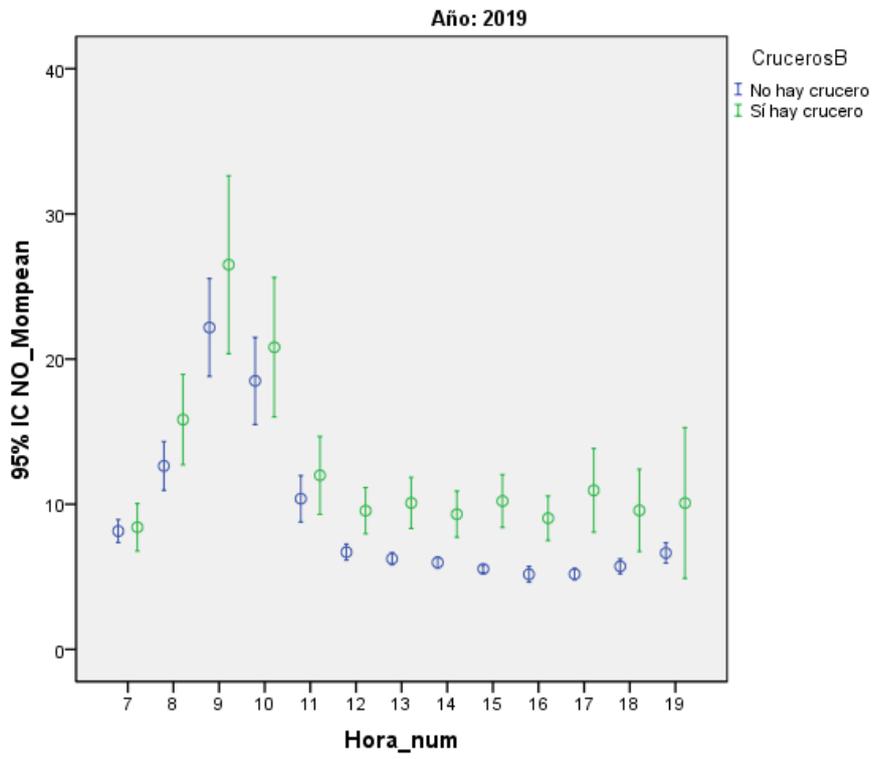


Figura 99: Barra de error NO por horas - Etiqueta "Cruceros B", 7 h -19 h (2019)

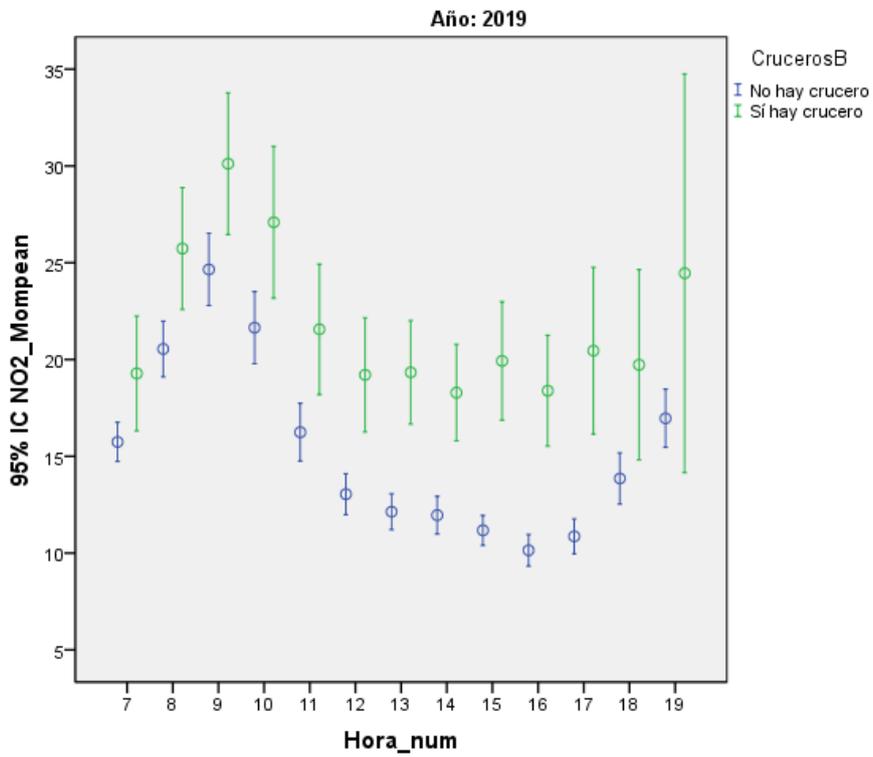


Figura 100: Barra de error NO<sub>2</sub> por horas - Etiqueta "Cruceros B", 7 h -19 h (2019)

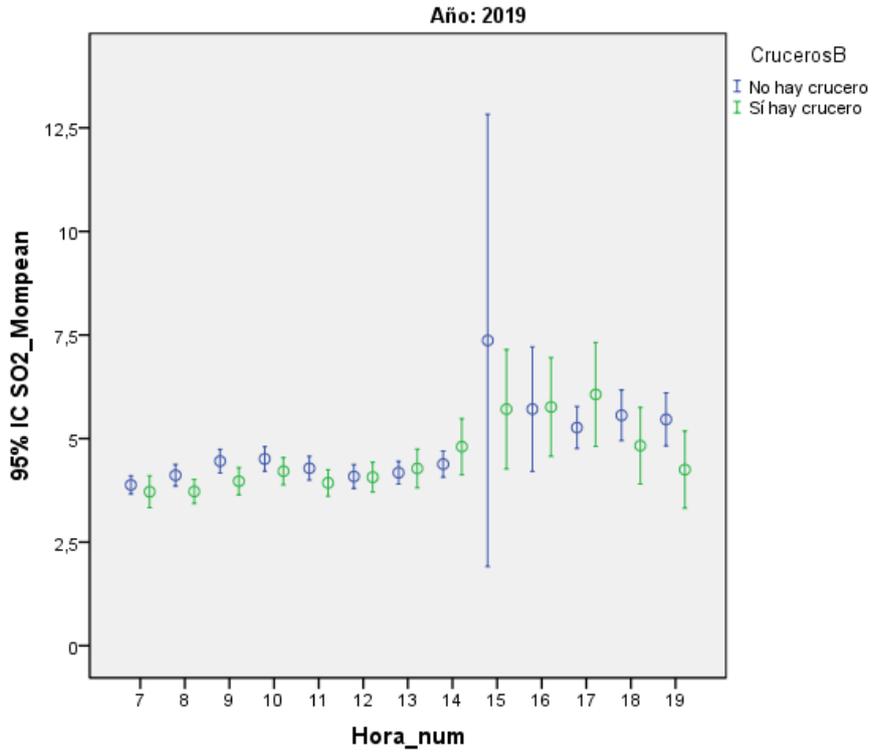


Figura 101: Barra de error SO<sub>2</sub> por horas - Etiqueta "Cruceros B", 7 h -19 h (2019)

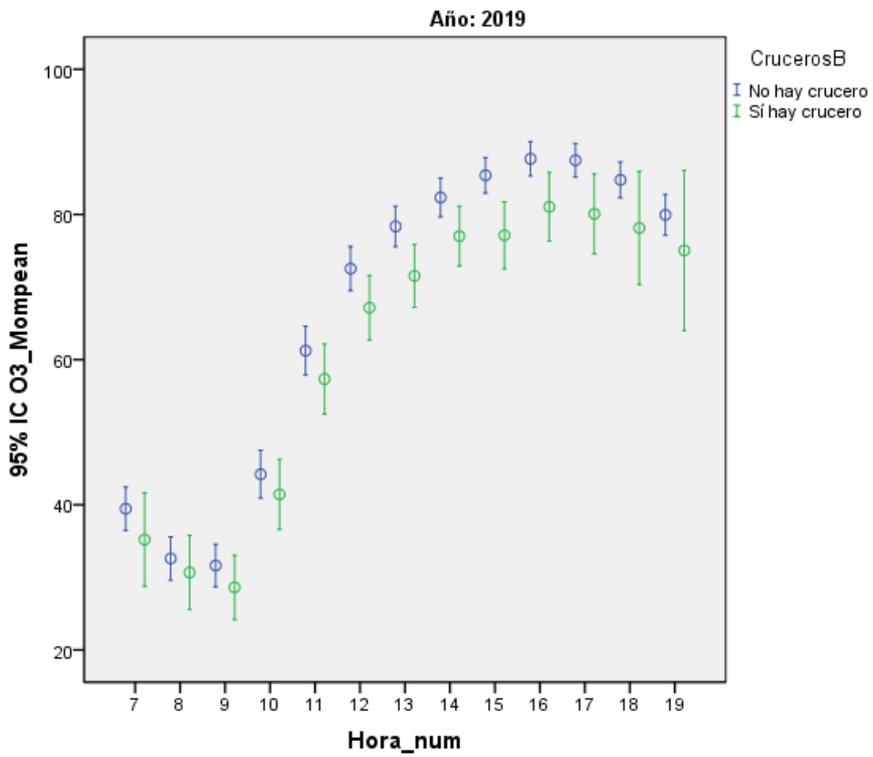


Figura 102: Barra de error O<sub>3</sub> por horas - Etiqueta "Cruceros B", 7 h -19 h (2019)

Tabla 26: Prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" por horas de 7 h a 19 h (2019)

	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
NO	0.441	0.053	0.070	0.109	0.055	<b>0.002</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.002</b>	0.142
NO <sub>2</sub>	<b>0.035</b>	<b>0.007</b>	<b>0.021</b>	0.083	<b>0.025</b>	<b>0.003</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.000</b>	<b>0.001</b>	<b>0.043</b>	0.227
SO <sub>2</sub>	0.875	0.345	0.156	0.550	0.296	0.694	0.885	0.351	0.618	0.867	0.532	0.436	0.365
O <sub>3</sub>	0.359	0.418	0.409	0.357	0.168	0.052	<b>0.012</b>	0.058	<b>0.007</b>	<b>0.045</b>	0.090	0.218	0.354

#### 5.7.4. Cruceros B con restricción horaria. Evolución diaria.

Manteniendo la restricción horaria se va representar según esta etiqueta también a lo largo de los días de la semana. Se muestran en la Figura 103, Figura 104, Figura 105 y Figura 106 las barras de error de 2018 de las distintas muestras; y en la Figura 107, Figura 108, Figura 109 y Figura 110 las barras de error de 2019. En la Tabla 27 y Tabla 28 se recogen los resultados de los contrastes de hipótesis según la etiqueta “Cruceros B” para cada día de la semana. Cualquier valor por debajo de 0,05 implica con un 95 % de significación que existen diferencias estadísticas significativas entre los datos de contaminantes cuando hay crucero y cuando no lo hay.

a. 2018

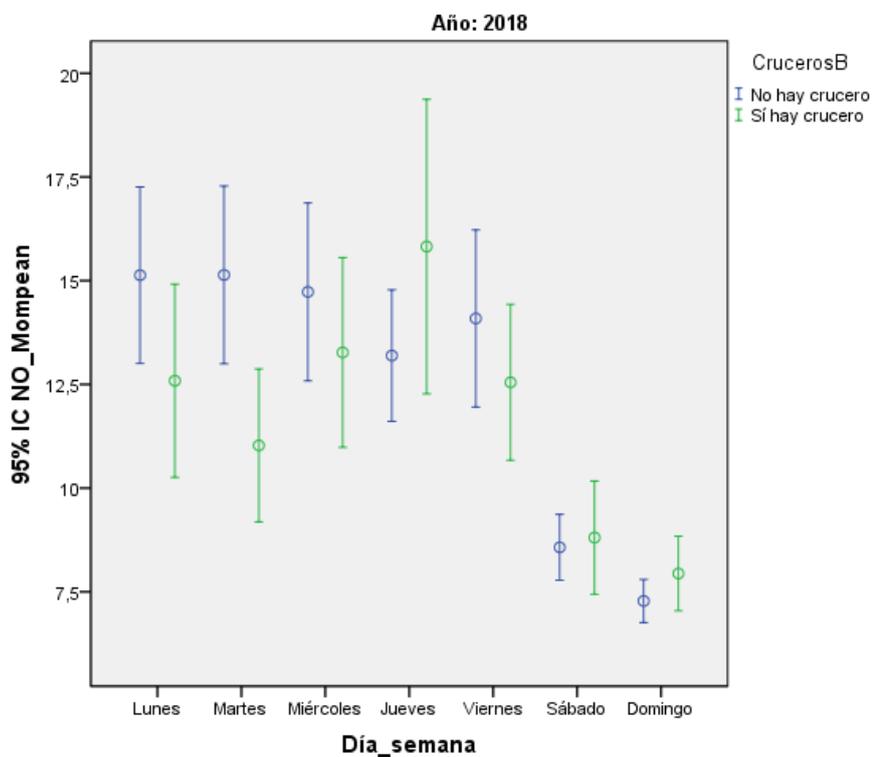


Figura 103: Barra de error NO por días - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2018)

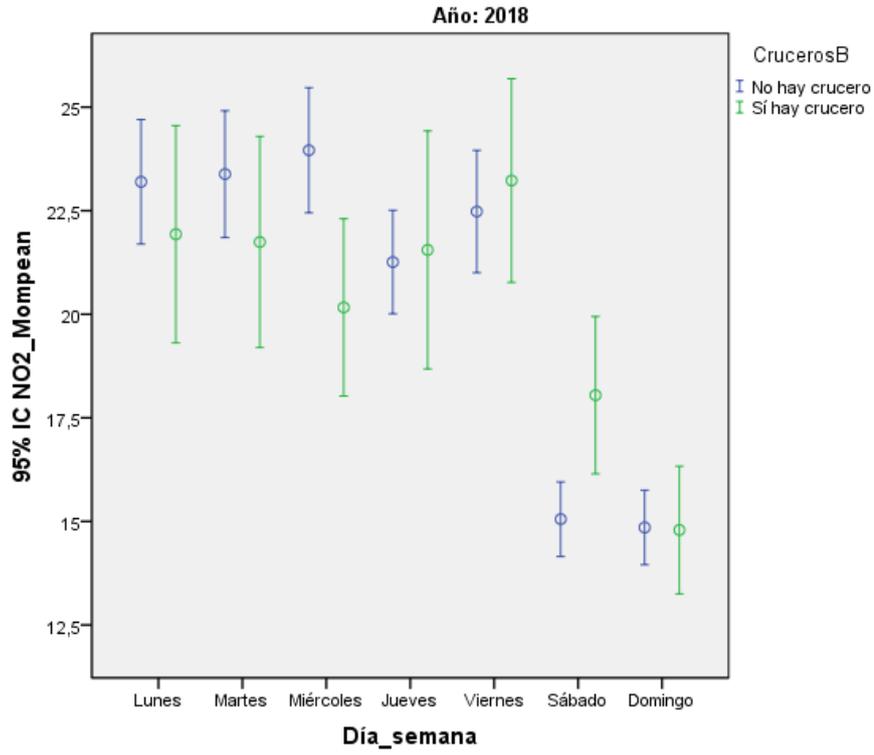


Figura 104: Barra de error NO<sub>2</sub> por días - Etiqueta "Cruceros B", 7 h -19 h (2018)

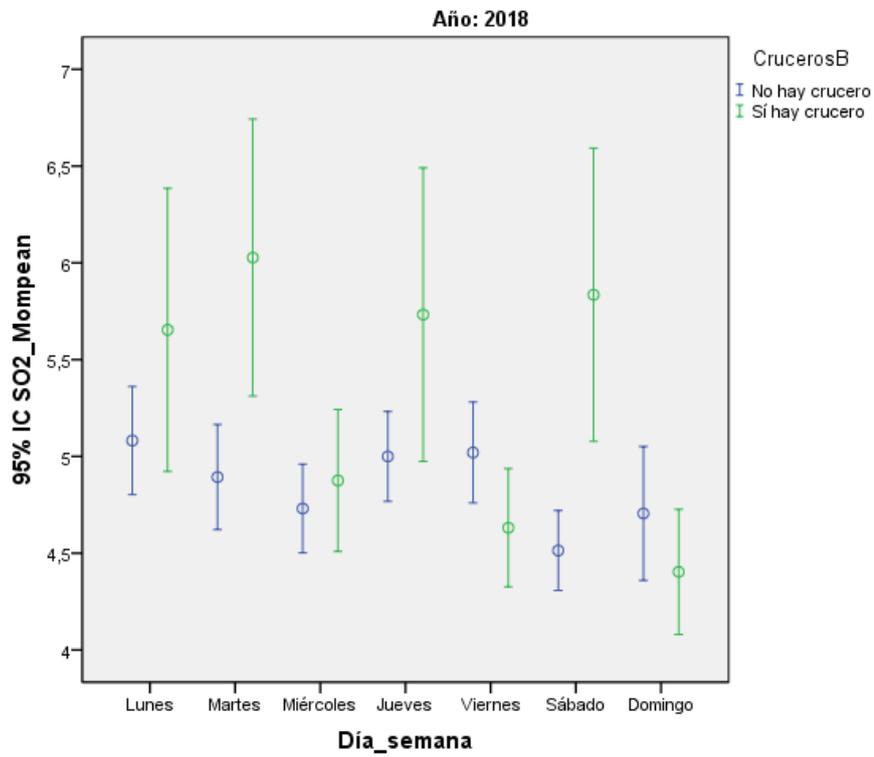


Figura 105: Barra de error SO<sub>2</sub> por días - Etiqueta "Cruceros B", 7 h -19 h (2018)

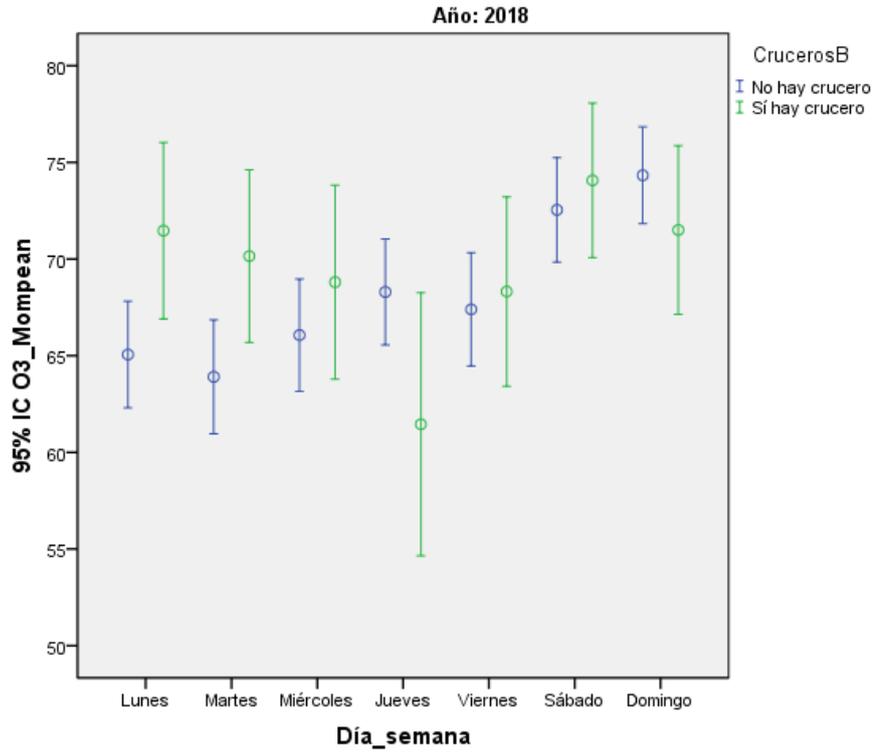


Figura 106: Barra de error O<sub>3</sub> por días - Etiqueta "Cruceros B", 7 h -19 h (2018)

Tabla 27: Prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" por días con restricción horaria (2018)

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
NO	<b>0,062</b>	0,150	0,831	0,077	0,196	0,631	0,294
NO <sub>2</sub>	0,123	0,448	<b>0,006</b>	0,845	0,310	<b>0,009</b>	0,969
SO <sub>2</sub>	<b>0,018</b>	<b>0,001</b>	0,285	0,212	0,236	<b>0,000</b>	0,828
O <sub>3</sub>	0,067	<b>0,032</b>	0,266	0,070	0,806	0,781	0,222

b. 2019

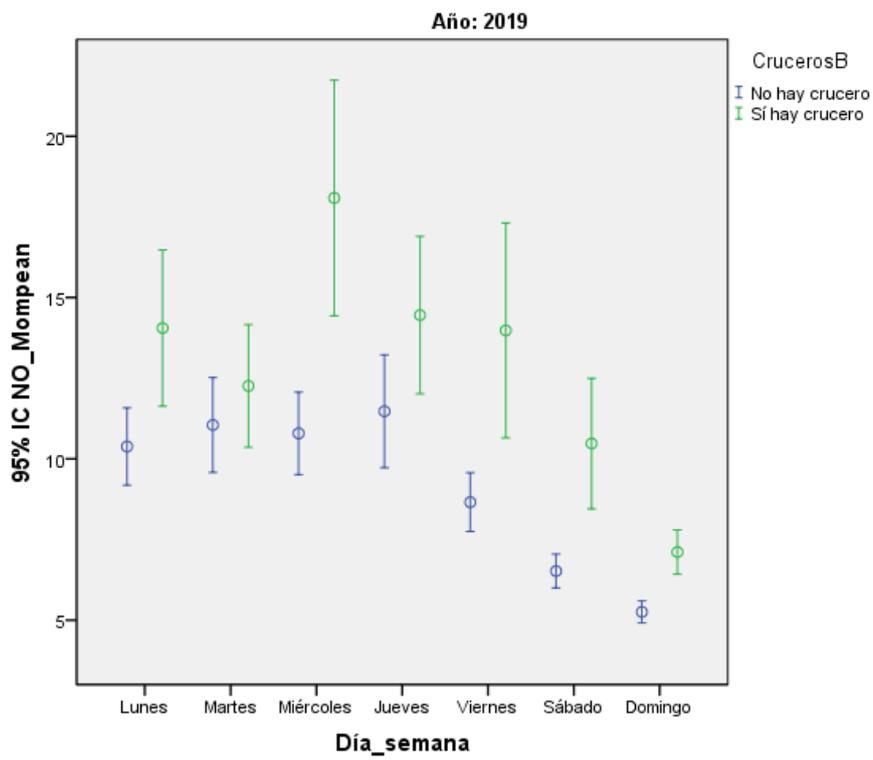


Figura 107: Barra de error NO por días - Etiqueta "Cruceros B", 7 h -19 h (2019)

