



industriales
etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial**

IMPACTO DE LA AUSENCIA DE CRUCEROS DEBIDO A LAS RESTRICCIONES CAUSADAS POR LA PANDEMIA DE SARS- CoV-2 EN LA CALIDAD DEL AIRE DE LA DÁRSENA DE CARTAGENA

TRABAJO FIN DE GRADO

**GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES**

Autor:	Andrés Imbernón Martín
Director:	José María Moreno Grau
Codirectora:	Isabel Costa Gómez



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

ÍNDICE GENERAL

1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 LA CALIDAD DEL AIRE EN LAS CIUDADES COSTERAS	2
1.2 CONTAMINANTES DE ESTUDIO Y SUS EFECTOS NOCIVOS	4
1.2.1 MATERIA PARTICULADA PM ₁₀	5
1.2.2 DIÓXIDO DE AZUFRE SO ₂	6
1.2.3 ÓXIDOS DE NITRÓGENO NO _x	6
1.2.4 OZONO O ₃	7
1.3 EL TRANSPORTE MARÍTIMO: CRUCEROS	8
1.3.1 TECNOLOGÍA DE PROPULSIÓN Y MOTORIZACIÓN	10
1.4 AÑO 2020. PANDEMIA MUNDIAL	13
2 OBJETIVOS	16
3 MATERIAL Y MÉTODOS	19
3.1 CIUDAD DE ESTUDIO	20
3.2 DATOS DE CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES: RED DE VIGILANCIA ATMOSFÉRICA	22
3.3 ESTADÍSTICA Y PROGRAMAS UTILIZADOS	25
3.3.1 PRUEBAS Y TEST ESTADÍSTICOS	25
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
4.1 ACTIVIDAD DE LOS CRUCEROS	26
4.2 ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS.	32
4.2.1 AÑO 2016	32

4.2.2 AÑO 2017	32
4.2.3 AÑO 2018	33
4.2.4 AÑO 2019	33
4.2.5 AÑO 2020	34
4.2.6 TOTALES	34
4.3 GRÁFICOS DE ERROR	35
4.4 ESTUDIO DE NORMALIDAD DE LOS CONTAMINANTES	38
4.4.1 AÑO 2016	38
4.4.2 AÑO 2017	42
4.4.3 AÑO 2018	46
4.4.4 AÑO 2019	50
4.4.5 AÑO 2020	54
4.4.6 TOTALES	58
4.5 ESTUDIO DE LOG NORMALIDAD DE LOS CONTAMINANTES	62
4.6 HOMOGENEIDAD DE LAS VARIANZAS	63
4.6.1 AÑO 2016	63
4.6.2 AÑO 2017	63
4.6.3 AÑO 2018	64
4.6.4 AÑO 2019	64
4.6.5 AÑO 2020	65

4.6.6 TOTALES	65
4.7 DISTRIBUCIÓN DE LOS CONTAMINANTES SEGÚN OTROS FACTORES	66
4.7.1 DÍA DE LA SEMANA	66
4.7.2 HORA DEL DÍA	70
4.7.3 DIRECCIÓN DEL VIENTO	74
4.7.4 VELOCIDAD DEL VIENTO	78
4.8 INFLUENCIA DE LOS CRUCEROS EN LA CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTES	82
4.8.1 PRESENCIA DE CRUCEROS (HAY / NO HAY CRUCEROS)	82
4.8.2 PRESENCIA DE CRUCEROS (HAY / NO HAY CRUCEROS) CON RESTRICCIÓN HORARIA	87
4.8.3 DISPERSIÓN DE LOS CONTAMINANTES SEGÚN LA DIRECCIÓN DEL VIENTO	92
4.8.4 DISPERSIÓN DE LOS CONTAMINANTES SEGÚN LA VELOCIDAD DEL VIENTO	96
4.8.5 PRESENCIA DE LOS CRUCEROS (HAY / NO HAY CRUCEROS) CON RESTRICCIÓN HORARIA Y VIENTOS DE NE	100
<u>5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS</u>	<u>104</u>
<u>6 CONCLUSIONES</u>	<u>110</u>
<u>7 BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>112</u>
<u>8 ANEXO</u>	<u>115</u>
8.1 ESTUDIO DE LOG-NORMALIDAD DE LOS CONTAMINANTES	115
8.1.1 AÑO 2016	115
8.1.2 AÑO 2017	119
8.1.3 AÑO 2018	123