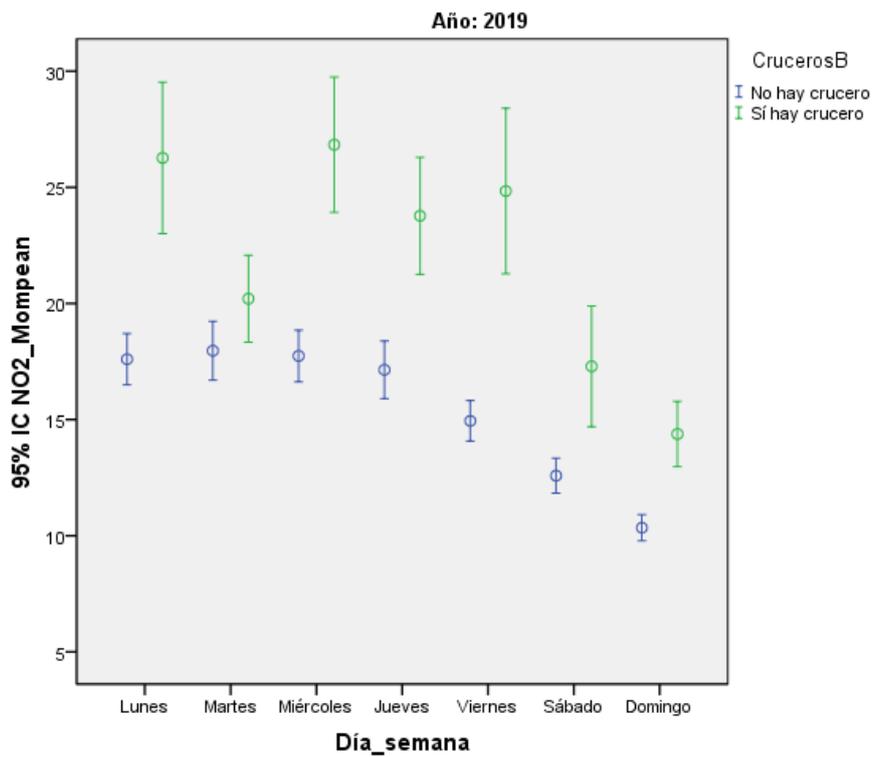


Figura 108: Barra de error NO<sub>2</sub> por días - Etiqueta "Cruceros B", 7 h -19 h (2019)

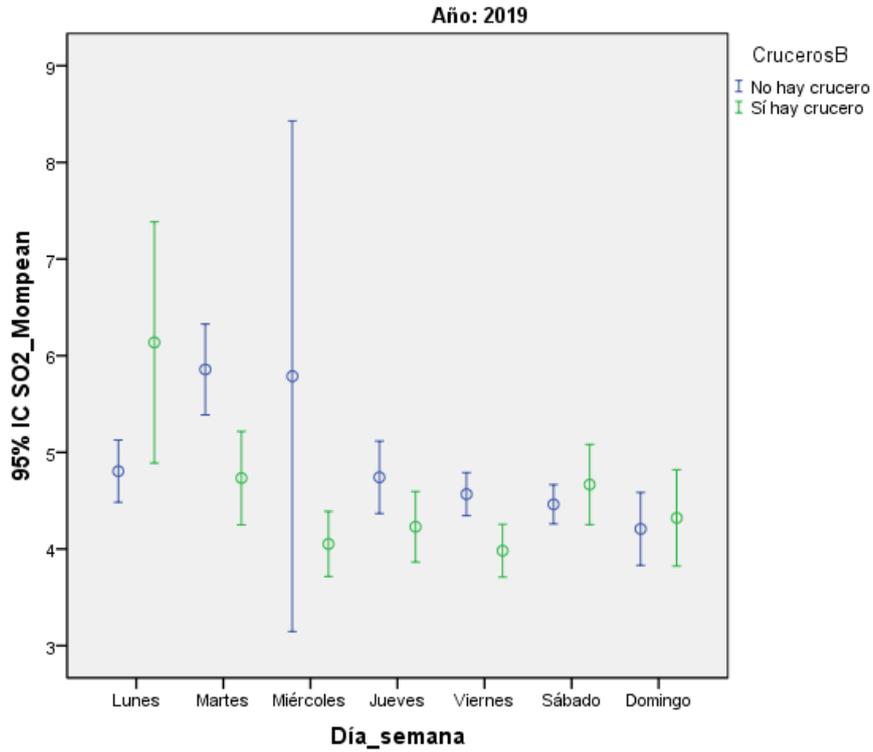


Figura 109: Barra de error SO<sub>2</sub> por días - Etiqueta "Cruceros B", 7 h -19 h (2019)

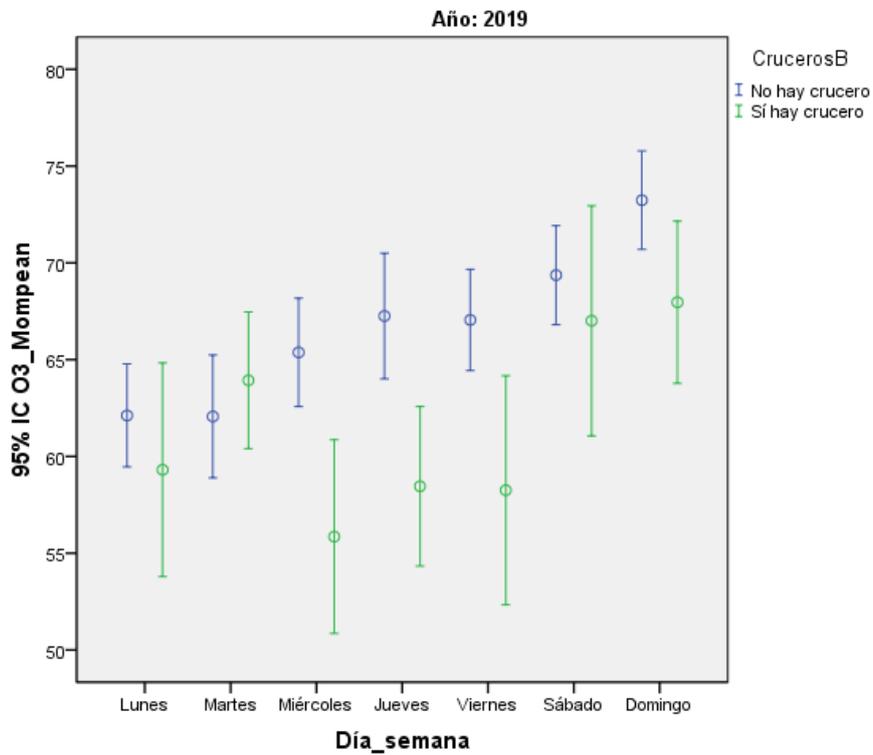


Figura 110: Barra de error O<sub>3</sub> por días - Etiqueta "Cruceros B", 7 h -19 h (2019)

Tabla 28: Prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" por días con restricción horaria (2019)

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
NO	<b>0,000</b>	0,274	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>
NO <sub>2</sub>	<b>0,000</b>	0,662	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,006</b>	<b>0,000</b>
SO <sub>2</sub>	<b>0,008</b>	<b>0,000</b>	0,865	<b>0,021</b>	0,098	0,129	0,343
O <sub>3</sub>	0,272	0,568	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	<b>0,021</b>	0,411	<b>0,025</b>

### 5.7.5. Cruceros C con restricción horaria

Se van a analizar los datos según la etiqueta “Cruceros C”, para estudiar si existen diferencias entre la entrada o salida de cruceros en el puerto y su estacionamiento. En la Tabla 29, Tabla 30, Tabla 31 y Tabla 32 se recogen los resultados de ambos años. Se va a mantener la restricción horaria de 7:00 h a 19:00 h para los análisis que se muestran en este apartado.

a. 2018

Tabla 29: Rangos para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros C" de 7 h a 19 h (2018)

Rangos <sup>a</sup>				
	CrucerosC	N	Rango promedio	Suma de rangos
NO_Mompean	Estacionamiento de crucero	738	484,13	357289,00
	Entrada o salida de crucero	239	504,03	120464,00
	Total	977		
NO <sub>2</sub> _Mompean	Estacionamiento de crucero	738	478,13	352860,50
	Entrada o salida de crucero	239	522,56	124892,50
	Total	977		
SO <sub>2</sub> _Mompean	Estacionamiento de crucero	870	576,74	501762,50
	Entrada o salida de crucero	279	569,58	158912,50
	Total	1149		
O <sub>3</sub> _Mompean	Estacionamiento de crucero	872	599,65	522890,50
	Entrada o salida de crucero	279	502,10	140085,50
	Total	1151		
a. Año = 2018				

Tabla 30: Estadísticos de contraste para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros C" de 7 h a 19 h (2018)

Estadísticos de contraste <sup>a,b</sup>				
	NO_Mompean	NO <sub>2</sub> _Mompean	SO <sub>2</sub> _Mompean	O <sub>3</sub> _Mompean
U de Mann-Whitney	84598,000	80169,500	119852,500	101025,500
W de Wilcoxon	357289,000	352860,500	158912,500	140085,500
Z	-,953	-2,117	-,317	-4,267
Sig. asintót. (bilateral)	,341	,034	,751	,000
a. Año = 2018				
b. Variable de agrupación: CrucerosC				

Con un p-valor menor de 0,05 los casos para los que se aprecian diferencias estadísticas entre los grupos “Estacionamiento de crucero” y “Entrada o salida de crucero” es

para el  $\text{NO}_2$  y el  $\text{O}_3$ . En la Figura 111, Figura 112, Figura 113 y Figura 114 se muestran las barras de error para las distintas muestras.

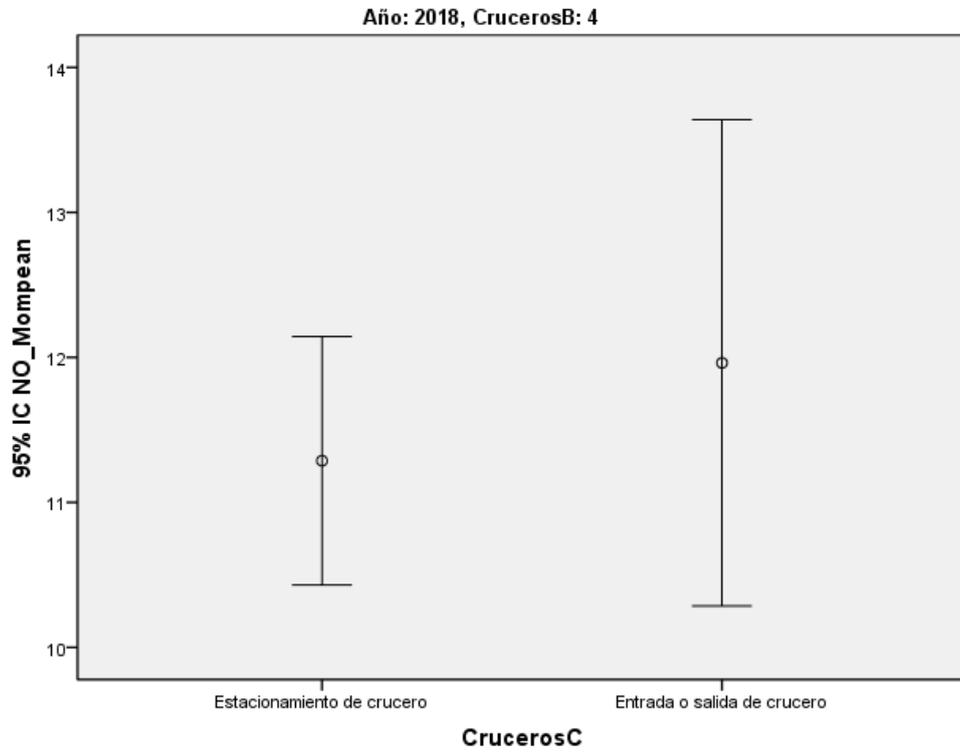


Figura 111: Barra de error NO - Etiqueta "Cruceros C", 7 h -19 h (2018)

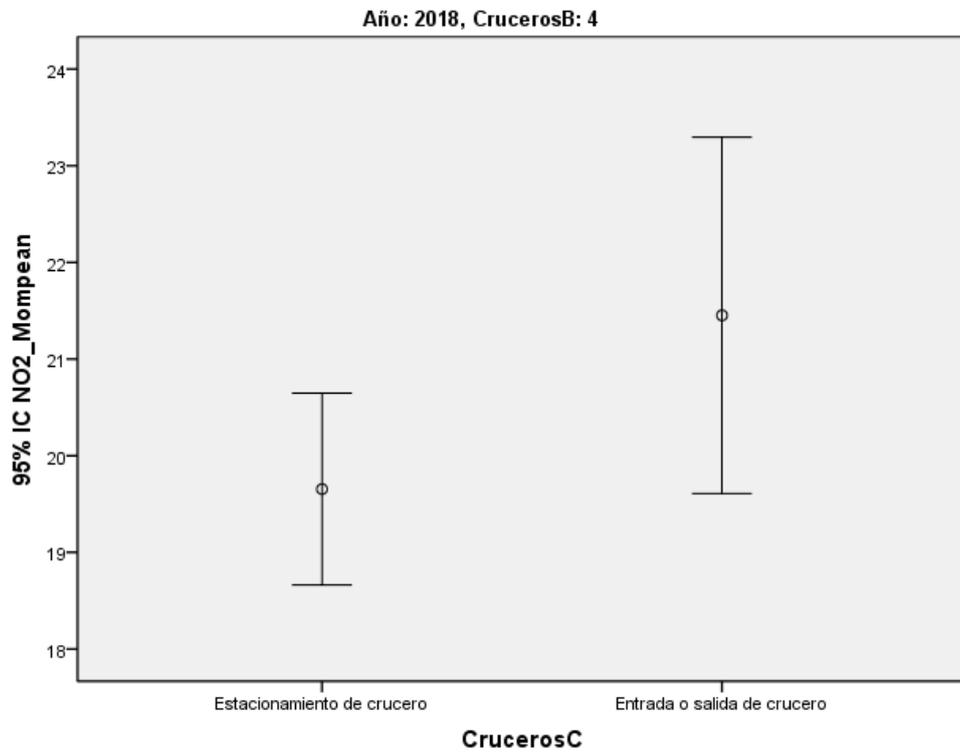


Figura 112: Barra de error  $\text{NO}_2$  - Etiqueta "Cruceros C", 7 h -19 h (2018)

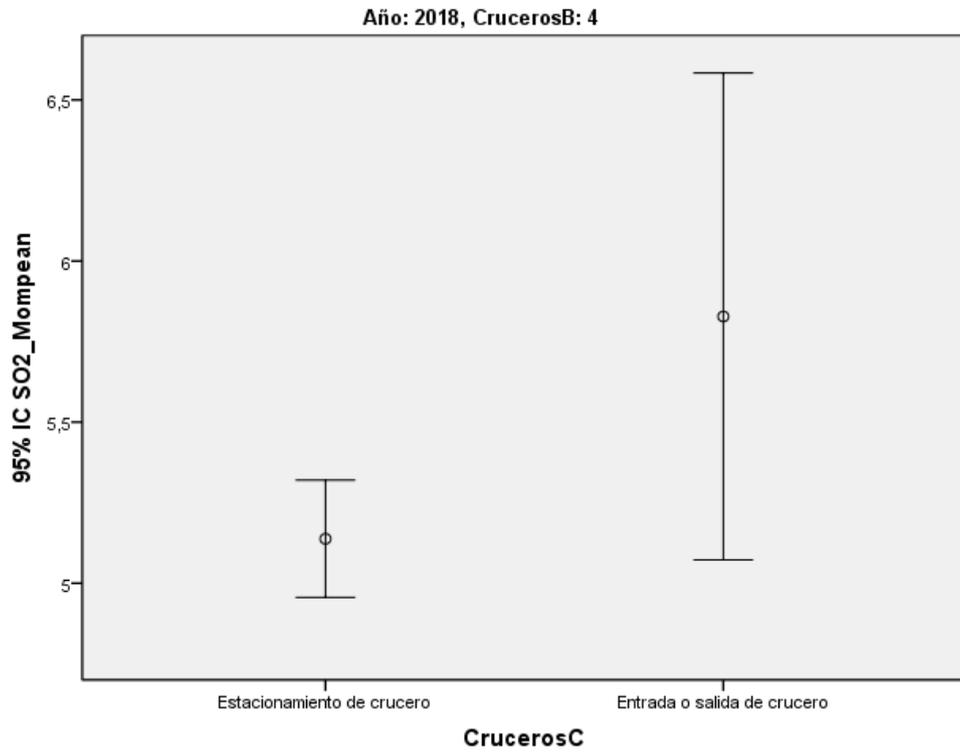


Figura 113: Barra de error SO<sub>2</sub> - Etiqueta "Cruceros C", 7 h -19 h (2018)

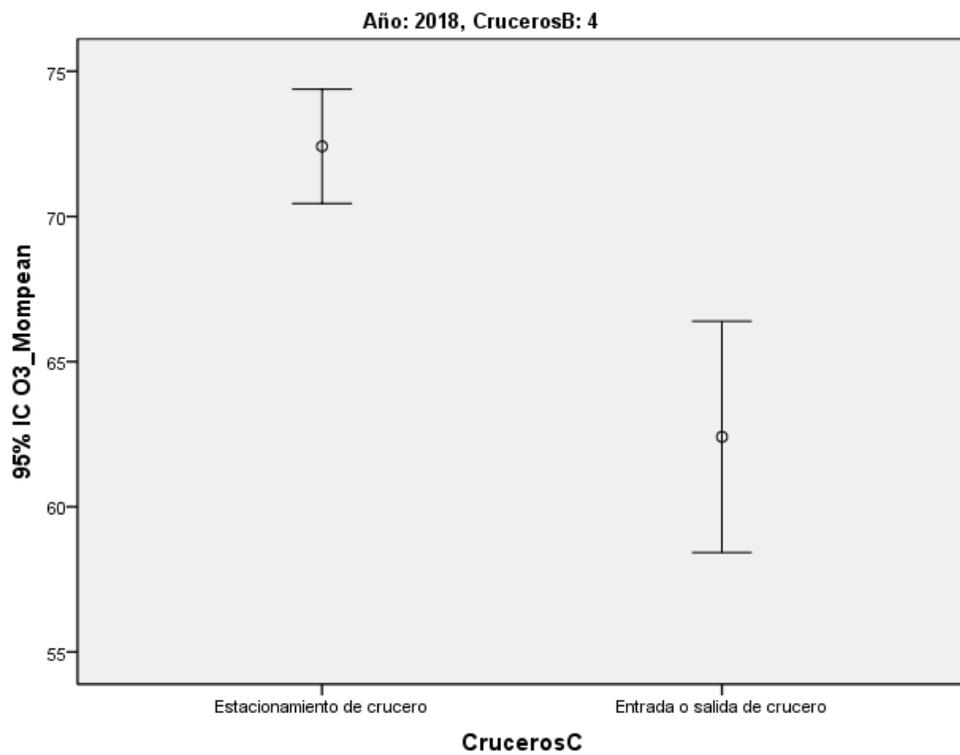


Figura 114: Barra de error O<sub>3</sub> - Etiqueta "Cruceros C", 7 h -19 h (2018)

b. 2019

Tabla 31: Rangos para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros C" de 7 h a 19 h (2019)

Rangos <sup>a</sup>				
	CrucerosC	N	Rango promedio	Suma de rangos
NO_Mompean	Estacionamiento de crucero	925	611,13	565298,50
	Entrada o salida de crucero	285	587,22	167356,50
	Total	1210		
NO <sub>2</sub> _Mompean	Estacionamiento de crucero	925	602,00	556851,50
	Entrada o salida de crucero	285	616,85	175803,50
	Total	1210		
SO <sub>2</sub> _Mompean	Estacionamiento de crucero	921	602,68	555072,00
	Entrada o salida de crucero	284	604,02	171543,00
	Total	1205		
O <sub>3</sub> _Mompean	Estacionamiento de crucero	901	603,54	543791,00
	Entrada o salida de crucero	277	543,83	150640,00
	Total	1178		
a. Año = 2019				

Tabla 32: Estadísticos de contraste para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros C" de 7 h a 19 h (2019)

Estadísticos de contraste <sup>a,b</sup>				
	NO_Mompean	NO <sub>2</sub> _Mompean	SO <sub>2</sub> _Mompean	O <sub>3</sub> _Mompean
U de Mann-Whitney	126601,500	128576,500	130491,000	112137,000
W de Wilcoxon	167356,500	556851,500	555072,000	150640,000
Z	-1,016	-,628	-,058	-2,555
Sig. asintót. (bilateral)	,310	,530	,954	,011
a. Año = 2019				
b. Variable de agrupación: CrucerosC				

Con un p-valor de 0,011 el único caso para el que se aprecian diferencias estadísticas entre los grupos "Estacionamiento de crucero" y "Entrada o salida de crucero" es para el O<sub>3</sub>. En la Figura 115, Figura 116, Figura 117 y Figura 118 se representan las barras de error para las distintas muestras.