8.1.4 AÑO 2019	127
8.1.5 AÑO 2020	131
8.1.6 TOTALES	135
8.2 GRÁFICAS DE ERROR DIARIAS DE LOS CONTAMINANTES SEGÚN EL AÑO	139
8.2.1 AÑO 2016	139
8.2.2 AÑO 2017	143
8.2.3 AÑO 2018	146
8.2.4 AÑO 2019	149
8.2.5 AÑO 2020	152
8.3 GRÁFICAS DE ERROR HORARIAS DE LOS CONTAMINANTES SEGÚN EL AÑO	155
8.3.1 AÑO 2016	155
8.3.2 AÑO 2017	158
8.3.3 AÑO 2018	161
8.3.4 AÑO 2019	164
8.3.5 AÑO 2020	167

1 Introducción

A lo largo de la historia el transporte marítimo ha evolucionado y prosperado, incorporando nuevas tecnologías y diseños que harían de esta una forma de movimiento más eficaz y viable para el comercio y otros ejercicios. Uno de sus mayores cambios ocurrió cuando se incorporaron sistemas de propulsión mediante la combustión de combustibles fósiles para la generación de energía, la cual se transformaba en energía mecánica que permitiría propulsar a las embarcaciones. Esta filosofía ha evolucionado con el paso de los años, adquiriendo nuevos conceptos de transformación de energía hasta llegar a los motores de combustión interna y de turbina que hoy en día disfrutamos, empleando tecnologías como los sistemas de reactores catalíticos selectivos (Armellini *et al.*, 2018). Estos cambios pueden ser motivados por distintas razones, como pueden ser la propia evolución de la tecnología antes mencionada. Sin embargo, una de las razones de gran peso que promueve estos cambios es la propia preocupación de las personas (ciudadanos, entidades industriales...) en lo referente a la calidad del aire, que nos conducen a la búsqueda de soluciones que garanticen un entorno saludable (Oltra and Sala, 2015).

La percepción pública acerca de la calidad del aire es un factor para tener muy en cuenta ya que está relacionada con el perfil de conducta de los propios ciudadanos, demostrando estos su preocupación en mayor o menor grado en lo referente a su salud. Esta preocupación por la salubridad del aire es el impulsor de estrategias para la gestión la calidad del aire y la construcción de métodos de intervención, como podrían ser la reducción de la contaminación y la protección del ciudadano frente al impacto de tal contaminación (Oltra and Sala, 2015).

En la actualidad, aunque se están implementando nuevos sistemas de motorización empleando GNL, los motores que propulsan la mayoría de las embarcaciones de grandes dimensiones son motores de fuel oil, pudiendo algunas de ellas cambiar dicho combustible por uno más refinado durante su estancia en puerto, o bien emplear motores duales que trabajen simultáneamente a gas y a gasoil en relación 80% - 20% según convenga. Sin embargo, no dejan de ser más contaminantes que el conocido diésel que se emplea en vehículos terrestres, emitiendo grandes cantidades de SO₂ y NO_x. Para el control de la contaminación en las ECA's (*Emission Control Areas*) se han desarrollado una serie de grados de nivel que van desde el nivel 1 (menos restrictivo) al nivel 3 (más restrictivo), implantando el nivel 3 a los cruceros de nueva construcción (Villa Caro, 2017).

1.1 La calidad del aire en las ciudades costeras

Sin duda los núcleos urbanos presentan una mayor exposición ante los contaminantes debido principalmente a la actividad humana que en ellos se concentran.