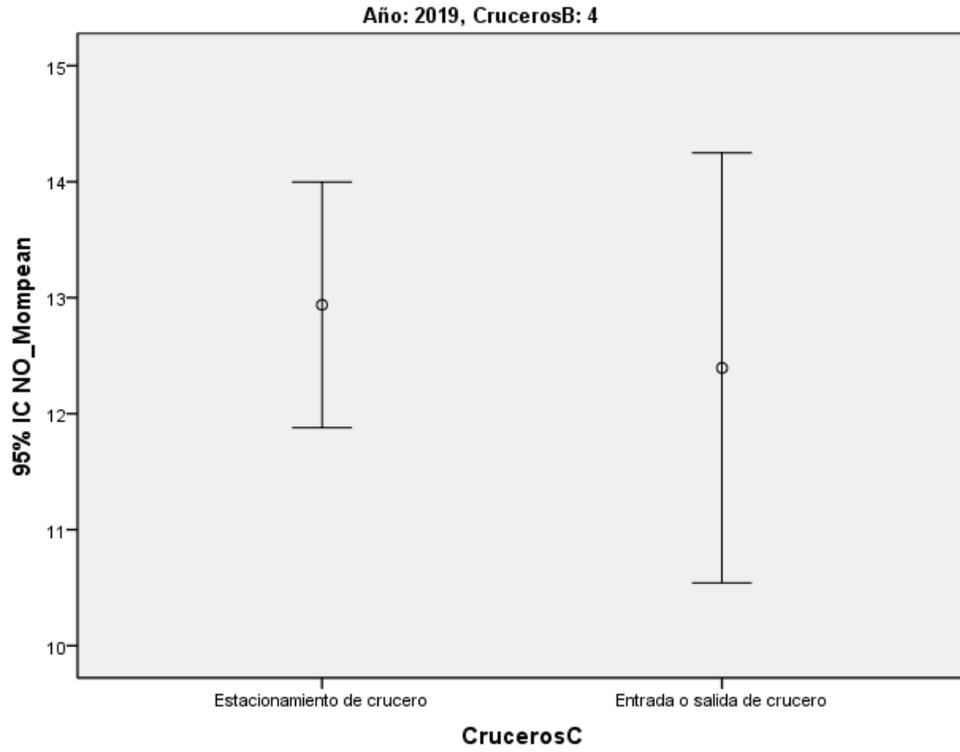


Figura 115: Barra de error NO - Etiqueta "Cruceros C", 7 h -19 h (2019)

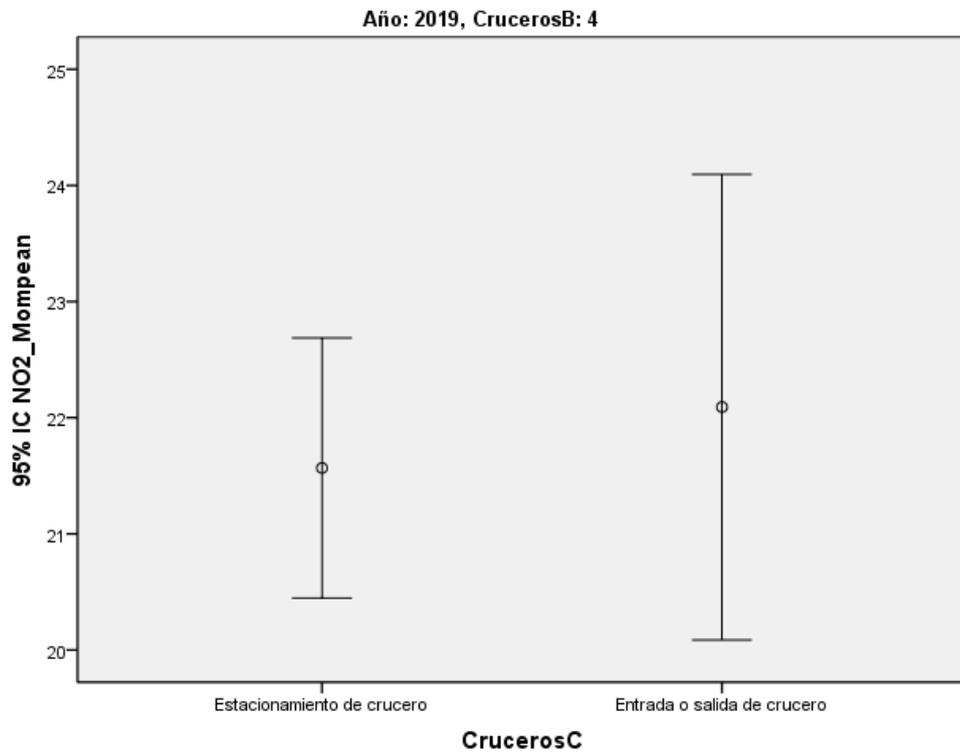


Figura 116: Barra de error NO<sub>2</sub> - Etiqueta "Cruceros C", 7 h -19 h (2019)

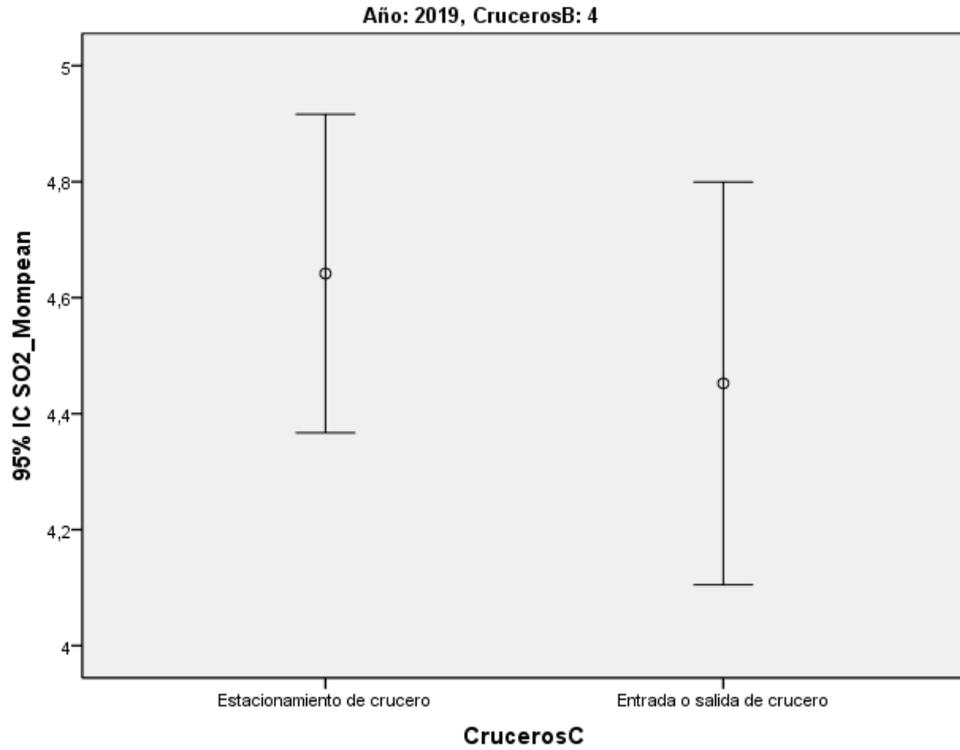


Figura 117: Barra de error SO<sub>2</sub> - Etiqueta "Cruceros C", 7 h -19 h (2019)

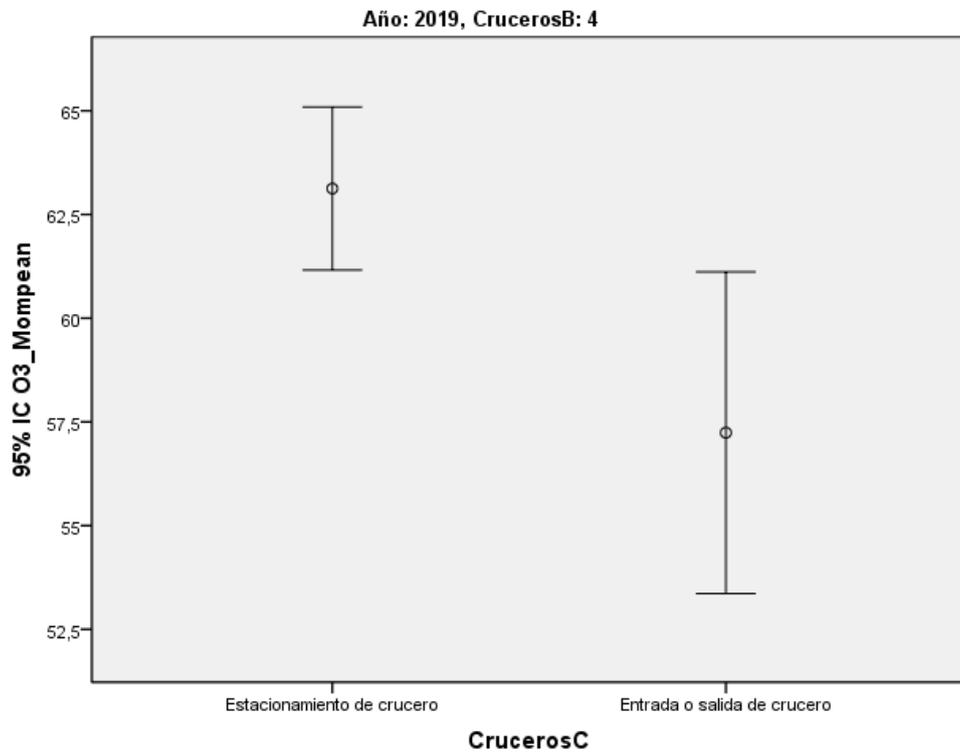


Figura 118: Barra de error O<sub>3</sub> - Etiqueta "Cruceros C", 7 h -19 h (2019)

### 5.7.6. Cruceros C con restricción horaria. Evolución horaria.

Para analizar los datos de forma más precisa se van a representar los datos hora a hora, desde las 7:00 h a las 19:00 h. En la Figura 119, Figura 120, Figura 121 y Figura 122 se muestran las barras de error para 2018; y en Figura 123, Figura 124, Figura 125 y Figura 126 se muestran las de 2019. En la Tabla 33 y Tabla 34 se recogen los resultados de los contrastes de hipótesis para cada contaminante en cada hora, con el fin de estudiar las diferencias entre el estacionamiento de cruceros y el tránsito de cruceros en la dársena (llegada o salida de cruceros).

a. 2018

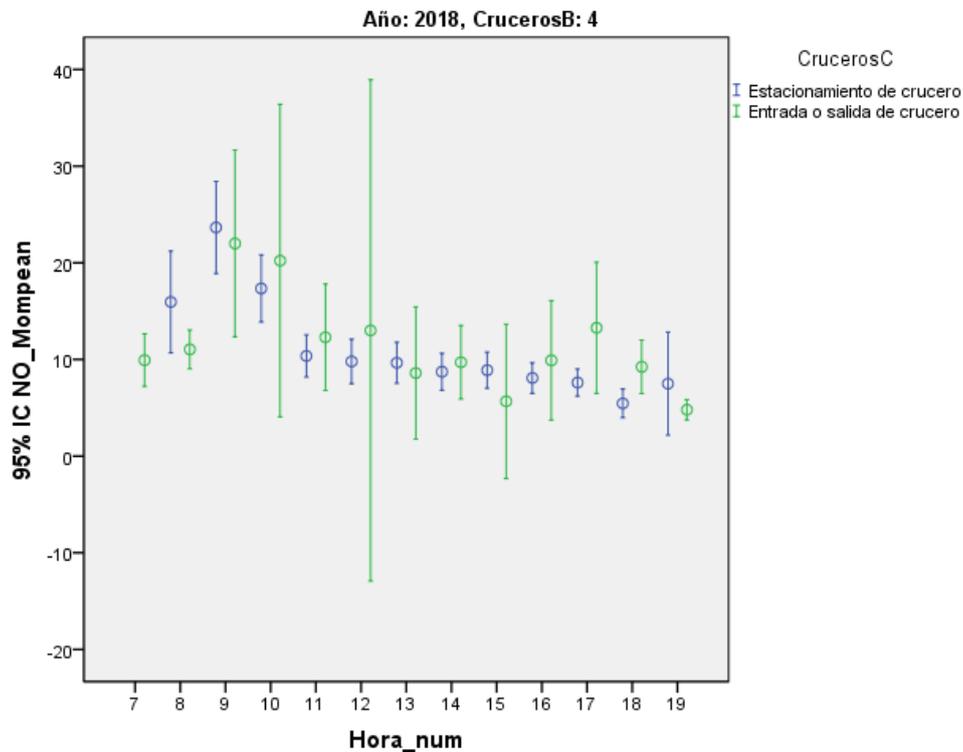


Figura 119: Barra de error NO por horas - Etiqueta "Cruceros C", 7 h -19 h (2018)

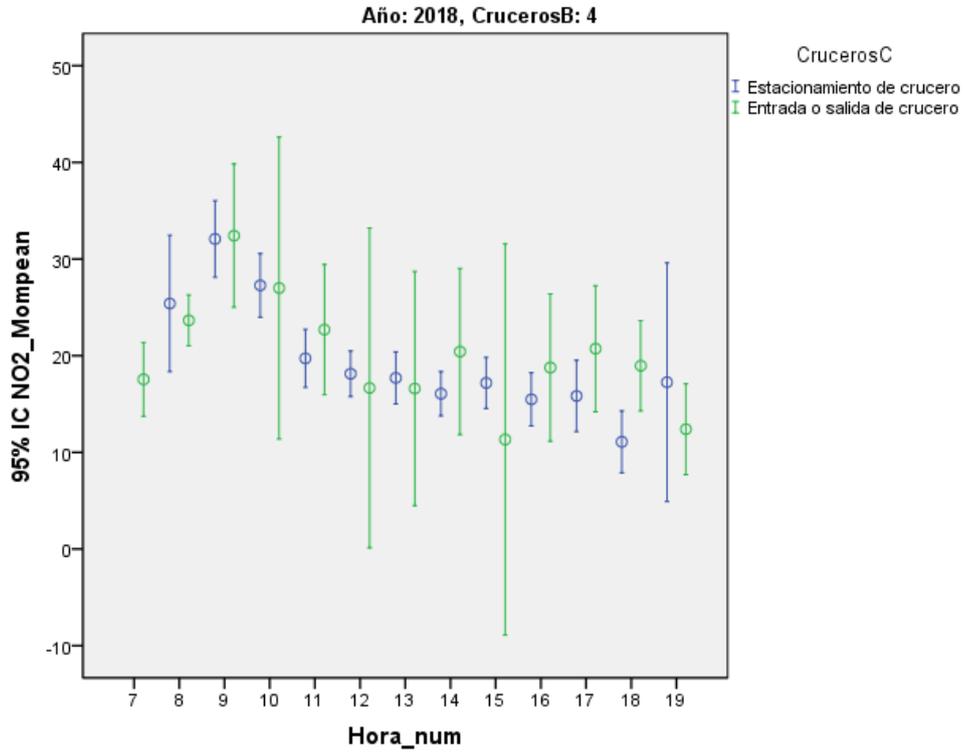


Figura 120: Barra de error NO<sub>2</sub> por horas - Etiqueta "Cruceros C", 7 h -19 h (2018)

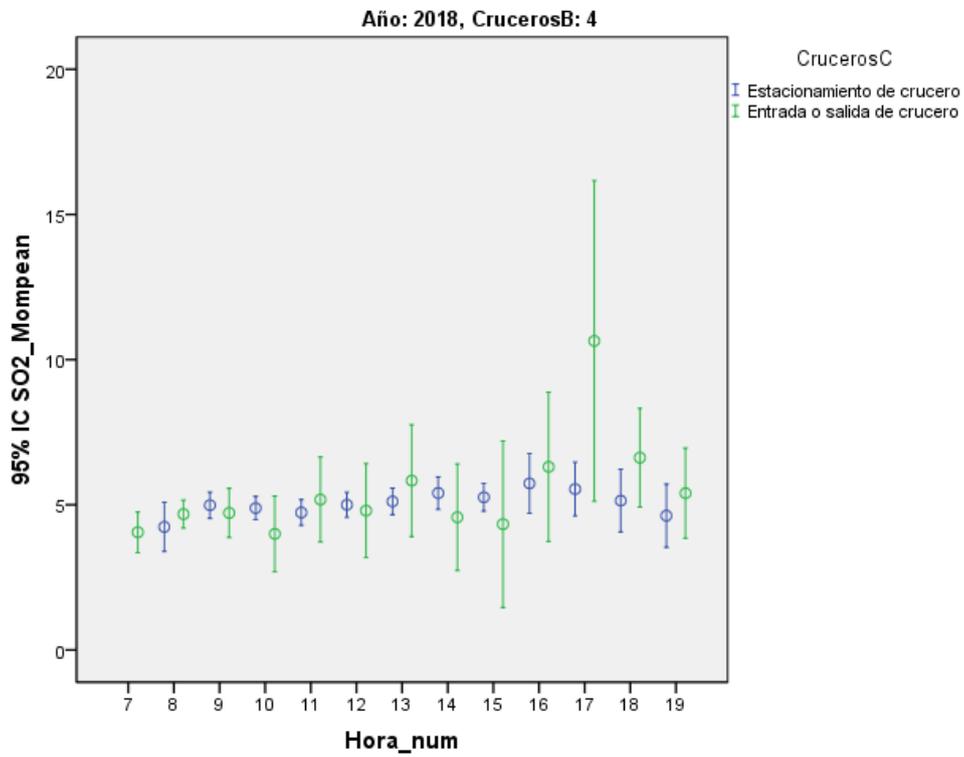


Figura 121: Barra de error SO<sub>2</sub> por horas - Etiqueta "Cruceros C", 7 h -19 h (2018)

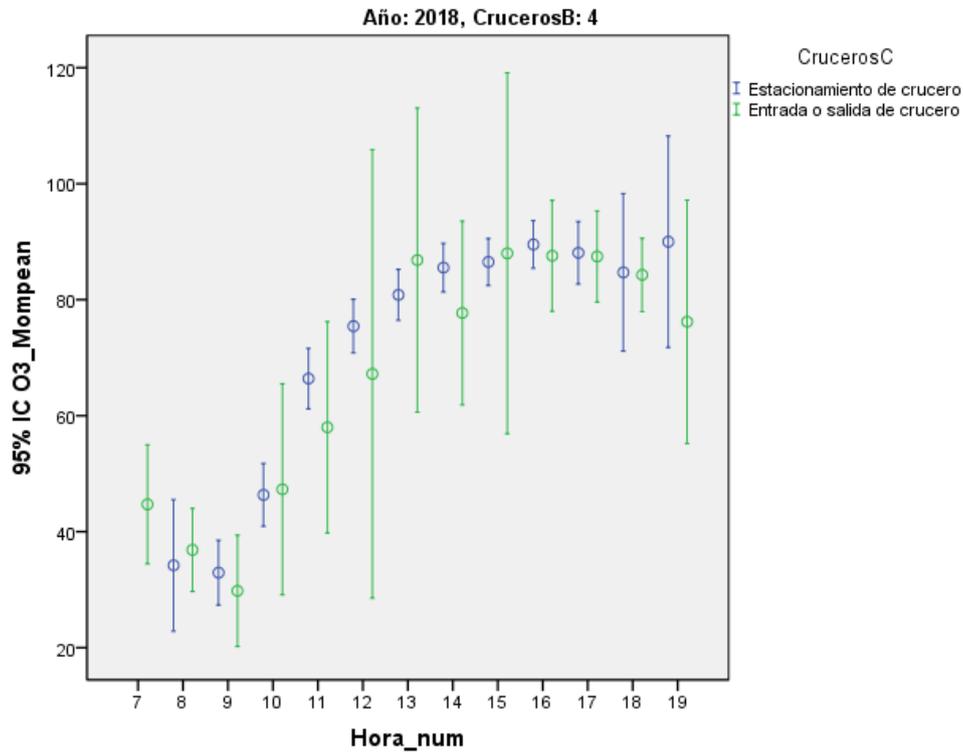


Figura 122: Barra de error O<sub>3</sub> por horas - Etiqueta "Cruceros C", 7 h -19 h (2018)

Tabla 33: Prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros C" por horas de 7 h a 19 h (2018)

	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
NO	-	0,183	0,470	0,852	0,275	0,396	0,846	0,118	0,787	0,836	0,168	0,265	0,724
NO <sub>2</sub>	-	0,853	0,781	0,663	0,138	0,968	0,874	0,171	0,771	0,549	0,203	0,090	0,943
SO <sub>2</sub>	-	0,213	0,548	0,113	0,546	-	0,373	0,411	0,586	0,787	0,129	0,709	0,360
O <sub>3</sub>	-	0,690	0,461	0,719	0,343	-	0,473	0,220	0,952	0,938	0,812	0,957	0,315

b. 2019

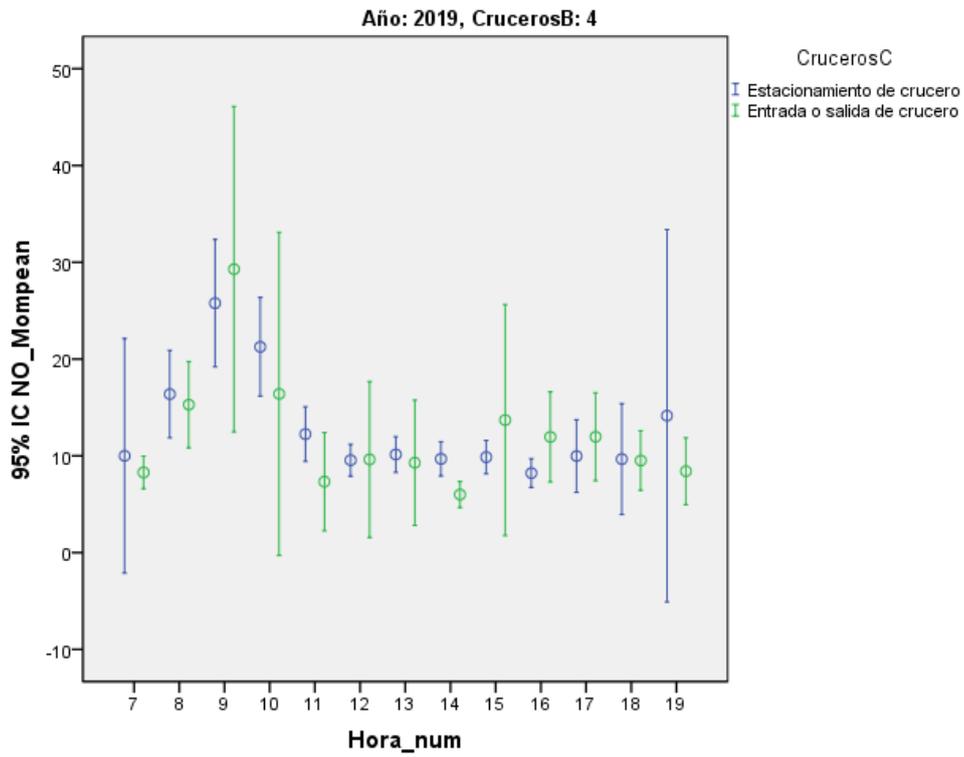


Figura 123: Barra de error NO por horas - Etiqueta "Cruceros C", 7 h -19 h (2019)

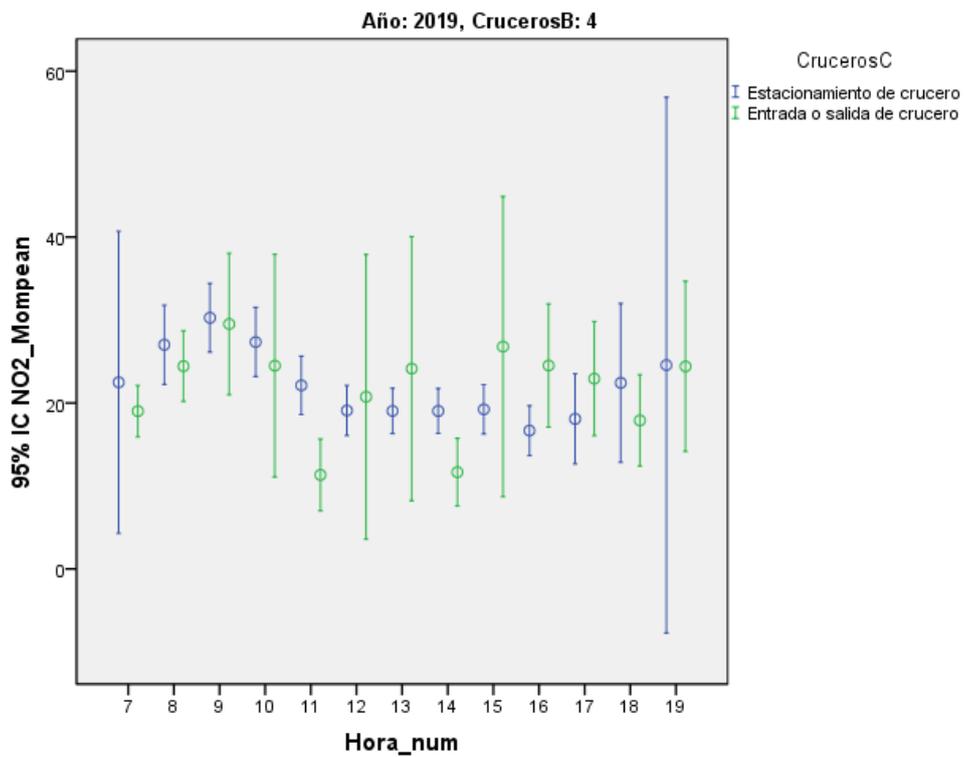


Figura 124: Barra de error NO<sub>2</sub> por horas - Etiqueta "Cruceros C", 7 h -19 h (2019)

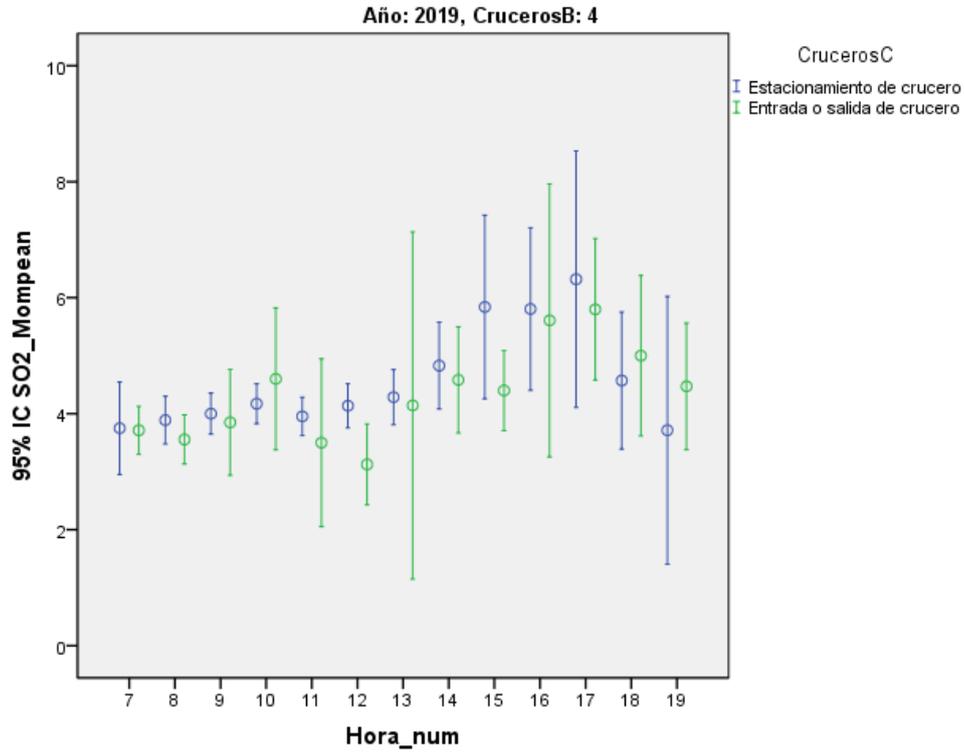


Figura 125: Barra de error SO<sub>2</sub> por horas - Etiqueta "Cruceros C", 7 h -19 h (2019)

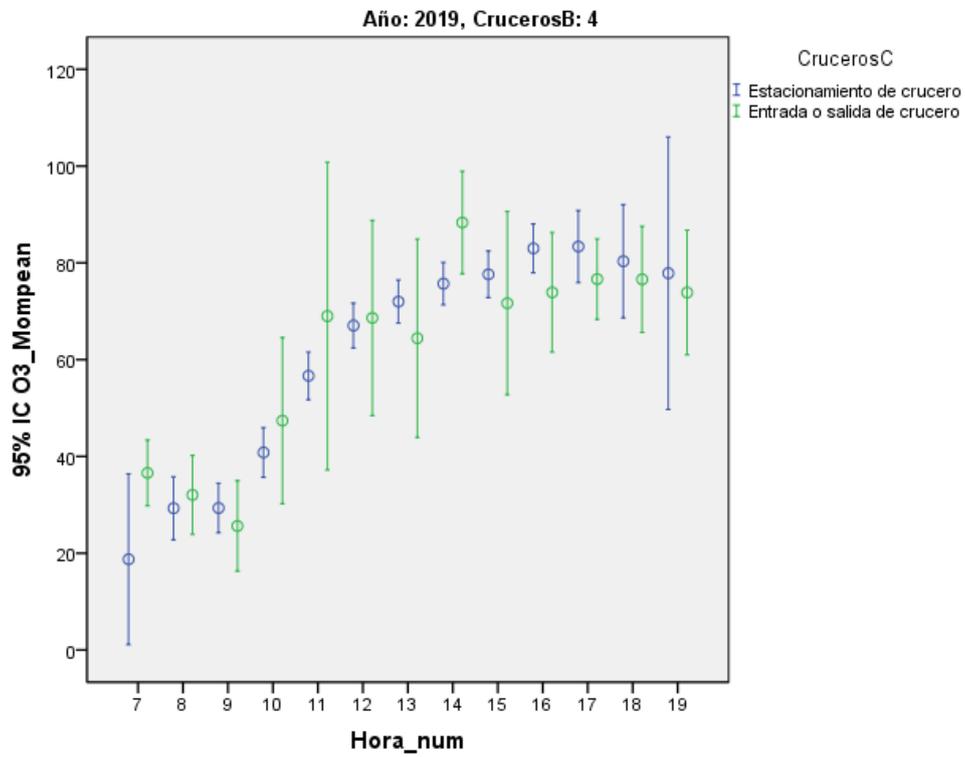


Figura 126: Barra de error O<sub>3</sub> por horas - Etiqueta "Cruceros C", 7 h -19 h (2019)

Tabla 34: Prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros C" por horas de 7 h a 19 h (2019)

	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
NO	0,592	0,977	0,826	0,423	0,374	0,923	0,893	0,084	0,619	0,114	0,178	0,940	0,804
NO <sub>2</sub>	0,464	0,619	0,691	0,625	0,189	0,979	0,312	0,104	0,526	0,056	0,419	0,525	0,619
SO <sub>2</sub>	0,910	0,214	0,545	0,405	0,467	0,132	0,605	0,527	0,929	0,922	0,205	0,985	0,383
O <sub>3</sub>	0,130	0,757	0,666	0,300	0,236	0,756	0,390	0,052	0,442	0,227	0,221	0,660	0,619

### 5.7.7. Dispersión de contaminantes por la influencia del viento

Por último, se quiere conocer la influencia de la dirección y velocidad del viento y la presión atmosférica en la dispersión de contaminantes debido a la influencia del tráfico de cruceros. Para ello se aplica la restricción horaria de 7:00 h a 19:00 h.

#### i. Dirección del viento

Se muestra el estudio de la dirección del viento en 2018 y 2019 en relación con el tráfico de cruceros.

Para cada año se muestran en la Figura 127, Figura 128, Figura 129, Figura 130, Figura 131, Figura 132, Figura 133 y Figura 134 las barras de error comparativas según la Etiqueta “Cruceros B” para cada dirección del viento. En la Tabla 35 y Tabla 36 se recogen los resultados de los contrastes de hipótesis para cada dirección del viento.

#### a. 2018

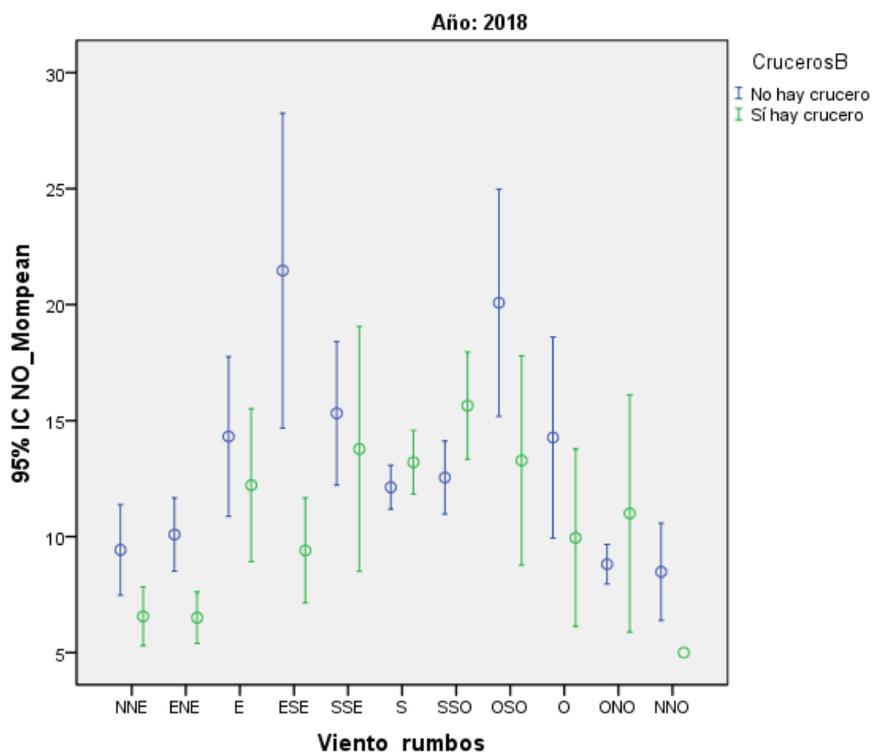


Figura 127: Barras de error NO por rumbos según etiqueta “Cruceros B” (2018)

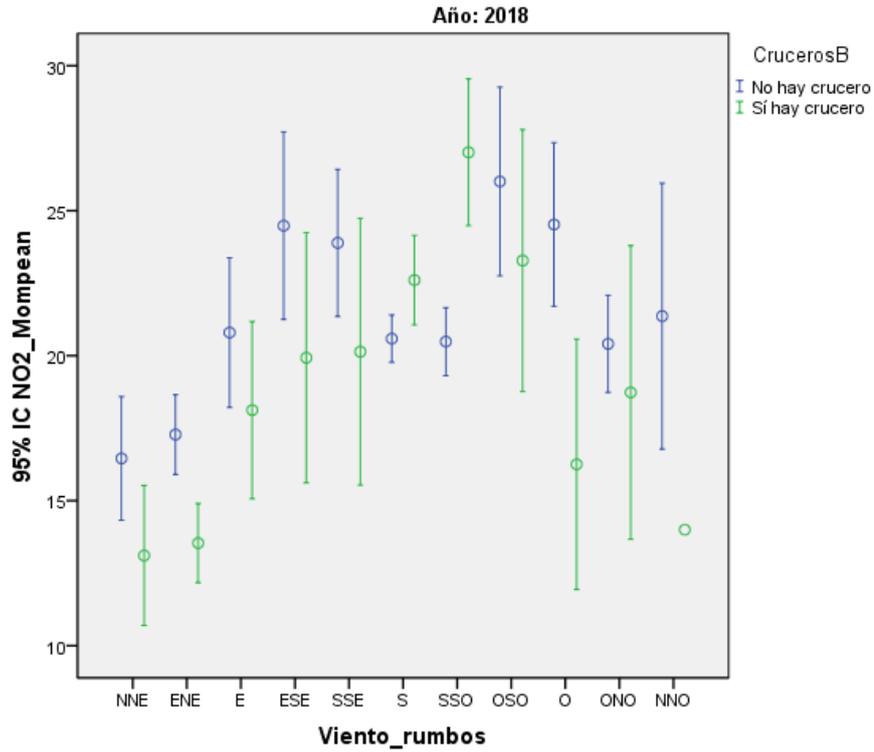


Figura 128: Barras de error NO<sub>2</sub> por rumbos según etiqueta “Cruceros B” (2018)

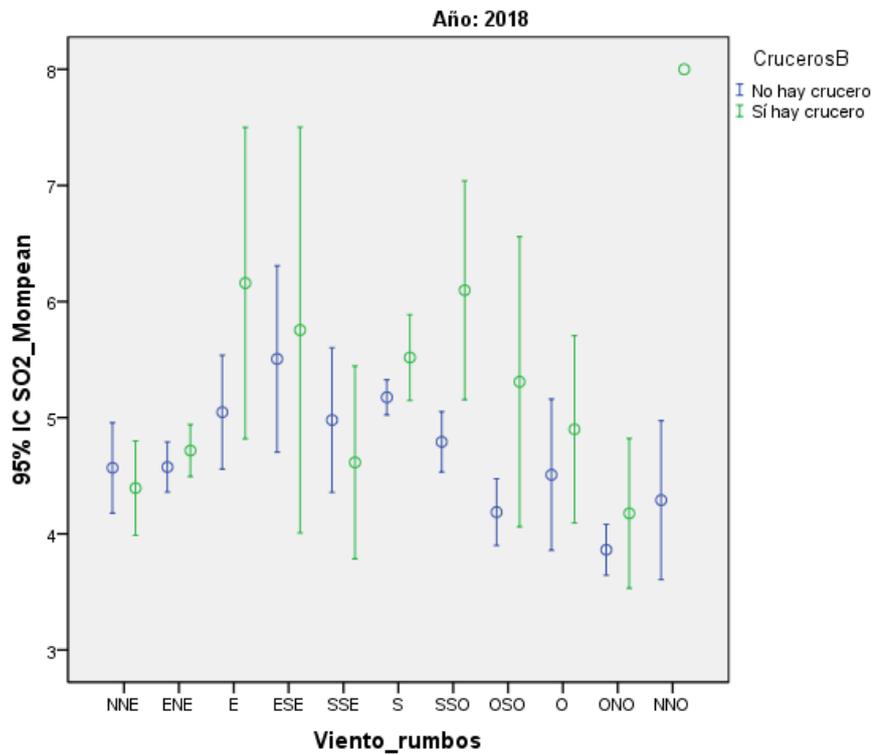


Figura 129: Barras de error SO<sub>2</sub> por rumbos según etiqueta “Cruceros B” (2018)

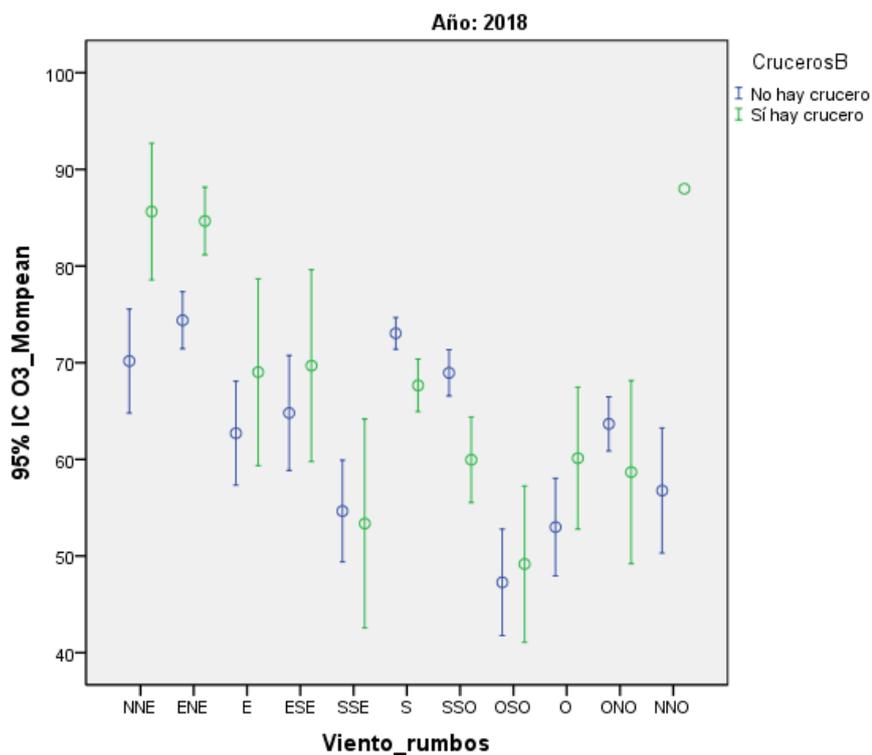


Figura 130: Barras de error O<sub>3</sub> por rumbos según etiqueta "Cruceros B" (2018)

En la Tabla 35 se muestran los resultados de los contrastes de hipótesis para cada contaminante en cada dirección del viento. Para todos los valores inferiores a 0,05 se rechaza con un 95 % de significación la hipótesis nula del contraste, pudiendo afirmar que existen diferencias estadísticas significativas para ese contaminante en ese rumbo de viento cuando hay estacionamiento de crucero y cuando no lo hay.

Tabla 35: Prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" por rumbos (2018)

	N	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSO	OSO	O	ONO	NNO
NO	-	0,172	<b>0,002</b>	0,562	0,511	0,502	<b>0,007</b>	<b>0,000</b>	0,963	0,050	0,231	0,824
NO <sub>2</sub>	-	0,364	<b>0,023</b>	0,971	0,405	0,155	<b>0,033</b>	<b>0,000</b>	0,787	<b>0,000</b>	0,066	0,824
SO <sub>2</sub>	-	0,831	<b>0,021</b>	<b>0,047</b>	0,717	0,822	0,088	<b>0,000</b>	0,301	0,381	0,441	0,063
O <sub>3</sub>	-	<b>0,001</b>	<b>0,000</b>	0,238	0,465	0,767	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,387	0,088	0,740	0,111

b. 2019

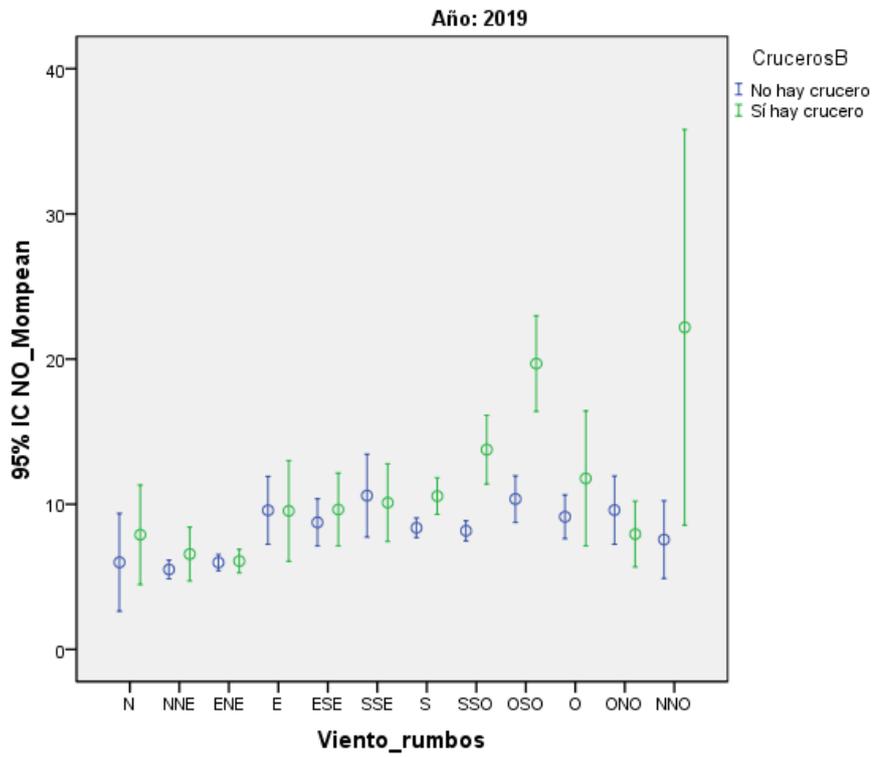


Figura 131: Barras de error NO por rumbos según etiqueta “Cruceros B” (2019)