Debido a que la normativa de emisiones de contaminantes que afecta a las embarcaciones es menos estricta que la de los vehículos terrestres, estos primeros emplean un combustible de menor refinado en comparación, resultando en procesos de combustión menos eficientes y convirtiéndose en fuentes de mayor emisión de contaminantes. Esta emisión de contaminantes aumenta a medida que se concentran en el espacio las fuentes emisoras, siendo las zonas portuarias las más afectadas, según se puede observar en la figura 1.

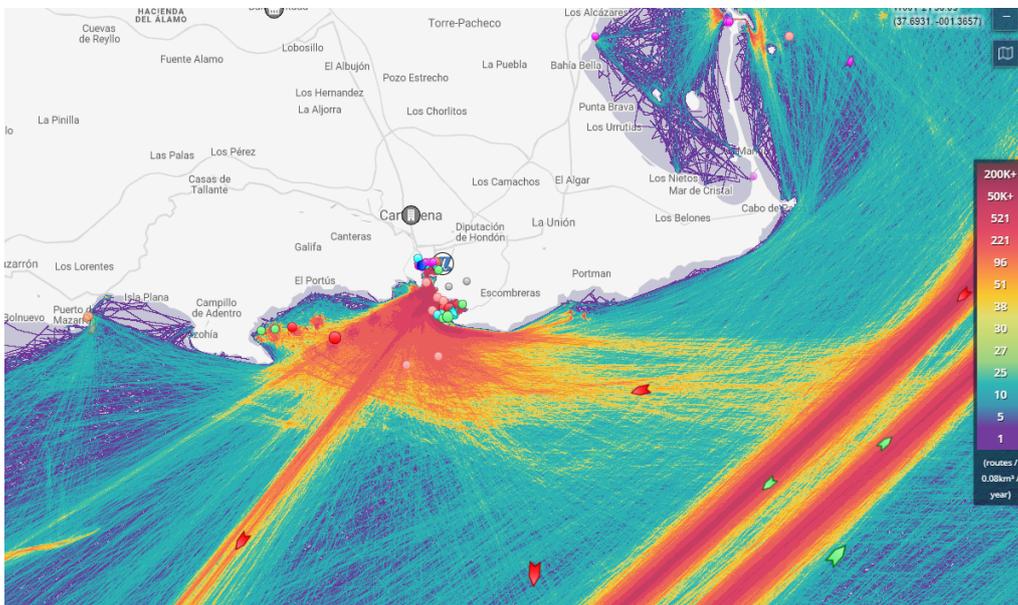


Figura 1. Historial gráfico de trayectos de embarcaciones (Marine Traffic, 2021)

A nivel europeo, las ciudades costeras han mostrado un gran interés y preocupación acerca del impacto que tienen las embarcaciones sobre el medio ambiente. Este problema aumenta en las costas del mar Mediterráneo, donde el tránsito de embarcaciones es bastante denso. España, Italia, Grecia, y otros países costeros como Francia y Noruega son los países más expuestos a la contaminación del aire debido a la actividad de los cruceros, siendo Barcelona (España), Palma (España) y Venecia (Italia) las ciudades más afectadas (Transport & Environment, 2021b).

En Palma se realizó una recogida de firmas apelando la petición de limitar el número de cruceros atracados en puerto a no más de uno, con un límite de 4000 pasajeros. La actitud pasiva del ayuntamiento desembocó una manifestación para poner fin a la despreocupación acerca de la contaminación (Transport & Environment, 2021b).

Por otra parte, la autoridad portuaria de Barcelona está llevando a cabo un proyecto de electrificación de los muelles para suministrar de electricidad a los cruceros atracados en sus puertos, librando de la necesidad de mantener los motores de los barcos en modo de generación y así disminuyendo las emisiones de NO_x en la ciudad, de las cuales un 10% proceden de buques de carga y cruceros. Esta iniciativa pretende implementarse para el año 2025 debido a que el alcance energético actual de la ciudad es incapaz de realizar semejante suministro de forma inmediata (Transport & Environment, 2021b).