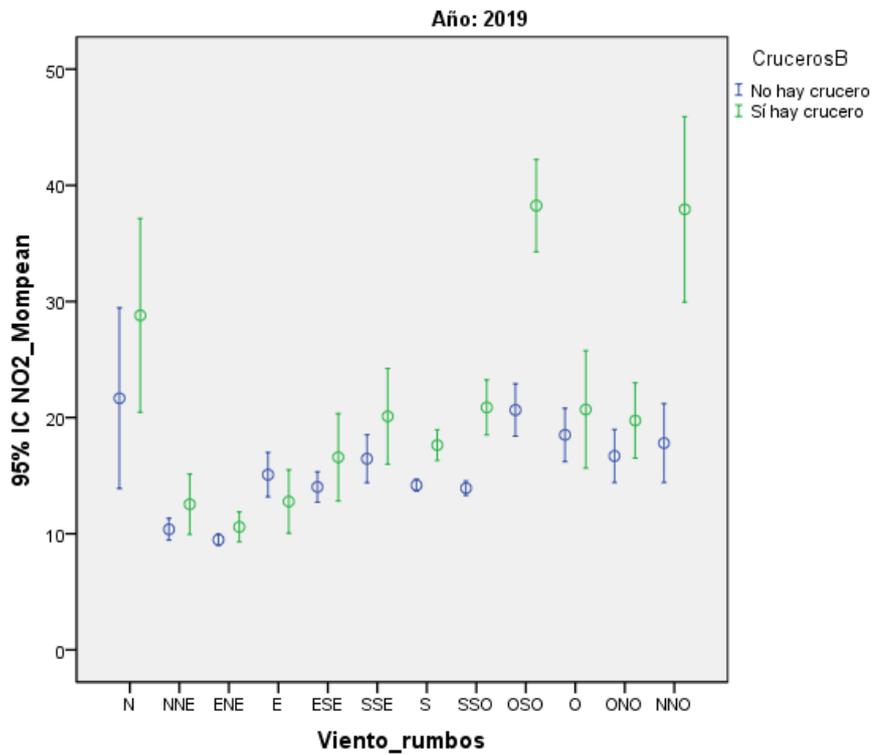


Figura 132: Barras de error NO<sub>2</sub> por rumbos según etiqueta “Cruceros B” (2019)

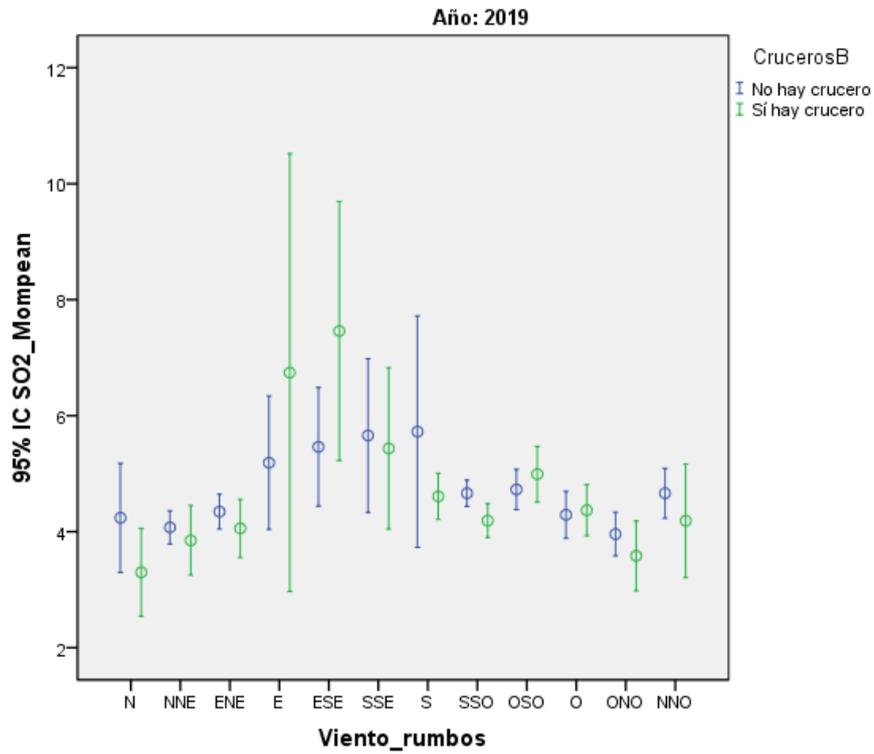


Figura 133: Barras de error SO<sub>2</sub> por rumbos según etiqueta “Cruceros B” (2019)

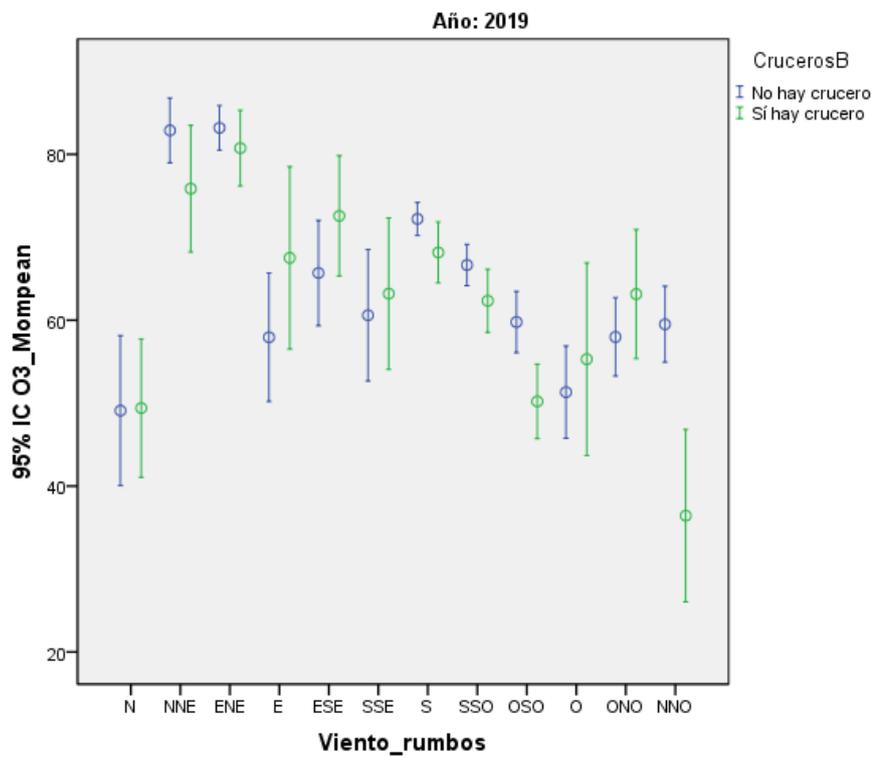


Figura 134: Barras de error O<sub>3</sub> por rumbos según etiqueta “Cruceros B” (2019)

En la Tabla 36 se muestran los resultados de los contrastes de hipótesis para cada contaminante en cada dirección del viento. Para todos los valores inferiores a 0,05 se rechaza con un 95 % de significación la hipótesis nula del contraste, pudiendo afirmar que existen diferencias estadísticas significativas para ese contaminante en ese rumbo de viento cuando hay estacionamiento de crucero y cuando no lo hay.

Tabla 36: Prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" por rumbos (2019)

	N	NNE	ENE	E	ESE	SSE	S	SSO	OSO	O	ONO	NNO
NO	<b>0,025</b>	0,075	0,572	0,217	0,385	0,081	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,437	0,068	<b>0,000</b>
NO <sub>2</sub>	0,059	0,170	0,553	0,069	0,530	0,214	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	0,495	<b>0,009</b>	<b>0,000</b>
SO <sub>2</sub>	0,393	0,288	0,460	0,337	0,468	0,519	<b>0,032</b>	0,060	0,075	0,326	0,386	0,297
O <sub>3</sub>	0,724	0,064	0,105	0,177	0,342	0,773	0,092	<b>0,033</b>	<b>0,000</b>	0,692	0,611	<b>0,000</b>

## ii. Velocidad del viento

En este apartado se va a estudiar la influencia de la velocidad del viento en la dispersión de contaminantes en relación con el tráfico de cruceros.

En la Figura 135, Figura 136, Figura 137, Figura 138, Figura 139, Figura 140, Figura 141 y Figura 142 se muestran barras de error comparativas según la Etiqueta “Cruceros B” para cada rango de velocidad del viento y para cada año. En la Tabla 37 y Tabla 38 se recogen los resultados de los contrastes de hipótesis para cada rango de velocidad.

a. 2018

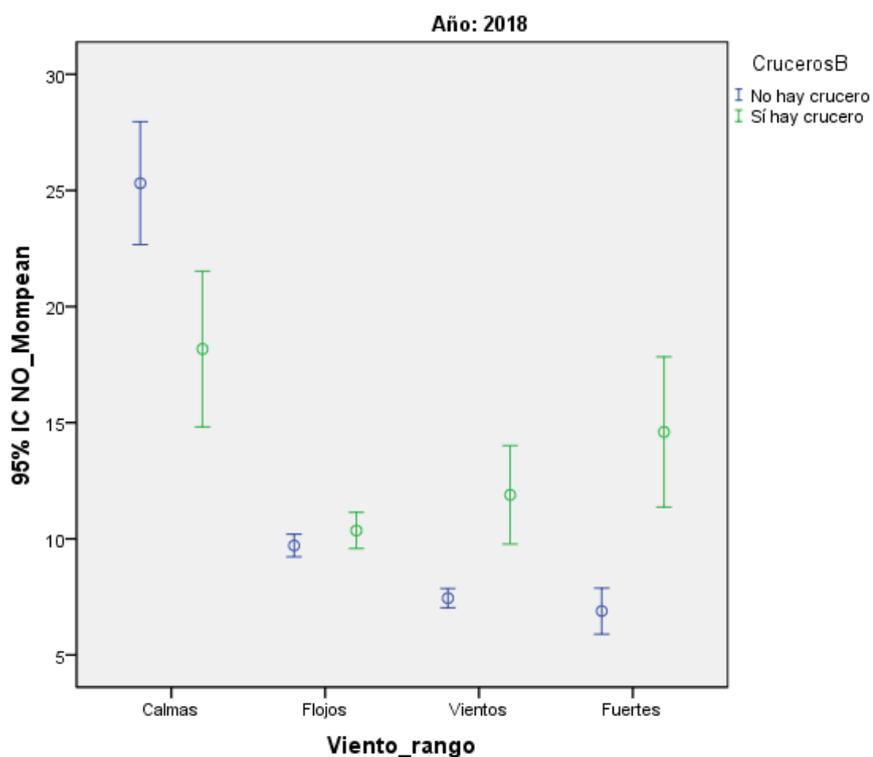


Figura 135: Barras de error NO por rangos según etiqueta “Cruceros B” (2018)

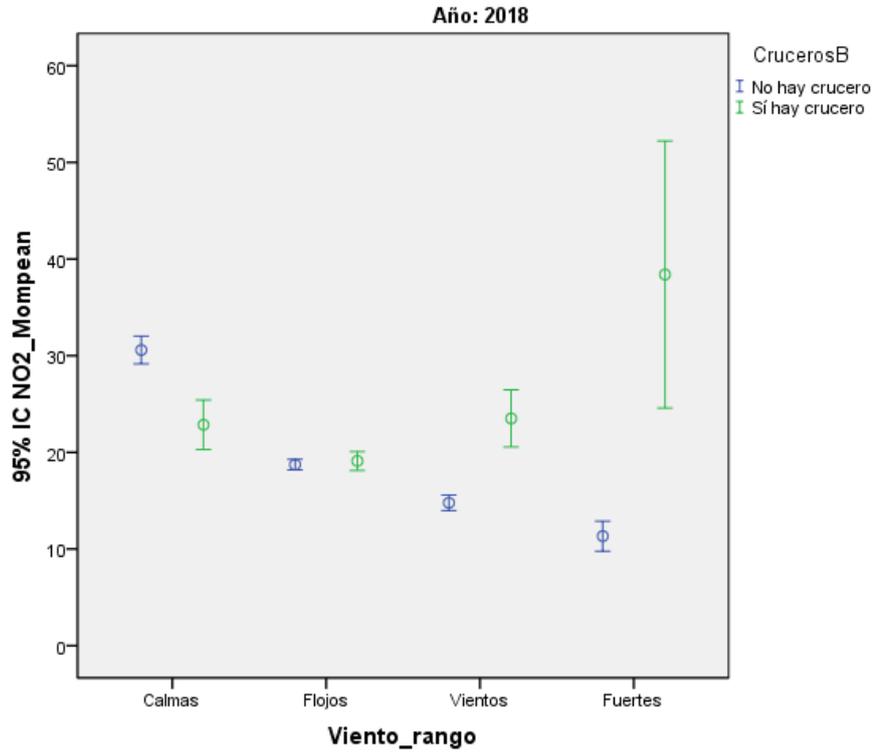


Figura 136: Barras de error NO<sub>2</sub> por rangos según etiqueta “Cruceros B” (2018)

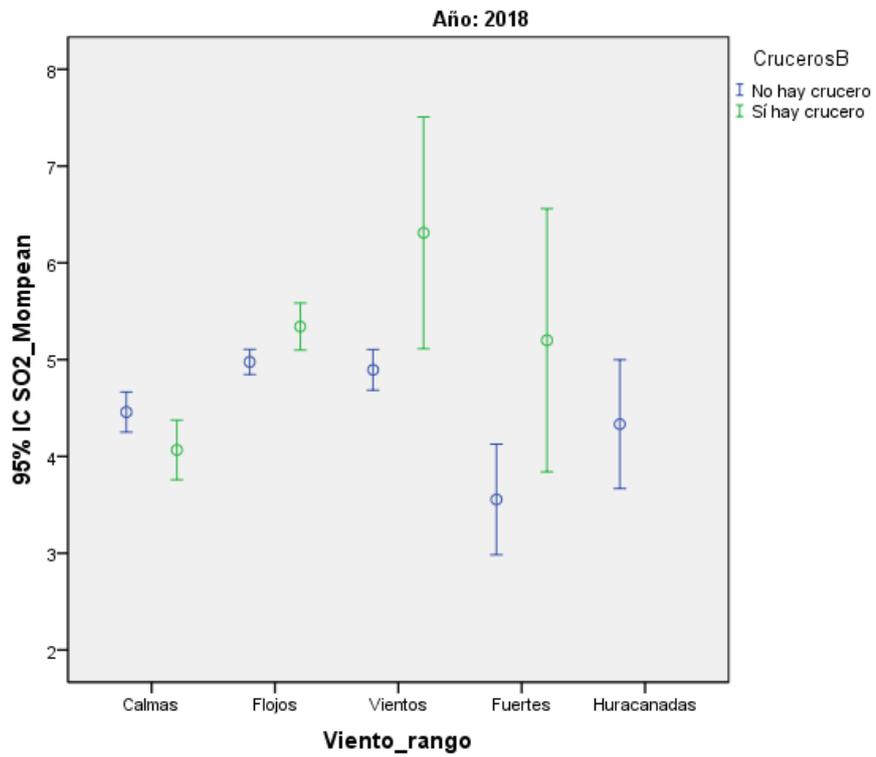


Figura 137: Barras de error SO<sub>2</sub> por rangos según etiqueta “Cruceros B” (2018)

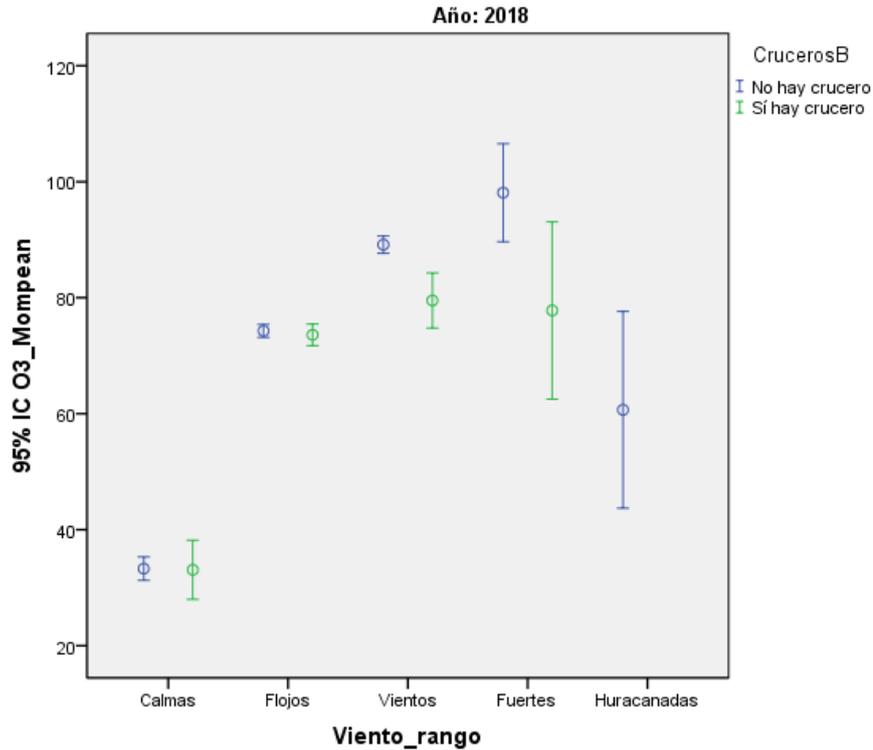


Figura 138: Barras de error O<sub>3</sub> por rangos según etiqueta "Cruceros B" (2018)

En la Tabla 37 se muestran los resultados de los contrastes de hipótesis para cada contaminante. Para todos los valores inferiores a 0,05 se rechaza con un 95 % de significación la hipótesis nula del contraste, pudiendo afirmar que existen diferencias estadísticas significativas para ese contaminante en ese rango de velocidad de viento cuando hay estacionamiento de crucero y cuando no lo hay.

Tabla 37: Prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" por rangos (2018)

	Calmas	Viento flojo	Vientos	Vientos fuertes	Vientos muy fuertes	Huracanadas
NO	0,331	0,982	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	-	-
NO <sub>2</sub>	<b>0,000</b>	0,880	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	-	-
SO <sub>2</sub>	0,156	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,019</b>	-	-
O <sub>3</sub>	0,565	0,659	<b>0,001</b>	<b>0,015</b>	-	-

b. 2019

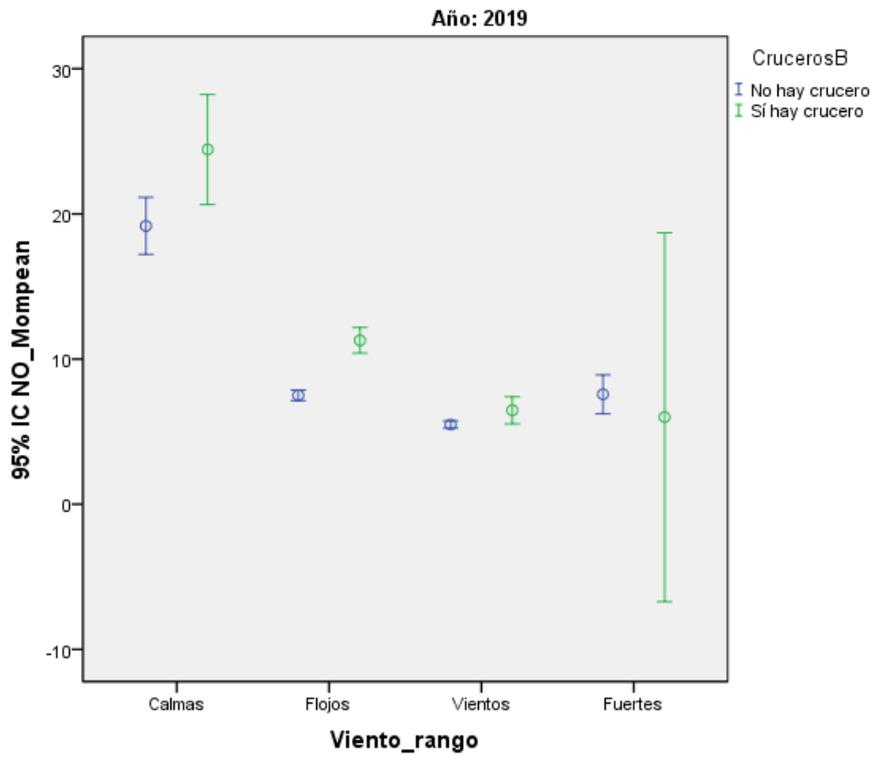


Figura 139: Barras de error NO por rangos según etiqueta “Cruceros B” (2019)

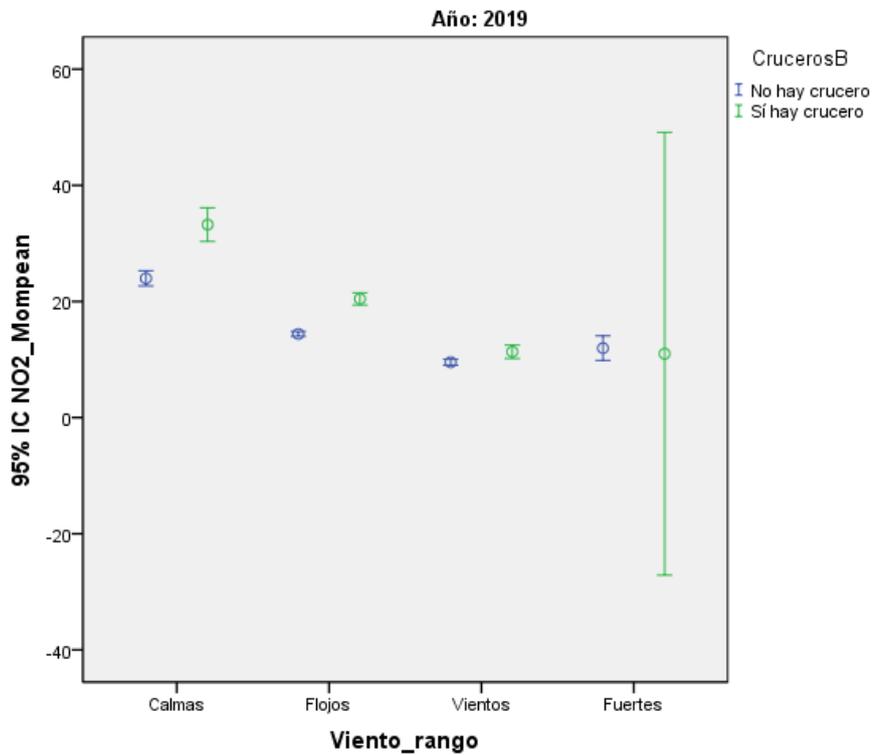


Figura 140: Barras de error NO<sub>2</sub> por rangos según etiqueta “Cruceros B” (2019)