En Italia, la autoridad portuaria de Venecia solicitó una petición a los ocho puertos europeos líderes (Barcelona, Ámsterdam, Marsella, Dubrovnik, Zeebrugge, Hamburgo, Palma y Málaga) para realizar un trabajo conjunto para que se logre la compatibilidad entre los cruceros, las infraestructuras portuarias y el medio ambiente (Transport & Environment, 2021b).

Por otro lado, en Svalbard en Noruega ha habido un aumento interanual del 20% en la actividad de cruceros que, sumado al hecho de que el 86% de los cruceros que visitan el Ártico queman HFO (Heavy Fuel Oil) supone una gran amenaza para el medio ambiente escandinavo. Para solventar el problema se inició la campaña HFO Free Arctic en la que se pide el reemplazo del HFO por otro combustible de menor impacto ambiental durante el tránsito de dichas embarcaciones a través de las aguas árticas.

1.2 Contaminantes de estudio y sus efectos nocivos

La contaminación atmosférica es objeto de cientos de estudios debido a su alta tasa de mortalidad. Por ello se han realizado diversos estudios que relacionan la contaminación de forma directa con la salud de las personas, la fauna, la flora e incluso con las construcciones y monumentos.

Según la OMS la exposición a corto o largo plazo a partículas PM₁₀, NO₂, O₃ y SO₂ da como resultado problemas severos de salud, principalmente de tipo respiratorio. En el año 2016 el 7,6 % de las muertes en todo el mundo fue por causa directa de la contaminación atmosférica, 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 % (WHO, 2021c).

Por otra parte, la contaminación atmosférica es también responsable de otros tipos de enfermedades como enfermedades cardiovasculares, causantes de la reducción de transporte de oxígeno debido a la afinidad del CO por la hemoglobina (formando carboxihemoglobina); enfermedades del sistema nervioso, como neuropatías causadas por plomo y arsénico en suspensión o enfermedades urinarias, causadas por el depósito y acumulación de metales pesados en los riñones. (Kampa and Castanas, 2008).

A continuación, mostramos los contaminantes que se van a tratar en el estudio, indicando sus propiedades más características, cómo afectan a la salud y cómo se producen.

1.2.1 Materia particulada PM₁₀

Se definen como todas aquellas partículas que pasan a través del cabezal de tamaño selectivo, definido en el método de referencia para el muestreo y la medición de PM₁₀ de la norma UNE-EN 12341, para un diámetro aerodinámico de 10 µm con una eficiencia de corte del 50 %. Las fuentes de este contaminante tan heterogéneo en su composición no son concretas, ya que pueden ser de origen natural o antropogénico, las cuales son resultado de procesos industriales como la combustión y otras reacciones químicas, así como procesos físicos. Al ser considerados como materia respirable presenta un gran inconveniente en cuanto a la salud humana y de los seres vivos en general. Dentro de las fuentes de PM₁₀ que podemos encontrar, las más comunes suelen ser los incendios forestales, emisiones volcánicas, la combustión en procesos industriales o de automoción, las labores agrícolas o la intrusión de polvo sahariano.

Las consecuencias para la salud son diversas, afectando principalmente a los pulmones y al sistema respiratorio en general, así como al sistema cardiovascular en consecuencia. Los efectos de la contaminación del aire sobre la salud son graves, siendo la causa de un tercio de las muertes por accidentes cerebrovasculares, cáncer de pulmón y cardiopatías. Se trata de un efecto equivalente al de fumar tabaco con la desventaja de que es muy difícil escapar del aire contaminado (WHO, 2021a).

De acuerdo con los valores límite de emisiones establecidos en el Real Decreto 102/2011 del 28 de enero relativos a la mejora de la calidad del aire (Documento BOE-A-2011-1645, 2011):

- El valor límite diario se establece en 50 µg/m³ en promedio, que no podrá superar en más de 35 ocasiones por año civil.
- El valor límite anual se establece en 40 µg/m³ en promedio.