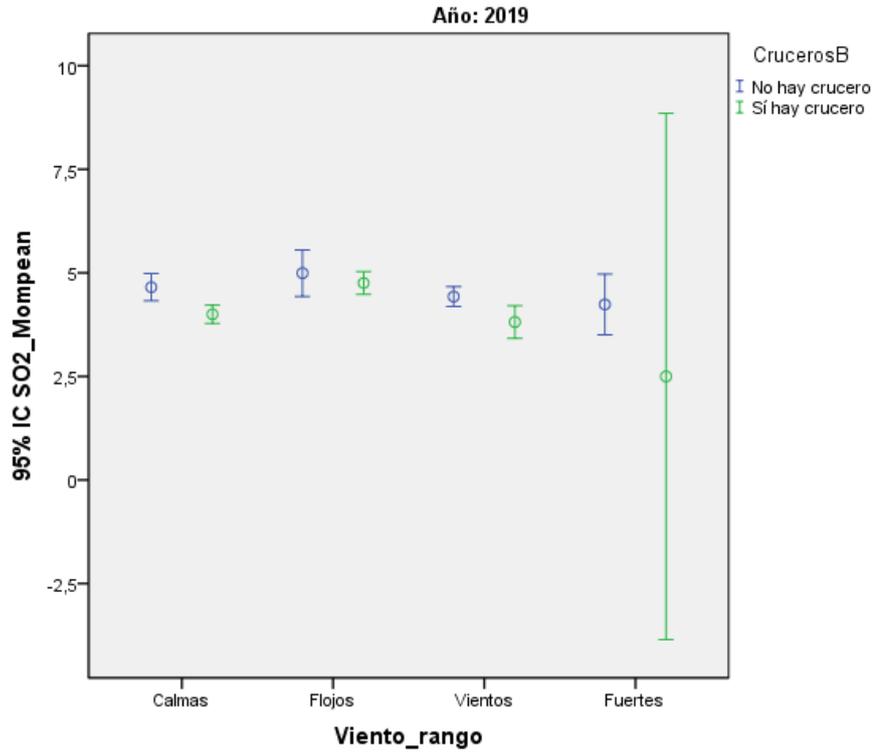


Figura 141: Barras de error SO<sub>2</sub> por rangos según etiqueta “Cruceros B” (2019)

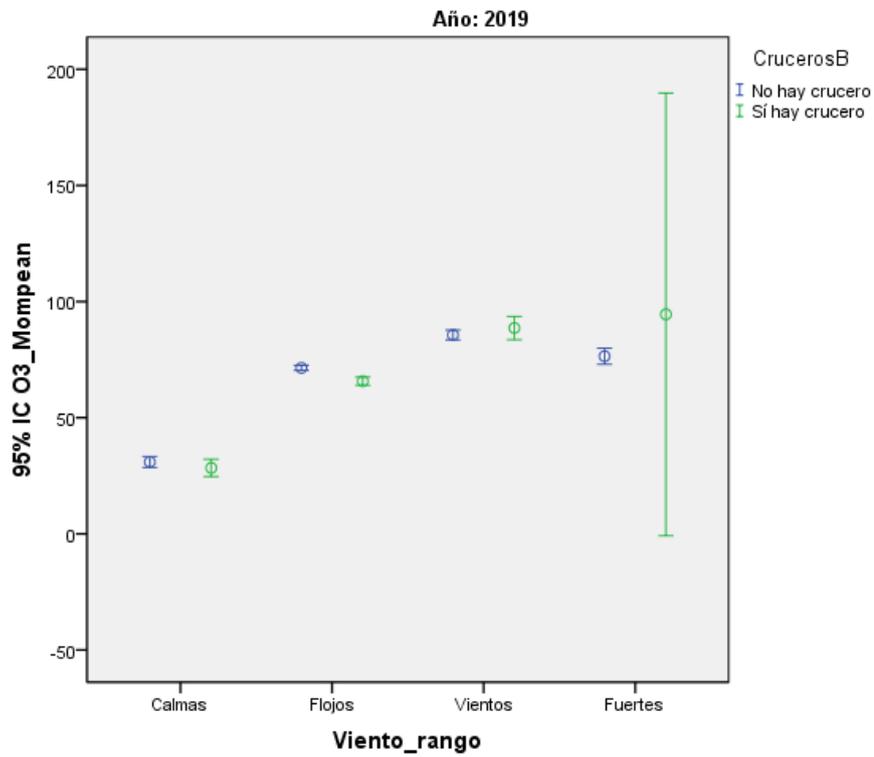


Figura 142: Barras de error O<sub>3</sub> por rangos según etiqueta “Cruceros B” (2019)

En la Tabla 38 se muestran los resultados de los contrastes de hipótesis para cada contaminante. Para todos los valores inferiores a 0,05 se rechaza con un 95 % de significación la hipótesis nula del contraste, pudiendo afirmar que existen diferencias estadísticas significativas para ese contaminante en ese rango de velocidad de viento cuando hay estacionamiento de crucero y cuando no lo hay.

Tabla 38: Prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" por rangos (2019)

	Calmas	Viento flojo	Vientos	Vientos fuertes	Vientos muy fuertes	Huracanadas
NO	<b>0,002</b>	<b>0,000</b>	<b>0,027</b>	0,640	-	-
NO <sub>2</sub>	<b>0,000</b>	<b>0,000</b>	<b>0,003</b>	0,791	-	-
SO <sub>2</sub>	0,304	0,710	0,057	0,095	-	-
O <sub>3</sub>	0,318	<b>0,000</b>	0,228	<b>0,016</b>	-	-

## **6. Discusión de resultados**

### **6.1.Fichas de cruceros**

Durante los meses mayo, junio y julio de 2019 se estuvo realizando un seguimiento de los cruceros que llegaban a la dársena con el fin de diseñar unas fichas de cruceros de esa muestra. Se han escogido de los cruceros a los que se hizo el seguimiento, los que durante los dos años completos de estudio realizaron un estacionamiento en Cartagena un mayor número de veces, como se mostraba en la Figura 21 y en la Figura 22.

En el Anexo I se muestran las fichas de los cruceros estudiados desde el 30/03/2019 al 14/06/2019.

## 6.2. Discusión de resultados de tratamiento de datos

Tras el análisis estadístico de la base de datos se han obtenido los siguientes resultados:

1. Según el comportamiento de los cruceros:
  - 1.1. El estacionamiento de estos en la dársena se da con mayor frecuencia en el horario de 7:00 h a 19:00 h.
  - 1.2. En la dársena de Cartagena se ha producido el estacionamiento de cruceros 318 veces en total en 2018 y 2019, con mayor frecuencia en los periodos de abril a junio y de septiembre a noviembre.
  - 1.3. El año de mayor afluencia de cruceros de los estudiados ha sido 2019.
  - 1.4. En total han visitado Cartagena 96 buques distintos, de los cuales el 16 % ha estacionado en 6 ocasiones o más y el 9 % ha estacionado más de 10 veces.
  - 1.5. En los dos años de estudio el 99 % de los buques permanecieron menos de 24 h estacionados en el puerto. Más del 80 % de los barcos permanecieron menos de 10 h.
2. Según el *Real Decreto 102/2011*:
  - 2.1. Para los  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ ) no se superan en los dos años de estudio los valores límites horarios y anuales, ni el umbral de alerta, como se recogía en la Tabla 9 y la Tabla 10. Sin embargo, sí se supera el nivel crítico para la vegetación en 2018.
  - 2.2. En el caso del  $\text{SO}_2$  en el año 2018 y 2019 no se superan los valores límite horario ni diario, así como el nivel crítico para la vegetación y el umbral de alerta. En 2019 sí se obtiene que en un día se superan los valores límite y el umbral de alerta, pero ocurre una vez en todo el año durante una hora, por lo que se cumple con lo establecido en el *Real Decreto 102/2011*.
  - 2.3. Para el  $\text{O}_3$  no se superan los umbrales de información y de alerta en ningún momento en los dos años de estudio.
3. Los datos de ambos años presentan unos estadísticos con diferencia estadística significativa, por lo que se decide hacer el estudio de ambos años por separado.
4. Los datos no presentan una distribución normal o log-normal, ni existe homogeneidad de varianzas, por lo que las pruebas que se realizan son no paramétricas.
5. La dirección de viento predominante es el sur en ambos años. Según la velocidad del viento, predominan las velocidades bajas (vientos flojos).

Para los contaminantes estudiados se obtienen los siguientes resultados:

### Óxidos de nitrógeno $\text{NO}_x$

1. Por factores diferentes al tráfico de cruceros se obtiene:
  - 1.1. En ambos años los niveles de  $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$  son más elevados de lunes a viernes que durante el fin de semana.
  - 1.2. Según la evolución horaria los niveles de  $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$  aumentan a partir de las 7:00 h hasta las 11:00 h que comienzan a descender. A partir de las 18:00 h hasta las 01:00 h

- también se aprecia un pequeño aumento de los niveles de NO<sub>2</sub>. En ambos contaminantes los valores más bajos se dan de madrugada (03:00 h a 06:00 h).
- 1.3. En 2018 los niveles de ambos contaminantes aumentan con vientos del segundo cuadrante y en algunas direcciones del tercer cuadrante. En 2019 aumentan principalmente con vientos del oeste-suroeste (tercer cuadrante).
  - 1.4. En ambos años los niveles de NO y NO<sub>2</sub> aumentan con bajas velocidades de viento (calmas).
2. Sobre la influencia del tráfico de cruceros en los niveles de concentración de NO y NO<sub>2</sub>.
    - 2.1. Al dividir en grupos según la etiqueta “Cruceros B” sin restricción horaria se obtiene evidencia estadística sobre la diferencia entre el grupo “Hay crucero” y “No hay crucero”; sin embargo, como se ha comentado en el apartado 1.2 en el horario de 7:00 h a 19:00 h se observa un aumento de los niveles de los contaminantes con respecto al resto de horas del día que se pueden explicar por otros factores que no son el tráfico de cruceros.
    - 2.2. Al aplicar una restricción horaria de 07:00 h a 19:00 h no se observa diferencia estadística significativa que respalde la diferencia entre los grupos “Hay crucero” y “No hay crucero” en el año 2018. Sin embargo, en 2019 sí se observa esta diferencia para ambos contaminantes.
    - 2.3. Manteniendo la restricción horaria, al realizar un estudio hora por hora se obtiene diferencia estadística significativa solo en 2019 de 12:00 h a 18:00 h para el NO y para el NO<sub>2</sub> de 7:00 h a 9:00 h y de 11:00 h a 18:00 h.
    - 2.4. Manteniendo la restricción horaria, al realizar un estudio diario se obtiene diferencia estadística significativa con mayor concentración cuando hay crucero en 2018 los sábados para el NO<sub>2</sub>. En 2019 existen diferencias significativas todos los días para ambos contaminantes excepto los martes.
    - 2.5. Solo se obtiene diferencia estadística en 2018 para el NO<sub>2</sub> entre los grupos “Entrada o salida de crucero” y “Estacionamiento de crucero”, con mayor concentración del contaminante en el grupo “Entrada o salida de crucero”. No se obtiene ninguna diferencia en el estudio hora por hora.
    - 2.6. En 2018 se obtiene diferencia para ambos contaminantes en las direcciones sur y sur-suroeste, con mayor concentración cuando hay crucero en la dársena. En 2019 existe diferencia en el sur, sur-suroeste y oeste-suroeste (tercer cuadrante), además de en el norte-noroeste.
    - 2.7. En 2018 hay mayor concentración de NO y NO<sub>2</sub> cuando hay crucero con vientos y vientos fuertes. Por el contrario, en 2019 se da una mayor concentración con crucero con calmas, vientos flojos y vientos.

## Dióxido de azufre SO<sub>2</sub>

1. Por factores diferentes al tráfico de cruceros se obtiene:
  - 1.1. Según la evolución horaria los niveles de SO<sub>2</sub> aumentan a partir de las 9:00 h hasta las 21:00 h, que comienzan a descender. Los niveles más bajos se dan de madrugada (01:00 h a 07:00 h) y los más altos sobre las 16:00 h – 17:00 h.
  - 1.2. Las concentraciones de SO<sub>2</sub> aumentan en el segundo cuadrante de direcciones de viento, lo que podría deberse a la actividad industrial de la dársena de Escombreras por masas de aire que sobrepasan la sierra que queda al norte de esta dársena (Sierra Gorda).
  - 1.3. En ambos años se aprecia una mayor concentración a bajas velocidades que a altas.
2. Sobre la influencia del tráfico de cruceros en los niveles de concentración de SO<sub>2</sub>:
  - 2.1. Al dividir en grupos según la etiqueta “Cruceros B” sin restricción horaria se obtiene evidencia estadística sobre la diferencia entre el grupo “Hay crucero” y “No hay crucero” en 2018; sin embargo, como se ha comentado en el apartado 1.1 en el horario de 9:00 h a 21:00 h se observa un aumento de los niveles de los contaminantes con respecto al resto de horas del día que se pueden explicar por otros factores que no son el tráfico de cruceros.
  - 2.2. Al aplicar una restricción horaria de 07:00 h a 19:00 h en 2018 se observa diferencia estadística significativa que respalda la diferencia entre los grupos “Hay crucero” y “No hay crucero”. Sin embargo, en 2019 no se observa esta diferencia.
  - 2.3. Manteniendo la restricción horaria, al realizar un estudio hora por hora se obtiene diferencia estadística significativa con mayor concentración cuando hay crucero en 2018 de 12:00 h a 14:00 h y a las 17:00 h. En 2019 no se observa diferencia para ninguna franja horaria.
  - 2.4. Manteniendo la restricción horaria, al realizar un estudio diario se obtiene diferencia estadística significativa con mayor concentración con crucero en 2018 los lunes, martes y sábado. En 2019 solamente existen diferencias significativas con mayor concentración cuando hay crucero los lunes.
  - 2.5. No se observa diferencia estadística significativa entre las maniobras de entrada o salida de cruceros de la Dársena y las horas de estacionamiento del crucero en puerto en ningún año para este contaminante.
  - 2.6. En 2018 se obtiene diferencia estadística en las direcciones este-noreste, este y sur-suroeste, con mayor concentración cuando hay crucero en la dársena. El incremento en el primer cuadrante podría deberse a masas de aire enriquecidas en este contaminante que son arrastradas desde el Valle de Escombreras hacia el Campo de Cartagena (brisa mar tierra), y que se encuentran con un flujo de viento del este, procedente del área de la Manga del Mar Menor que empuja esa masa de aire hacia la ciudad de Cartagena.
  - 2.7. En 2018 hay mayor concentración de SO<sub>2</sub> cuando hay crucero con vientos flojos, vientos y vientos fuertes.

## Ozono O<sub>3</sub>

6. Por factores diferentes al tráfico de cruceros se obtiene:
  - 6.1. En ambos años los niveles de O<sub>3</sub> son más elevados durante el fin de semana que de lunes a viernes.
  - 6.2. Según la evolución horaria los niveles de O<sub>3</sub> aumentan a partir de las 11:00 h y empiezan su descenso de madrugada en ambos años. El pico de menor concentración se da sobre las 09:00 h.
  - 6.3. En 2018 los niveles del contaminante aumentan con vientos de algunas direcciones del tercer y cuarto cuadrante, mientras que en 2019 lo hacen con algunas direcciones del cuarto y primer cuadrante.
  - 6.4. En ambos años los niveles de O<sub>3</sub> aumentan con vientos y vientos fuertes
7. Sobre la influencia del tráfico de cruceros en los niveles de concentración de O<sub>3</sub>:
  - 7.1. Al dividir en grupos según la etiqueta “Cruceros B” sin restricción horaria se obtiene evidencia estadística sobre la diferencia entre el grupo “Hay crucero” y “No hay crucero” en 2018; sin embargo, como se ha comentado en el apartado 6.2 a partir de las 11:00 h se observa un aumento de los niveles de ozono se pueden explicar por otros factores que no son el tráfico de cruceros.
  - 7.2. Al aplicar una restricción horaria de 07:00 h a 19:00 h en 2019 se observa que existe evidencia estadística significativa que señala la diferencia entre el grupo “Hay crucero” y “No hay crucero”, con mayor concentración de contaminantes en el grupo “No hay crucero”.
  - 7.3. Manteniendo la restricción horaria, al realizar un estudio hora por hora se obtiene diferencia estadística significativa solo en 2019 en algunas franjas horarias (13:00 h, 15:00 h y 16:00 h) con mayor concentración de ozono en el grupo “No hay crucero”.
  - 7.4. Manteniendo la restricción horaria, al realizar un estudio diario se obtiene diferencia estadística significativa en 2018 los martes con mayor concentración cuando hay crucero. Por el contrario, en 2019 existen diferencias significativas los miércoles, jueves, viernes y domingo con mayor concentración en el grupo “No hay crucero”.
  - 7.5. Se obtiene diferencia estadística en ambos años para los grupos “Estacionamiento de crucero” y “Entrada o salida de crucero”, con mayor concentración de ozono en el estacionamiento.
  - 7.6. En 2018 se observa mayor concentración de ozono con crucero en las direcciones norte-noreste y este-noreste; mientras que se observa mayor concentración sin crucero en las direcciones sur y sur-suroeste. En 2019 en el sur-suroeste, oeste-suroeste y norte-noroeste se obtiene mayor concentración en el grupo “No hay crucero”.
  - 7.7. En 2018 hay mayor concentración de O<sub>3</sub> cuando no hay crucero con vientos y vientos fuertes. En 2019 se da una mayor concentración sin crucero con vientos flojos y vientos fuertes.

En un estudio llevado a cabo en el puerto de Barcelona (Perdiguero and Sanz, 2020) se observó una distribución diaria de los contaminantes en la que se encontraron dos picos de concentración de contaminantes: uno de 07:00 h a 11:00 h y otro de 19:00 h a 22:00 h. Esta distribución es similar a la que se da en Cartagena, principalmente para los  $\text{NO}_x$ .

Sin embargo, en otros estudios como el llevado a cabo en Venecia por Contini *et al.* (2011) se encuentran mayores concentraciones de algunos contaminantes en los periodos nocturnos en comparación con los diurnos.

En el estudio nombrado anteriormente realizado en Barcelona se concluyó que a mayor velocidad de viento se observaban menores niveles de contaminación, resultado que también se obtiene para los contaminantes  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_2$  en el estudio realizado en Cartagena.

Además, Perdiguero y Sanz (2020) obtuvieron que se produce un impacto positivo en las terminales del puerto en los contaminantes  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_2$  con la actividad de los cruceros. Concluyeron que el estacionamiento de los cruceros aumentaba en un 22,1 % y 97,5 % el nivel de  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_2$  con respecto a la media en las terminales, respectivamente; y que los niveles de los contaminantes disminuían cuando los cruceros abandonaban el puerto.

Es de importancia resaltar además que en este mismo estudio del puerto de Barcelona los valores de los contaminantes  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_2$  se incrementaban incluso a 1 km de distancia del puerto de Barcelona, en un 63,2 % y un 42,3 %, respectivamente, con respecto a la media horaria cuando no hay actividad de cruceros en el puerto. Esta influencia en la calidad del aire disminuye con la distancia al puerto, hasta desaparecer a los 7 - 10 km.

Por el contrario, en un estudio llevado a cabo por Saxe y Larsen (2004) se concluyó que la contribución de los barcos a la contaminación por  $\text{SO}_2$  no era significativa en áreas urbanas cercanas a los puertos daneses de Copenhague, Elsinor y Køge.

Y, por último, en otro estudio llevado a cabo en Nápoles por Munera *et al.* (2018) se obtuvo que la contribución de las emisiones de los cruceros a la concentración del  $\text{SO}_2$  era menor que la del  $\text{NO}_2$  y se estimaba en un 1% aproximado para promedios a largo plazo, que se justificaba por el bajo contenido en azufre (0,1% masa) del combustible utilizado a menos de 2 millas del puerto en que se realizó el estudio.

En el estudio realizado en la dársena de Cartagena se obtiene significación del 95% que respaldaría el aumento significativo de los valores de estos contaminantes en el horario de mayor afluencia de cruceros a menos de 1 km de la zona de estacionamiento de los cruceros, pero se trata de resultados que difieren en los dos años de estudio ya que la diferencia estadística se obtiene en 2019 para los  $\text{NO}_x$  y en 2018 para el  $\text{SO}_2$ .

Como resaltaban Munera *et al.* (2018), la normativa relativa al contenido de azufre en los combustibles utilizados en los cruceros podría explicar que no se obtenga significación en el aumento de los valores del  $\text{SO}_2$  en la calidad del aire de la ciudad de Cartagena, ya que el contenido máximo es de 0,1 % en masa en los puertos de la Unión Europea. Sin embargo, esta normativa ha estado vigente en los dos años de estudio, por lo que se esperarían unos resultados similares en cada año si esta fuera la causa de su significación. Es necesario tener en cuenta en relación con este contaminante que en el Valle de Escombreras, situado al este-

sureste del puerto de Cartagena se realizan actividades industriales que producen emisiones de estos contaminantes.

Además, no se ha tenido acceso para este estudio a información sobre la presencia de buques mercantes o de la armada en el puerto de Cartagena, que también pueden contribuir a la presencia de los contaminantes estudiados. Solo se ha estudiado la posible contribución de la emisión de los cruceros a la calidad del aire de la ciudad, pero es necesario resaltar que no se han tenido en cuenta el resto de actividades que se llevan a cabo en el puerto ni las actividades industriales del Valle de Escombreras por no disponer de esa información sobre sus emisiones.

Con respecto a la diferencia entre las fases de estacionamiento y maniobras, Sorte *et al.* (2019) obtuvieron que los cruceros en estacionamiento en el puerto de Leixões (Portugal) contribuyeron en más de un 50 % a los valores de concentración de los  $\text{NO}_x$ , mientras que el tránsito de los barcos en la entrada y salida al puerto contribuían menos de un 1 % a la concentración de estos contaminantes. Justifican que el tiempo que los buques pasan estacionados en el puerto supera notablemente al tiempo de las maniobras de entrada o salida.

Un resultado similar se observa en los estudios de Perdiguero and Sanz (2020), Villalba and Gemechu (2011) y CAIMANS (2015) llevados a cabo en el puerto de Barcelona. En estos análisis se observa que el mayor impacto de la actividad de los cruceros se da durante la fase del estacionamiento en puerto, ya que los barcos mantienen sus motores encendidos para llevar a cabo las actividades que se realizan en el buque. La significación que encuentran para las maniobras de entrada y salida del puerto en cuanto a impacto en la concentración de contaminantes es mucho menor que durante el estacionamiento.

En el caso del puerto de Cartagena, en 2018 se observa un aumento estadísticamente significativo del nivel de  $\text{NO}_2$  durante la fase de entrada o salida del puerto con respecto a la fase de estacionamiento, contrario a los resultados obtenidos en otros estudios. Para el  $\text{SO}_2$  no se observa ninguna diferencia significativa entre estas dos fases, mientras que en el caso del ozono en ambos años la concentración del contaminante aumenta de forma estadísticamente significativa durante el estacionamiento con respecto a la fase de maniobras en puerto.