1.2.2 Dióxido de azufre SO₂

Se trata de un contaminante primario en forma gaseosa, contribuyente de la lluvia ácida y producido principalmente en procesos de combustión debido al contenido en azufre de los combustibles.

De acuerdo con los valores límite de emisiones establecidos en el Real Decreto 102/2011 del 28 de enero relativos a la mejora de la calidad del aire (Documento BOE-A-2011-1645, 2011):

- El valor límite horario se establece en 350 µg/m³ en promedio, que no podrá superarse en más de 24 ocasiones por año civil.
- El valor límite diario se establece en 125 µg/m³ en promedio, que no podrá superar en más de 3 ocasiones por año civil.
- El umbral de alerta del dióxido de azufre se sitúa en 500 µg/m³, que se considerará superado si durante tres horas consecutivas se excede dicho valor en cada una de las tres horas, para una superficie poblada de 100 Km² como mínimo.

Los valores se expresarán en µg/m³. El volumen debe ser referido a una temperatura de 293 K y a una presión de 101,3 kPa.

1.2.3 Óxidos de nitrógeno NO_x

Son óxidos de nitrógeno todos aquellos estados de oxidación del nitrógeno. En nuestro caso estudiaremos el monóxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂).

De acuerdo con los valores límite de emisiones establecidos en el Real Decreto 102/2011 del 28 de enero relativos a la mejora de la calidad del aire (Documento BOE-A-2011-1645, 2011):

- El valor límite horario se establece en 200 µg/m³ en promedio, que no podrá superarse en más de 18 ocasiones por año civil.
- El valor límite anual se establece en 40 µg/m³ en promedio.
- El nivel crítico por año civil se establece en 30 µg/m³.
- El valor correspondiente al umbral de alerta se establece en 400 µg/m³, que se considerará superado si durante tres horas consecutivas se excede dicho valor en cada una de las tres horas, para una superficie poblada de 100 Km² como mínimo.

Los valores se expresarán en µg/m³. El volumen debe ser referido a una temperatura de 293 K y a una presión de 101,3 kPa.

1.2.4 Ozono O₃

El ozono es considerado un contaminante secundario y muy reactivo. Se trata de un alótropo del oxígeno en forma triatómica que puede reaccionar de forma reversible con el NO dando lugar a NO₂ y O₂.

De acuerdo con los valores límite de emisiones establecidos en el Real Decreto 102/2011 del 28 de enero relativos a la mejora de la calidad del aire (Documento BOE-A-2011-1645, 2011):

- El nivel de alerta octohorario promedio se establece en 240 µg/m³, que no deberá ser superado más de 25 días por cada año civil promedio durante un periodo de 3 años.
- El umbral de información en promedio horario se establece en 180 µg/m³.
- El valor límite diario se establece en 120 µg/m³ en promedio, que no podrá superarse en más de 25 días por cada año civil de promedio en un período de 3 años.

Los valores se expresarán en µg/m³. El volumen debe ser referido a una temperatura de 293 K y a una presión de 101,3 kPa. La hora será la Hora de Europa Central (HEC). La concentración máxima de las medias móviles octohorarias que corresponden a un día se elegirán comprobando las medias móviles de 8 horas que han sido calculadas a partir de los datos horarios y que se serán actualizados cada hora. Cada media octohoraria calculada de esta manera será atribuida al día en que termine el periodo.

1.3 El transporte marítimo: Cruceros

El ser humano ha experimentado una gran curiosidad por el mar desde la antigüedad, teniendo como constancia de ello los intentos realizados para mantenerse a flote en el agua de manera estable hace miles de años mediante la talla de árboles. Esta idea avanzó y evolucionó en el tiempo motivado por la necesidad de establecer un medio de transporte sobre la superficie de las masas acuáticas, llegando a ser parte de la cultura y de la vida de las civilizaciones. Un ejemplo de ello son las embarcaciones empleadas por las poblaciones griegas, fenicias, púnicas o escandinavas entre otras (Gallego Humanes, 2015).



Figura 2. Dibujo de un drakkar vikingo (barcovikingo, 2021).