En un estudio hora por hora no se obtiene ninguna diferencia estadística significativa en ningún año para ningún contaminante en ninguna franja horaria entre la fase de maniobras y la de estacionamiento. Esto resultados podría deberse a que las horas de estacionamiento totales superan notablemente a las horas de maniobras en la dársena.

En relación con el ozono, Perdiguero y Sanz (2020) obtuvieron que se produce un impacto negativo en las terminales del puerto en este contaminante con la actividad de los cruceros, reduciendo los niveles de  $\text{O}_3$  a causa del tráfico de cruceros en el puerto. Explican que esto puede deberse a las reacciones:  $\text{NO} + \text{O}_3 = \text{NO}_2 + \text{O}_2$  y  $\text{NO}_2 + \text{O}_3 = \text{NO} + 2\text{O}_2$ . Por lo tanto, como consecuencia de las emisiones a la atmósfera de  $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$  se obtienen niveles más bajos de  $\text{O}_3$ .

Este resultado de menor concentración de ozono cuando hay presencia de cruceros también se ha obtenido en el estudio realizado en la dársena de Cartagena en el año 2019, incluso en estudios semanales y horarios.

En último lugar, cabe resaltar que la mayoría de los trabajos similares que se han realizado escogen una escala temporal diaria para analizar la contribución de los barcos a la concentración de contaminantes, aunque sería necesario considerar si una escala temporal como mínimo horaria sería la más adecuada para obtener conclusiones fiables debido a que el estacionamiento de cruceros en los puertos no es habitual que supere las 24 h.

## 7. Conclusiones

Tras la revisión bibliográfica sobre la contaminación atmosférica por el transporte marítimo de pasajeros en forma de cruceros y la realización de un estudio estadístico sobre la influencia de la emisión de contaminantes de los cruceros en la Dársena de Cartagena a la calidad del aire de la ciudad se han obtenido las siguientes conclusiones:

1. El turismo de cruceros crece año a año; sin embargo, a pesar de que es un factor positivo para el crecimiento económico de las ciudades puede tener consecuencias en la salud de las personas y animales, en la vegetación y en los materiales de las ciudades cercanas a los puertos debido a una posible disminución de la calidad del aire.
2. La preocupación por regular las prácticas de los cruceros en las cercanías a las ciudades y en los puertos trae como consecuencia el endurecimiento de los requerimientos para que un crucero pueda desplazarse por los puertos y estacionar en ellos. También provoca que se apueste por nuevas formas de conseguir energía en la construcción de nuevos buques o en la mejora continua de los buques ya en tránsito. Ejemplo de esto sería la investigación para el uso de combustibles menos contaminantes, por ejemplo sin contenido en azufre.
3. Se cumple con los límites del Real Decreto 201/2011 para los contaminantes NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub>.
4. Existen muchos factores y actividades que afectan a la calidad del aire de la ciudad de Cartagena además del tráfico de cruceros. Destaca la actividad industrial del Valle de Escombreras, el tráfico de mercancías y de barcos de la armada o el tráfico de vehículos en la ciudad.
5. El tratamiento estadístico realizado en relación al tráfico de cruceros muestra resultados muy distintos para cada año de estudio:
  - 5.1. En 2019 para el NO y el NO<sub>2</sub> se obtiene mayor evidencia estadística de la influencia del tráfico de cruceros en la concentración de los contaminantes que en el año 2018.
  - 5.2. Por el contrario, para el SO<sub>2</sub> existe más evidencia estadística que justifica la influencia del tráfico de cruceros en la concentración del contaminante en 2018 que en 2019.
6. El impacto de la actividad de los cruceros en la calidad del aire se hace significativa solo en determinadas franjas horarias y para distintos contaminantes cada año. Lo mismo ocurre en un análisis diario.
7. En un estudio hora por hora no se obtiene ninguna diferencia entre el estacionamiento de cruceros en la dársena y las fases de maniobra en el puerto (fase de entrada o de salida).
8. Se observan mayores concentraciones de NO<sub>x</sub> cuando hay crucero si el viento viene de direcciones del tercer cuadrante, lo cual tiene importancia debido a la localización del puerto de muestreo con respecto al puerto. Lo mismo ocurre para el SO<sub>2</sub> en 2018.
9. El contaminante secundario O<sub>3</sub> por lo general presenta unos resultados y distribuciones contrarios a los NO<sub>x</sub> (contribución negativa cuando los NO<sub>x</sub> presentan contribución positiva).

## 8. Bibliografía

CAIMANS (2015) *Air quality impact and green house gases assessment for cruise and passenger ships*.

Chatzinikolaou, S. D., Oikonomou, S. D. and Ventikos, N. P. (2015) 'Health externalities of ship air pollution at port - Piraeus port case study', *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Elsevier Ltd, 40, pp. 155–165. doi: 10.1016/j.trd.2015.08.010.

combustión | Definición | Diccionario de la lengua española | RAE - ASALE (2020). Available at: <https://dle.rae.es/combusti%2525C3%2525B3n> (Accessed: 29 May 2020).

*Cruise Ship Engine, Propulsion, Fuel Consumption* | CruiseMapper (2015). Available at: <https://www.cruisemapper.com/wiki/752-cruise-ship-engine-propulsion-fuel#Ing> (Accessed: 27 May 2020).

Díaz-Bautista, C. A. (2007) 'La protección civil frente a las agresiones medioambientales en Derecho Romano', *Revista Jurídica de la Región de Murcia*, núm 38, pp. 13–42.

Documento BOE-A-2012-1645 (2011). Available at: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-1645> (Accessed: 22 May 2020).

*El lenguaje de los meteorólogos: Los vientos* | Aemetblog (2016). Available at: <https://aemetblog.es/2016/03/29/el-lenguaje-de-los-meteorologos-los-vientos/> (Accessed: 2 June 2020).

Gil, A. (2010) *Titanic: building the world's most famous ship*.

*Growth* | Cruise Market Watch (2020). Available at: <https://cruisemarketwatch.com/growth/> (Accessed: 23 May 2020).

Hernández Grau, J. (2013) 'Combustión y combustibles: Estequiometría de la combustión'.

*IMO emission control areas* (2015). Available at: <https://www.shipownersclub.com/louise-hall-sulphur-requirements-imo-emission-control-areas/> (Accessed: 13 June 2020).

INE (2019) *Murcia: Población por municipios y sexo*. Available at: <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=2883&L=0> (Accessed: 2 June 2020).

International Maritime Organization (IMO) (2015) *Prevención de la contaminación atmosférica ocasionada por los buques*. Available at: <http://www.imo.org/es/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Paginas/Air-Pollution.aspx> (Accessed: 22 May 2020).

Liu, D. and Lipták, B. (2000) *Air Pollution*. Lewis Publishers.

*MSC Cruises Firms Order for Two More LNG-Fuelled Ships* (2020). Available at: <https://www.maritime-executive.com/article/msc-cruises-firms-order-for-two-more-lng-fuelled-ships> (Accessed: 27 May 2020).

Munera, F. et al. (2018) 'Impact on air quality of cruise ship emissions in Naples, Italy', *Atmospheric Environment*, 187, pp. 70–83.

- Murcianatural - Clima (2004). Available at: <http://www.murcianatural.carm.es/web/guest/clima> (Accessed: 19 June 2020).
- Olmer, N. *et al.* (2017) *GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM GLOBAL SHIPPING, 2013-2015*. Available at: [www.theicct.org](http://www.theicct.org) (Accessed: 23 May 2020).
- Ozono - Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2018). Available at: <https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/calidad-del-aire/salud/ozono.aspx> (Accessed: 22 May 2020).
- Pedaniás de Cartagena - Región de Murcia Digital (2004). Available at: <https://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=a,75,c,567,m,2140> (Accessed: 18 June 2020).
- Perdiguero, J. and Sanz, A. (2020) 'Cruise activity and pollution: The case of Barcelona', *Transportation Research Part D*, 78. Available at: <https://www.journals.elsevier.com/transportation-research-part-d-transport-and-environment>.
- Puertos del Estado - Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (2020). Available at: [http://www.puertos.es/es-es/estadisticas/Paginas/estadistica\\_mensual.aspx](http://www.puertos.es/es-es/estadisticas/Paginas/estadistica_mensual.aspx) (Accessed: 2 June 2020).
- Querol, X. *et al.* (2012) *Bases científico-técnicas para un Plan Nacional de Calidad del Aire*. Available at: [http://www.csic.es/coleccion-informes?p\\_p\\_id=contentviewerservice\\_WAR\\_alfresco\\_packportlet&p\\_p\\_lifecycle=1&p\\_p\\_state=maximized&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-1&p\\_p\\_col\\_pos=1&p\\_p\\_col\\_count=2&\\_contentviewerservice\\_WAR\\_alfresco\\_packportlet\\_struts\\_action=/](http://www.csic.es/coleccion-informes?p_p_id=contentviewerservice_WAR_alfresco_packportlet&p_p_lifecycle=1&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-1&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&_contentviewerservice_WAR_alfresco_packportlet_struts_action=/).
- Saxe, H. and Larsen, T. (2004) 'Air pollution from ships in three Danish ports', *Atmospheric Environment*, 38.
- Sorte, S. *et al.* (2019) 'Assessment of source contribution to air quality in an urban area close to a harbor: Case-study in Porto, Portugal', *Science of the Total Environment*, 662, pp. 347–360.
- Transport & Environment (2019) *One corporation to pollute them all | Transport & Environment*. Available at: <https://www.transportenvironment.org/publications/one-corporation-pollute-them-all> (Accessed: 22 May 2020).
- Villalba, G. and Gemechu, E. D. (2011) 'Estimating GHG emissions of marine ports-the case of Barcelona', *Energy Policy*. Elsevier Ltd, 39(3), pp. 1363–1368. doi: 10.1016/j.enpol.2010.12.008.
- WHO (2018a) 'WHO | CLEAN AIR FOR HEALTH: Geneva Action Agenda', WHO. World Health Organization. Available at: <https://www.who.int/phe/news/clean-air-for-health/en/> (Accessed: 22 May 2020).
- WHO (2018b) 'WHO | Mortality and burden of disease from ambient air pollution', WHO. World Health Organization.
- WHO (2020) 'WHO | Ambient air pollution: Pollutants', WHO. World Health Organization.

## Índice de tablas

Tabla 1: Emisiones de contaminantes de cruceros 2017. Fuente: Transport & Environment (2019) .....	5
Tabla 2: Emisiones de SOx de vehículos y cruceros en 2017. Fuente: Transport & Environment (2019) .....	6
Tabla 3: Composición elemental y características fueloil. Fuente: Hernández Grau (2013) .....	20
Tabla 4: Información de la Estación de Mompeán.....	28
Tabla 5: Características de la estación de Mompeán. Fuente: CARM .....	28
Tabla 6: Estacionamiento de cruceros en la dársena de Cartagena 2018-2019. Fuente: APC ...	33
Tabla 7: Buques que pernoctaron en el periodo estudiado. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la APC .....	34
Tabla 8: Repetición de cruceros en el periodo estudiado. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la APC .....	34
Tabla 9: Estadísticos de cada muestra de contaminantes (2018).....	38
Tabla 10: Estadísticos de cada muestra de contaminantes (2019).....	38
Tabla 11: Prueba de normalidad Kolmogórov-Smirnov (2018).....	41
Tabla 12: Prueba de normalidad Kolmogórov-Smirnov (2019).....	44
Tabla 13: Prueba de log-normalidad Kolmogórov-Smirnov (2018) .....	47
Tabla 14: Prueba de log-normalidad Kolmogórov-Smirnov (2019) .....	50
Tabla 15: Prueba homogeneidad varianzas 2018 .....	53
Tabla 16: Prueba homogeneidad varianzas 2019 .....	53
Tabla 17: Rangos para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" (2018) .....	76
Tabla 18: Estadísticos de contraste para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" (2018).....	76
Tabla 19: Rangos para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" (2019) .....	80
Tabla 20: Estadísticos de contraste para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" (2019).....	80
Tabla 21: Rangos para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" de 7 h a 19 h (2018) .....	84
Tabla 22: Estadísticos de contraste para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" de 7 h a 19 h (2018).....	84
Tabla 23: Rangos para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" de 7 h a 19 h (2019) .....	88
Tabla 24: Estadísticos de contraste para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" de 7 h a 19 h (2019).....	88
Tabla 25: Prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" por horas de 7 h a 19 h (2018) .....	93
Tabla 26: Prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" por horas de 7 h a 19 h (2019) .....	96
Tabla 27: Prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" por días con restricción horaria (2018).....	99
Tabla 28: Prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" por días con restricción horaria (2019).....	102

Tabla 29: Rangos para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros C" de 7 h a 19 h (2018) .....	103
Tabla 30: Estadísticos de contraste para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros C" de 7 h a 19 h (2018) .....	103
Tabla 31: Rangos para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros C" de 7 h a 19 h (2019) .....	106
Tabla 32: Estadísticos de contraste para prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros C" de 7 h a 19 h (2019) .....	106
Tabla 33: Prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros C" por horas de 7 h a 19 h (2018) .....	111
Tabla 34: Prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros C" por horas de 7 h a 19 h (2019) .....	114
Tabla 35: Prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" por rumbos (2018) .....	117
Tabla 36: Prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" por rumbos (2019) .....	120
Tabla 37: Prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" por rangos (2018) .....	123
Tabla 38: Prueba U de Mann Whitney según etiqueta "Cruceros B" por rangos (2019) .....	126

## Índice de figuras

Figura 1: Distribución de rutas de líneas de cruceros en Europa 2017. Fuente: Transport & Environment (2019) .....	6
Figura 2: Emisiones de SO <sub>x</sub> de vehículos y cruceros en España en 2017. Fuente: Transport & Environment (2019) .....	7
Figura 3: Emisiones de SO <sub>x</sub> de vehículos y cruceros en Europa en 2017. Fuente: Transport & Environment (2019) .....	7
Figura 4: Inversión térmica - Situación normal. ....	13
Figura 5: Inversión térmica - Situación de inversión. ....	13
Figura 6: Emisión de contaminantes en la dársena de Cartagena I. Fuente: propia. ....	13
Figura 7: Emisión de contaminantes en la dársena de Cartagena II. Fuente: propia. ....	13
Figura 8: Partes de una turbina de gas. Fuente: Elaboración propia. ....	17
Figura 9: Situación de las Zonas de Control de Emisiones (ECA). Fuente: <i>IMO emission control areas</i> (2015) .....	21
Figura 10: Evolución del contenido en azufre en el combustible utilizado en los barcos. Fuente: Elaboración propia. ....	22
Figura 11: Estaciones de Calidad del Aire de la Región de Murcia. Fuente: CARM .....	26
Figura 12: Situación de Estación de Mompeán en verde y Estación del Valle de Escombreras en naranja. Fuente: <i>GoogleMaps</i> .....	26
Figura 13: Rosa de los vientos 2018-2019. Fuente: Elaboración propia .....	27
Figura 14: Situación de la estación de Mompeán. Fuente: <i>GoogleMaps</i> .....	27
Figura 15: Estación de Mompeán.....	28
Figura 16: Ubicación de Cartagena en la Región de Murcia. Fuente: <i>Pedanías de Cartagena - Región de Murcia Digital</i> (2004) .....	31
Figura 17: Población por sexo y edad (grupos quinquenales). Cartagena, 2019. Fuente: INE ...	32
Figura 18: Frecuencia mensual de cruceros 2018 (recuento de casos). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la APC .....	33
Figura 19: Frecuencia mensual de cruceros 2019 (recuento de casos). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la APC .....	34
Figura 20: Histograma distribución de cruceros por horas (recuento de casos). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la APC .....	35
Figura 21: Histograma cruceros 2018-2019 I (recuento de casos). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la APC .....	36
Figura 22: Histograma cruceros 2018-2019 II (recuento de casos). Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la APC .....	37
Figura 23: Barras de error comparativa por años para NO .....	39
Figura 24: Barras de error comparativa por años para NO <sub>2</sub> .....	39
Figura 25: Barras de error comparativa por años para SO <sub>2</sub> .....	40
Figura 26: Barras de error comparativa por años para O <sub>3</sub> .....	40
Figura 27: Histograma para muestra de NO (2018) .....	42
Figura 28: Histograma para muestra de NO <sub>2</sub> (2018).....	42
Figura 29: Histograma para muestra de SO <sub>2</sub> (2018).....	43
Figura 30: Histograma para muestra de O <sub>3</sub> (2018) .....	43

Figura 31: Histograma para muestra de NO (2019) .....	45
Figura 32: Histograma para muestra de NO <sub>2</sub> (2019).....	45
Figura 33: Histograma para muestra de SO <sub>2</sub> (2019).....	46
Figura 34: Histograma para muestra de O <sub>3</sub> (2019) .....	46
Figura 35: Histograma para muestra logarítmica de NO (2018) .....	48
Figura 36: Histograma para muestra logarítmica de NO <sub>2</sub> (2018).....	48
Figura 37: Histograma para muestra logarítmica de SO <sub>2</sub> (2018) .....	49
Figura 38: Histograma para muestra logarítmica de O <sub>3</sub> (2018) .....	49
Figura 39: Histograma para muestra logarítmica de NO (2019) .....	51
Figura 40: Histograma para muestra logarítmica de NO <sub>2</sub> (2019).....	51
Figura 41: Histograma para muestra logarítmica de SO <sub>2</sub> (2019).....	52
Figura 42: Histograma para muestra logarítmica de O <sub>3</sub> (2019) .....	52
Figura 43: Barra de error NO - Días de la semana (2018) .....	54
Figura 44: Barra de error NO <sub>2</sub> - Días de la semana (2018) .....	55
Figura 45: Barra de error SO <sub>2</sub> - Días de la semana (2018).....	55
Figura 46: Barra de error O <sub>3</sub> - Días de la semana (2018).....	56
Figura 47: Barra de error NO - Días de la semana (2019) .....	57
Figura 48: Barra de error NO <sub>2</sub> - Días de la semana (2019) .....	57
Figura 49: Barra de error SO <sub>2</sub> - Días de la semana (2019).....	58
Figura 50: Barra de error O <sub>3</sub> - Días de la semana (2019).....	58
Figura 51: Barra de error NO – Evolución horaria (2018) .....	59
Figura 52: Barra de error NO <sub>2</sub> – Evolución horaria (2018) .....	60
Figura 53: Barra de error SO <sub>2</sub> – Evolución horaria (2018).....	60
Figura 54: Barra de error O <sub>3</sub> – Evolución horaria (2018).....	61
Figura 55: Barra de error NO – Evolución horaria (2019) .....	62
Figura 56: Barra de error NO <sub>2</sub> – Evolución horaria (2019) .....	62
Figura 57: Barra de error SO <sub>2</sub> – Evolución horaria (2019).....	63
Figura 58: Barra de error O <sub>3</sub> – Evolución horaria (2019).....	63
Figura 59: Rosa de los vientos 2018.....	64
Figura 60: Barras de error NO – Etiqueta “Viento_rumbos” (2018) .....	65
Figura 61: Barras de error NO <sub>2</sub> – Etiqueta “Viento_rumbos” (2018).....	65
Figura 62: Barras de error SO <sub>2</sub> – Etiqueta “Viento_rumbos” (2018).....	66
Figura 63: Barras de error O <sub>3</sub> – Etiqueta “Viento_rumbos” (2018) .....	66
Figura 64: Rosa de los vientos 2019 .....	67
Figura 65: Barras de error NO – Etiqueta “Viento_rumbos” (2019) .....	67
Figura 66: Barras de error NO <sub>2</sub> – Etiqueta “Viento_rumbos” (2019).....	68
Figura 67: Barras de error SO <sub>2</sub> – Etiqueta “Viento_rumbos” (2019).....	68
Figura 68: Barras de error O <sub>3</sub> – Etiqueta “Viento_rumbos” (2019) .....	69
Figura 69: Histograma velocidad de vientos (2018).....	70
Figura 70: Barras de error NO – Etiqueta “Viento_rango” (2018) .....	71
Figura 71: Barras de error NO <sub>2</sub> – Etiqueta “Viento_rango” (2018).....	71
Figura 72: Barras de error SO <sub>2</sub> – Etiqueta “Viento_rango” (2018).....	72
Figura 73: Barras de error O <sub>3</sub> – Etiqueta “Viento_rango” (2018) .....	72
Figura 74: Histograma velocidad de vientos (2019).....	73
Figura 75: Barras de error NO – Etiqueta “Viento_rango” (2019) .....	73