Conocidas las técnicas de diseño y construcción que permitían elaborar embarcaciones estables y seguras, llegó el turno del desarrollo de los métodos de propulsión. Este desafío de ingeniería hizo que en 1803 el ingeniero Robert Fulton llevara a cabo la construcción de una embarcación motorizada mediante un ciclo de vapor, transportando pasajeros por el río Sena. Sin embargo, no fue hasta mediados del siglo XIX, hacia el año 1835, cuando se constata el inicio de la actividad crucerista por el mar para visitar Escocia, Islandia y las islas Feroe (Gallego Humanes, 2015).

Durante los años 50 y 60 el auge del sector llegó a ser tal, que se encontraban registradas 100 compañías navieras aproximadamente, llegando incluso a ser más barato cruzar el atlántico en barco que en avión, aunque se sufrieron ligeras caídas por el crecimiento paralelo del transporte aéreo. A finales del siglo XX entre los años 70 y 80 se experimentó un agudizado incremento de usuarios, pasando del medio millón al millón y medio, acompañado también por la construcción de más de 12 cruceros que albergarían a una mayor cantidad de pasajeros (Gallego Humanes, 2015).

Los cruceros son aquellas embarcaciones destinadas al transporte de personas, animales y enseres con fines lúdicos enfocados principalmente al turismo. En la actualidad estos están provistos de un gran abanico de servicios para garantizar el disfrute de los pasajeros, tales como hoteles, balnearios, piscinas, salas de recreación o gimnasios entre otros.



Figura 3. Crucero entrando en el Puerto de Cartagena (EDICIONES PLAZA, 2019).

Todas las instalaciones antes mencionadas deben ser provistas de una fuente de energía que les permita funcionar incluso en alta mar, por lo que se abastecen de la energía producida por los motores del propio crucero. El combustible empleado, como se ha mencionado anteriormente es un tipo de fuel oil bastante menos refinado que el diésel que se emplea en los turismos, por lo que es un fuel oil bastante más pesado (HFO, Heavy Fuel Oil). En la actualidad el HFO tiene una concentración de 35000 ppm de azufre en comparación a los 10 ppm de azufre contenidos en el diésel que conocemos, siendo el valor standard límite en las Áreas de Control de Azufre de 1000 ppm. Con las nuevas restricciones medioambientales se les ha empezado a exigir a los cruceros un proceso de tratamiento de humos que reduzcan las emisiones mediante filtros de partículas y convertidores catalíticos selectivos, similares a los empleados en vehículos terrestres (Transport & Environment, 2021a).

Con la entrada en vigor del límite global de azufre en enero de 2020 se reducirá el contenido de azufre máximo en los combustibles a 5000 ppm (siendo aún 500 veces mayor que en el diésel de los vehículos terrestres) y un máximo de 1000 ppm si el tiempo que pasa un crucero atracado en un muelle es superior a 2h (Transport & Environment, 2021a).

Uno de los destinos más solicitados es el Ártico, por lo que lo convierte en uno de los focos de contaminantes y uno de los puntos de mira de asociaciones y organizaciones medioambientales. Tal es el caso de Carnival Corporation, la compañía líder que opera en aguas árticas y que se cataloga como la más contaminante de dicha zona. Su flota es impulsada por los conocidos motores de gasóleo que consumen HFO, emitiendo grandes cantidades de dióxido de azufre y otros contaminantes que, sumado a la aparición de nuevas rutas debido al derretimiento de casquetes polares, el tráfico marítimo ha aumentado. Ante tal daño infligido, una serie de organizaciones han solicitado la firma por una coalición de grupos ambientalistas para preservar el medio. El impacto de los HFO es severo en estas aguas: cualquier daño causado a las aguas sería difícil de eliminar, y más aun siendo el riesgo de derrame de HFO muy elevado. Esto representa una gran amenaza para las aguas y la fauna ártica. (Transport & Environment, 2021a).

1.3.1 Tecnología de propulsión y motorización

Como se ha mencionado con anterioridad, una vez conocida la técnica para hacer flotar embarcaciones capaces de transportar a personas y bienes, llegó el turno al desarrollo de los sistemas de propulsión. En sus orígenes se empleaban constructos simples como remos, pasando por sistemas de propulsión naturales empleando el viento, así como una combinación de ambas. Su uso permaneció a lo largo de la historia hasta llegado el siglo XIX, donde se desarrolló un nuevo método de propulsión empleando la energía térmica procedente de la combustión.

Un gran hito en la historia marítima fue la incorporación de la propulsión por vapor en la industria naval, dando lugar al nacimiento del barco de vapor. Su origen es algo confuso, pues son tres personas, Blasco de Garay, Denis Papin y Jonathan Hulls los que reclaman la invención del barco de vapor como suya. La idea principalmente consistía en la generación de vapor a alta temperatura y presión, capaz de hacer girar los alabes acoplados a un cigüeñal, el cual hacía girar de forma solidaria una rueda de paletas parcialmente sumergida en el agua, proporcionando el impulso necesario para mover la embarcación. La energía térmica del vapor se transmitía en energía mecánica de rotación cuando el vapor impactaba con la turbina, el cual se expandía y reducía su energía, llegando a condensar para volver a incorporar la masa de agua en el sistema cerrado (De La Llana, 2011).

Sin embargo, la propulsión por rueda de paletas traía ciertos inconvenientes: cuando había mar gruesa o tormenta las ruedas debían ser recogidas para que no resultaran dañadas, y cuando la embarcación navegaba a baja carga las ruedas apenas lograban sumergirse en el agua para realizar la propulsión. El sistema fue mejorado por el ingeniero I.K. Brunel, el cual sustituyó la rueda de paletas por la hélice sumergida que conocemos, resolviendo los mencionados problemas y proporcionando un enfoque distinto y revolucionario a los sistemas de propulsión navales (De La Llana, 2011).