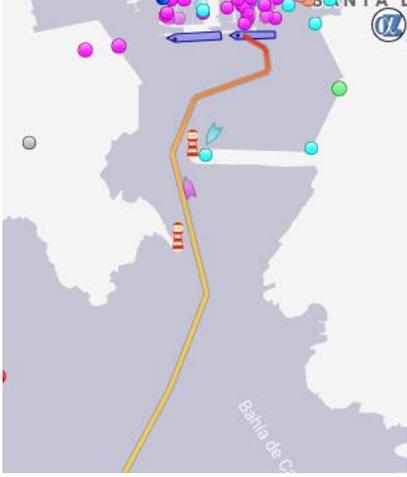
Figura 76: Barras de error NO <sub>2</sub> – Etiqueta “Viento_rango” (2019).....	74
Figura 77: Barras de error SO <sub>2</sub> – Etiqueta “Viento_rango” (2019).....	74
Figura 78: Barras de error O <sub>3</sub> – Etiqueta “Viento_rango” (2019) .....	75
Figura 79: Barra de error NO - Etiqueta “Cruceros B” (2018) .....	77
Figura 80: Barra de error NO <sub>2</sub> - Etiqueta “Cruceros B” (2018).....	78
Figura 81: Barra de error SO <sub>2</sub> - Etiqueta “Cruceros B” (2018).....	78
Figura 82: Barra de error O <sub>3</sub> - Etiqueta “Cruceros B” (2018) .....	79
Figura 83: Barra de error NO - Etiqueta “Cruceros B” (2019) .....	81
Figura 84: Barra de error NO <sub>2</sub> - Etiqueta “Cruceros B” (2019).....	81
Figura 85: Barra de error SO <sub>2</sub> - Etiqueta “Cruceros B” (2019).....	82
Figura 86: Barra de error O <sub>3</sub> - Etiqueta “Cruceros B” (2019) .....	82
Figura 87: Barra de error NO - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2018) .....	85
Figura 88: Barra de error NO <sub>2</sub> - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2018).....	86
Figura 89: Barra de error SO <sub>2</sub> - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2018) .....	86
Figura 90: Barra de error O <sub>3</sub> - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2018) .....	87
Figura 91: Barra de error NO - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2019) .....	89
Figura 92: Barra de error NO <sub>2</sub> - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2019).....	89
Figura 93: Barra de error SO <sub>2</sub> - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2019) .....	90
Figura 94: Barra de error O <sub>3</sub> - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2019) .....	90
Figura 95: Barra de error NO por horas - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2018).....	91
Figura 96: Barra de error NO <sub>2</sub> por horas - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2018).....	92
Figura 97: Barra de error SO <sub>2</sub> por horas - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2018) .....	92
Figura 98: Barra de error O <sub>3</sub> por horas - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2018) .....	93
Figura 99: Barra de error NO por horas - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2019).....	94
Figura 100: Barra de error NO <sub>2</sub> por horas - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2019) .....	94
Figura 101: Barra de error SO <sub>2</sub> por horas - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2019) .....	95
Figura 102: Barra de error O <sub>3</sub> por horas - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2019).....	95
Figura 103: Barra de error NO por días - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2018) .....	97
Figura 104: Barra de error NO <sub>2</sub> por días - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2018).....	98
Figura 105: Barra de error SO <sub>2</sub> por días - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2018).....	98
Figura 106: Barra de error O <sub>3</sub> por días - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2018) .....	99
Figura 107: Barra de error NO por días - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2019) .....	100
Figura 108: Barra de error NO <sub>2</sub> por días - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2019).....	100
Figura 109: Barra de error SO <sub>2</sub> por días - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2019).....	101
Figura 110: Barra de error O <sub>3</sub> por días - Etiqueta “Cruceros B”, 7 h -19 h (2019) .....	101
Figura 111: Barra de error NO - Etiqueta “Cruceros C”, 7 h -19 h (2018) .....	104
Figura 112: Barra de error NO <sub>2</sub> - Etiqueta “Cruceros C”, 7 h -19 h (2018).....	104
Figura 113: Barra de error SO <sub>2</sub> - Etiqueta “Cruceros C”, 7 h -19 h (2018) .....	105
Figura 114: Barra de error O <sub>3</sub> - Etiqueta “Cruceros C”, 7 h -19 h (2018) .....	105
Figura 115: Barra de error NO - Etiqueta “Cruceros C”, 7 h -19 h (2019) .....	107
Figura 116: Barra de error NO <sub>2</sub> - Etiqueta “Cruceros C”, 7 h -19 h (2019).....	107
Figura 117: Barra de error SO <sub>2</sub> - Etiqueta “Cruceros C”, 7 h -19 h (2019).....	108
Figura 118: Barra de error O <sub>3</sub> - Etiqueta “Cruceros C”, 7 h -19 h (2019) .....	108
Figura 119: Barra de error NO por horas - Etiqueta “Cruceros C”, 7 h -19 h (2018).....	109
Figura 120: Barra de error NO <sub>2</sub> por horas - Etiqueta “Cruceros C”, 7 h -19 h (2018) .....	110

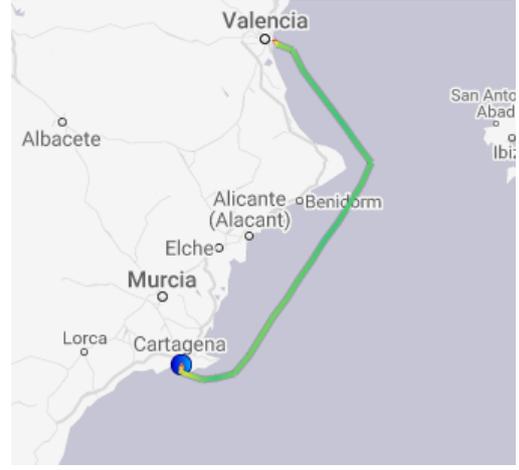
Figura 121: Barra de error SO <sub>2</sub> por horas - Etiqueta "Cruceros C", 7 h -19 h (2018) .....	110
Figura 122: Barra de error O <sub>3</sub> por horas - Etiqueta "Cruceros C", 7 h -19 h (2018) .....	111
Figura 123: Barra de error NO por horas - Etiqueta "Cruceros C", 7 h -19 h (2019).....	112
Figura 124: Barra de error NO <sub>2</sub> por horas - Etiqueta "Cruceros C", 7 h -19 h (2019) .....	112
Figura 125: Barra de error SO <sub>2</sub> por horas - Etiqueta "Cruceros C", 7 h -19 h (2019) .....	113
Figura 126: Barra de error O <sub>3</sub> por horas - Etiqueta "Cruceros C", 7 h -19 h (2019).....	113
Figura 127: Barras de error NO por rumbos según etiqueta "Cruceros B" (2018) .....	115
Figura 128: Barras de error NO <sub>2</sub> por rumbos según etiqueta "Cruceros B" (2018) .....	116
Figura 129: Barras de error SO <sub>2</sub> por rumbos según etiqueta "Cruceros B" (2018).....	116
Figura 130: Barras de error O <sub>3</sub> por rumbos según etiqueta "Cruceros B" (2018).....	117
Figura 131: Barras de error NO por rumbos según etiqueta "Cruceros B" (2019) .....	118
Figura 132: Barras de error NO <sub>2</sub> por rumbos según etiqueta "Cruceros B" (2019) .....	118
Figura 133: Barras de error SO <sub>2</sub> por rumbos según etiqueta "Cruceros B" (2019).....	119
Figura 134: Barras de error O <sub>3</sub> por rumbos según etiqueta "Cruceros B" (2019).....	119
Figura 135: Barras de error NO por rangos según etiqueta "Cruceros B" (2018).....	121
Figura 136: Barras de error NO <sub>2</sub> por rangos según etiqueta "Cruceros B" (2018) .....	122
Figura 137: Barras de error SO <sub>2</sub> por rangos según etiqueta "Cruceros B" (2018) .....	122
Figura 138: Barras de error O <sub>3</sub> por rangos según etiqueta "Cruceros B" (2018) .....	123
Figura 139: Barras de error NO por rangos según etiqueta "Cruceros B" (2019).....	124
Figura 140: Barras de error NO <sub>2</sub> por rangos según etiqueta "Cruceros B" (2019) .....	124
Figura 141: Barras de error SO <sub>2</sub> por rangos según etiqueta "Cruceros B" (2019) .....	125
Figura 142: Barras de error O <sub>3</sub> por rangos según etiqueta "Cruceros B" (2019) .....	125

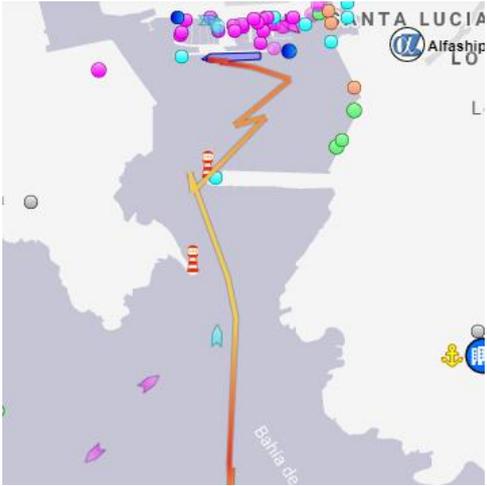
# Anexo I

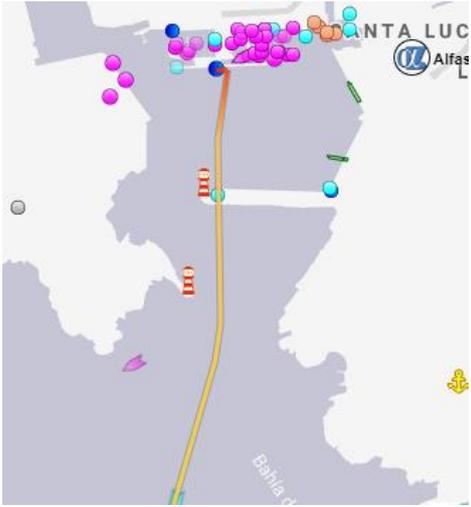
---

*Fichas de cruceros*

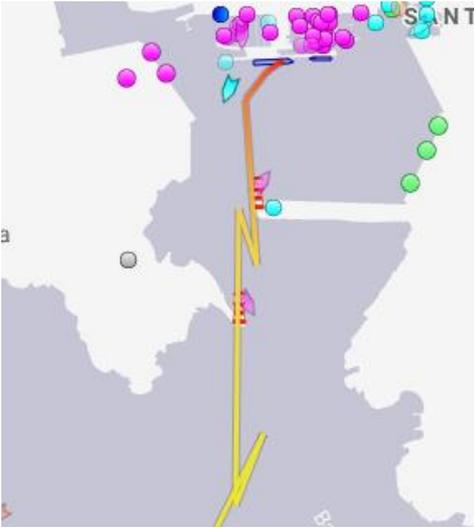
<b>NOMBRE DEL BUQUE</b>		
<i>Aidastella</i>		
<b>HORARIO DE VISITA EN CARTAGENA</b>		
09/05/2020 07:20-17:45 19/05/2019 07:25-17:00		
		
<b>DATOS TÉCNICOS</b>		
<b>Compañía</b>	AIDA Cruises	
<b>Motor</b>	4x CatMak 9M43C Potencia: 37 800 kW	
<b>Combustible</b>	Heavy Fuel Oil (HFO), Marine Diesel Oil (MDO) y Diesel Oil (DO)	
<b>Consumo</b>	177 g/kWh	
<b>Capacidad</b>	2700 personas	

<b>NOMBRE DEL BUQUE</b>		
<i>Azura</i>		
<b>HORARIO DE VISITA EN CARTAGENA</b>		
15/04/2020 07:30-16:45 28/05/2019 07:40-15:55		
		
<b>DATOS TÉCNICOS</b>		
<b>Compañía</b>	P&O Cruises	
<b>Motor</b>	Diesel Wärtsilä: 4 x 12 600 kW + 2 x 8400 kW Siemens eléctricos propulsión: 6 x 12 600 kW	
<b>Combustible</b>	Heavy Fuel Oil (HFO), Marine Diesel Oil (MDO) y Diesel Oil (DO)	
<b>Consumo</b>	173 g/kWh	
<b>Capacidad</b>	3100 personas	

<b>NOMBRE DEL BUQUE</b>	
<i>Britannia</i>	
<b>HORARIO DE VISITA EN CARTAGENA</b>	
14/05/2020 08:00-15:55	
	
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	
<b>Compañía</b>	P&O Cruises
<b>Motor</b>	36 MW de propulsión Energía total instalada: 62,4 MW
<b>Combustible</b>	Heavy Fuel Oil (HFO), Marine Diesel Oil (MDO) y Diesel Oil (DO)
<b>Consumo</b>	173 g/kWh
<b>Capacidad</b>	3647 personas

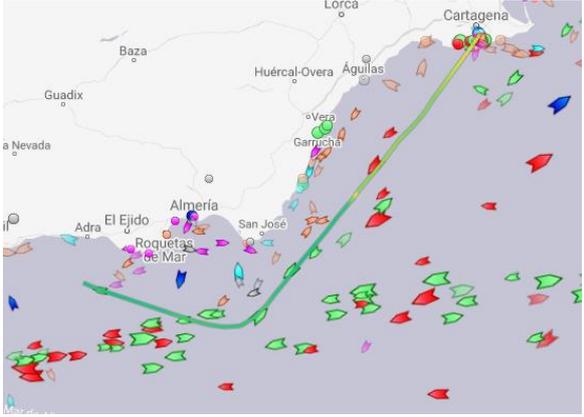
<b>NOMBRE DEL BUQUE</b>		
<i>Corinthian</i>		
<b>HORARIO DE VISITA EN CARTAGENA</b>		
02/05/2019 07:20-13:55		
		
<b>DATOS TÉCNICOS</b>		
<b>Compañía</b>	Grand Circle Cruise Line	
<b>Motor</b>	2x MAN-B&W 3514 kW	
<b>Combustible</b>	Heavy Fuel Oil (HFO), Marine Diesel Oil (MDO) y Diesel Oil (DO)	
<b>Consumo</b>	173 g/kWh	
<b>Capacidad</b>	100 personas	

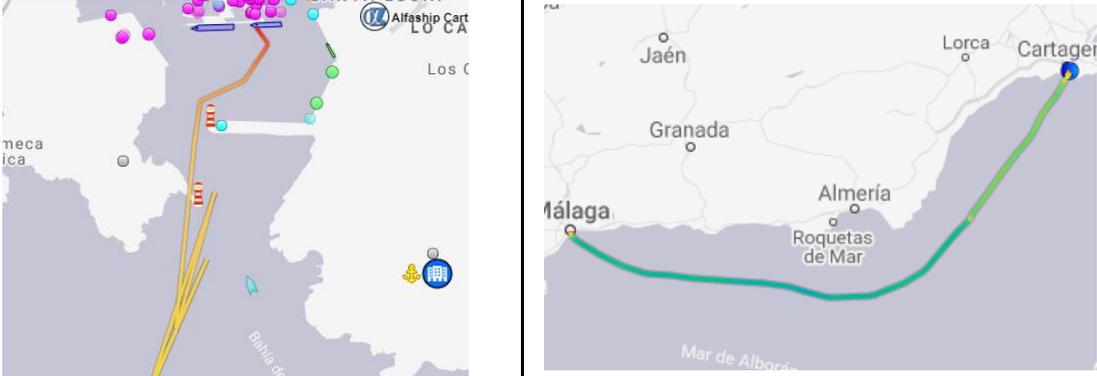
<b>NOMBRE DEL BUQUE</b>		
<i>Koningsdam</i>		
<b>HORARIO DE VISITA EN CARTAGENA</b>		
18/04/2020 16:45-15:45 12/05/2019 07:40-17:00 14/06/2019 07:40-16:50		
		
<b>DATOS TÉCNICOS</b>		
<b>Compañía</b>	Holland America Line	
<b>Motor</b>	Motores eléctricos: 2 Pod x 14 000 kW DD-GG: 4 x 12 600 kW-MAK 12V43C	
<b>Combustible</b>	Heavy Fuel Oil (HFO), Marine Diesel Oil (MDO) y Diesel Oil (DO)	
<b>Consumo</b>	175g/kWh	
<b>Capacidad</b>	2650 personas	

<b>NOMBRE DEL BUQUE</b>		
<i>Wind Surf</i>		
<b>HORARIO DE VISITA EN CARTAGENA</b>		
29/04/2019 06:45-11:55		
		
<b>DATOS TÉCNICOS</b>		
<b>Compañía</b>	Windstar cruises	
<b>Motor y velas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 motores diésel: Wärtsilä-Duvant Crepelle 6 cyl 9120 kW</li> <li>• Propulsión: 2 x Jeumont Schneider 1840 kW</li> <li>• 7 velas triangulares automáticas</li> </ul>	
<b>Combustible</b>	Heavy Fuel Oil (HFO), Marine Diesel Oil (MDO) y Diesel Oil (DO)	
<b>Consumo</b>	173 g/kWh	
<b>Capacidad</b>	342 personas	

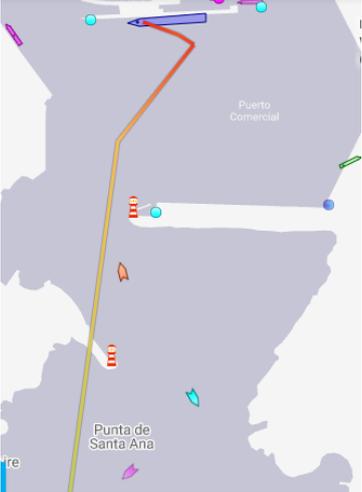
<b>NOMBRE DEL BUQUE</b>		
<i>Marella Dream</i>		
<b>HORARIO DE VISITA EN CARTAGENA</b>		
05/05/2019 07:30-18:00		
		
<b>DATOS TÉCNICOS</b>		
<b>Compañía</b>	Marella Cruises	
<b>Motor</b>	2 x B&W-MAN 23 800 kW	
<b>Combustible</b>	Heavy Fuel Oil (HFO), Marine Diesel Oil (MDO) y Diesel Oil (DO)	
<b>Consumo</b>	168 g/kWh  7877 kg	
<b>Capacidad</b>	1773 personas	

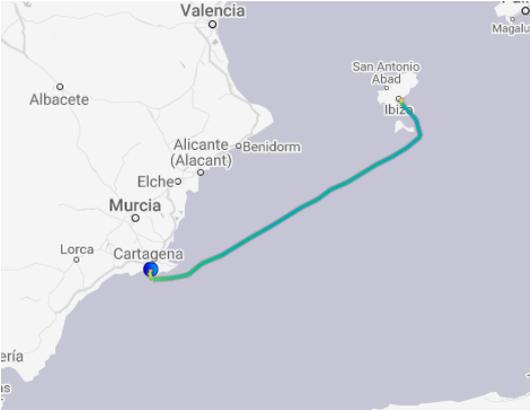
<b>NOMBRE DEL BUQUE</b>		
<i>Ventura</i>		
<b>HORARIO DE VISITA EN CARTAGENA</b>		
30/03/2019 07:40-17:50 06/06/2019 7:45-19:55		
		
<b>DATOS TÉCNICOS</b>		
<b>Compañía</b>	P&O Cruises	
<b>Motor</b>	Diesel Wärtsilä: 4 x 12 600 kW + 2 x 8400 kW Siemens eléctricos propulsión: 6 x 12 600 kW	
<b>Combustible</b>	Heavy Fuel Oil (HFO), Marine Diesel Oil (MDO) y Diesel Oil (DO)	
<b>Consumo</b>	173 g/kWh	
<b>Capacidad</b>	3078 personas	

<b>NOMBRE DEL BUQUE</b>	
<i>Seadream I</i>	
<b>HORARIO DE VISITA EN CARTAGENA</b>	
29/04/2019 07:25-16:45	
 	
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	
<b>Compañía</b>	Seadream Yacht Club
<b>Motor</b>	2x Wärtsilä 12V22HF 3540 kW
<b>Combustible</b>	Heavy Fuel Oil (HFO), Marine Diesel Oil (MDO), and Diesel Oil (DO)
<b>Consumo</b>	173 g/kWh
<b>Capacidad</b>	118 personas

<b>NOMBRE DEL BUQUE</b>		
<i>Horizon</i>		
<b>HORARIO DE VISITA EN CARTAGENA</b>		
30/03/2019 08:30-16:00 06/06/2019 07:45-19:55		
<b>DATOS TÉCNICOS</b>		
<b>Compañía</b>	Pullmantur Cruises	
<b>Motor</b>	2x MAN 8L48/60CR 2x MAN 14V48/60CR Potencia: 19 980 kW	
<b>Combustible</b>	Heavy Fuel Oil (HFO), Marine Diesel Oil (MDO) y Diesel Oil (DO)	
<b>Consumo</b>	173 g/kWh	
<b>Capacidad</b>	1442 personas	

<b>NOMBRE DEL BUQUE</b>		
<i>Clio</i>		
<b>HORARIO DE VISITA EN CARTAGENA</b>		
03/04/2019 07:50-14:25		
		
<b>DATOS TÉCNICOS</b>		
<b>Compañía</b>	Grand Circle Cruise Line	
<b>Motor</b>	2x Wärtsilä 9L20 Potencia: 2990 kW	
<b>Combustible</b>	Heavy Fuel Oil (HFO), Marine Diesel Oil (MDO) y Diesel Oil (DO)	
<b>Consumo</b>	173 g/kWh	
<b>Capacidad</b>	89 personas	

<b>NOMBRE DEL BUQUE</b>		
<i>MSC Sinfonia</i>		
<b>HORARIO DE VISITA EN CARTAGENA</b>		
24/04/2019 08:10-17:50		
		
<b>DATOS TÉCNICOS</b>		
<b>Compañía</b>	MSC Cruises	
<b>Motor</b>	4x Wärtsilä 12V38 31 680 kW	
<b>Combustible</b>	Heavy Fuel Oil (HFO), Marine Diesel Oil (MDO) y Diesel Oil (DO)	
<b>Consumo</b>	173 g/kWh 65 542 kg	
<b>Capacidad</b>	2163 personas	

<b>NOMBRE DEL BUQUE</b>		
<i>Artania</i>		
<b>HORARIO DE VISITA EN CARTAGENA</b>		
07/05/2019 10:10-18:05	 	
<b>DATOS TÉCNICOS</b>		
<b>Compañía</b>	Phoenix Reisen	
<b>Motor</b>	4x Wärtsilä 6L46F 9.500 PS Potencia: 28 800 KW	
<b>Combustible</b>	Heavy Fuel Oil (HFO), Marine Diesel Oil (MDO) y Diesel Oil (DO)	
<b>Consumo</b>	173 g/kWh 65 542 kg	
<b>Capacidad</b>	1200 personas	

<b>NOMBRE DEL BUQUE</b>	
<i>Berlin</i>	
<b>HORARIO DE VISITA EN CARTAGENA</b>	
27/04/2019 12:05-17:30 27/05/2019 07:15-17:00	
	
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	
<b>Compañía</b>	FTI Cruises
<b>Motor</b>	2 × MAN 32/40 Potencia: 10 680 kW
<b>Combustible</b>	Heavy Fuel Oil (HFO), Marine Diesel Oil (MDO) y Diesel Oil (DO)
<b>Consumo</b>	173 g/kWh 65 542 kg
<b>Capacidad</b>	412 personas

<b>NOMBRE DEL BUQUE</b>	
<i>Wind Star</i>	
<b>HORARIO DE VISITA EN CARTAGENA</b>	
19/04/2019 09:25-17:10	
	
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	
<b>Compañía</b>	Windstar Cruises
<b>Motor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3 motores diesel electric</li> <li>• 1 motor eléctrico propulsión</li> <li>• 6 velas triangulares automáticas</li> </ul>
<b>Combustible</b>	Heavy Fuel Oil (HFO), Marine Diesel Oil (MDO) y Diesel Oil (DO)
<b>Consumo</b>	173 g/kWh 65 542 kg
<b>Capacidad</b>	148 personas