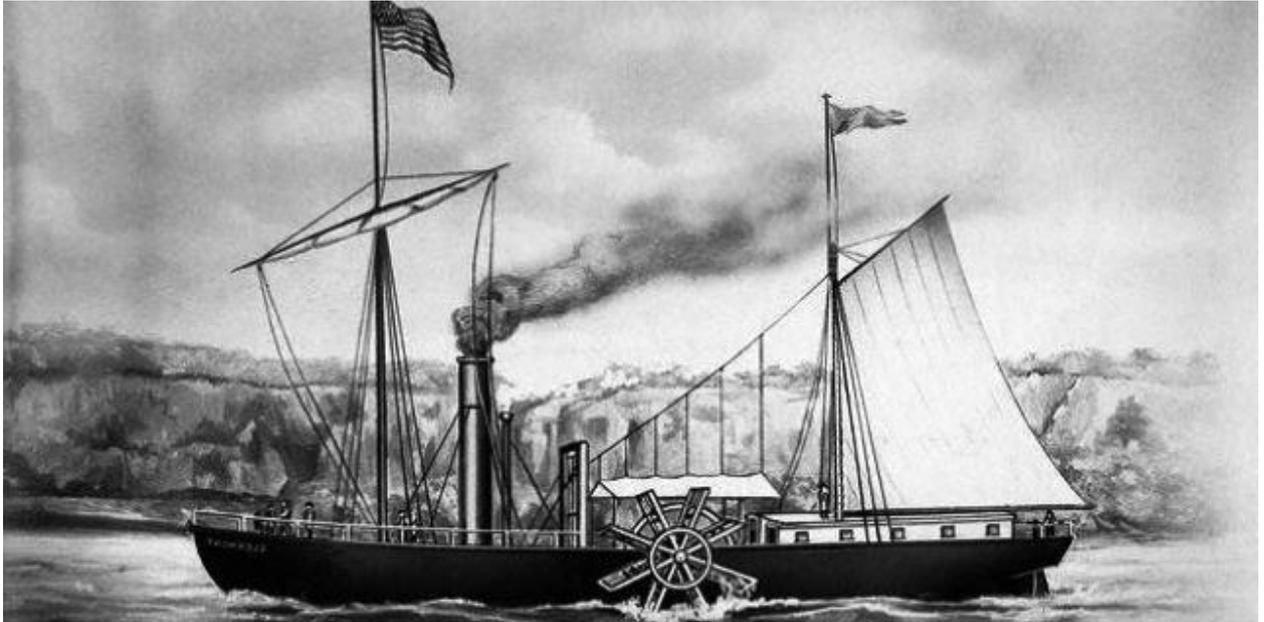


Figura 4. Barco de propulsión mixta, a vapor y a vela (Rengel Ortiz, 2018).

A su vez, el uso de los gases procedentes de la combustión de hidrocarburos jugó un papel fundamental en la propulsión de las embarcaciones. Se desarrollaron sistemas de propulsión por gas similar al de los ciclos de vapor: los gases a alta temperatura y presión se expandían en una turbina alabeada transmitiendo la energía térmica en energía mecánica, que se aprovechaba para hacer girar tanto la hélice de la embarcación como para alimentar de forma completa o parcial al compresor que alimentaba a la cámara de combustión.

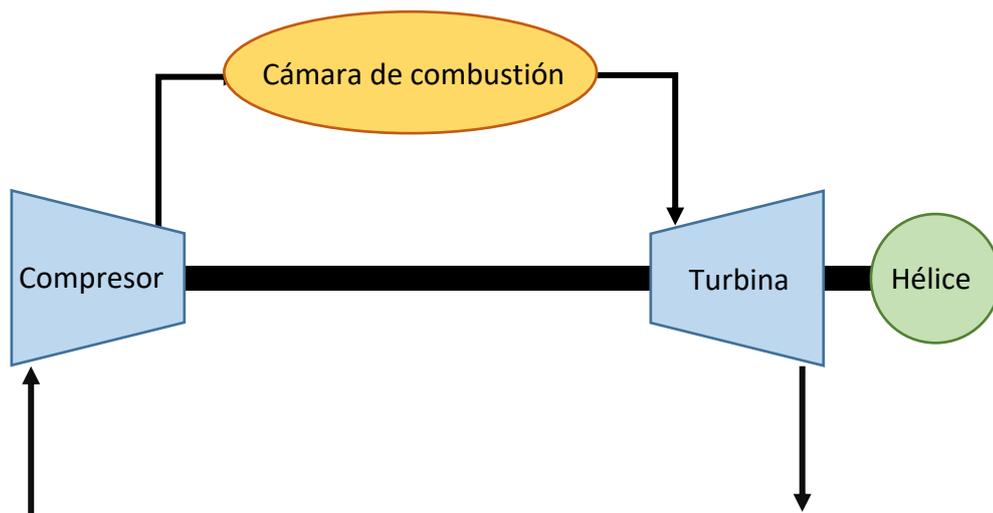


Figura 5. Esquema de ciclo de potencia por turbina de gas. (Elaboración propia).

Debido al notorio potencial del uso de gases de combustión como generadores de energía, se desarrollaron e implementaron motores de combustión interna para aplicación naval. El desarrollo de los motores de combustión interna alimentados por hidrocarburos (gasóleos, gasolinas, naftas...) dieron lugar a los motores de cuatro tiempos, desarrollados por Nikolaus Otto (motores de gasolina) y Diesel (motores de gasoil). Pasados los años, en vista del buen funcionamiento de los motores Diesel, este comenzó a instalarse también en barcos. Así fue el caso del buque cisterna "Vulkanus", el cual incorporaba un motor Diesel de seis cilindros, proporcionando 50 HP. A diferencia de las turbinas de gas, los motores Diesel cuatro tiempos de combustión interna realizaban un consumo menor para producir la misma potencia, por lo que este método de propulsión es aún usado hoy en día (De La Llana, 2011).

Por último, debido a la emergente preocupación ambiental, se están desarrollando alternativas a los motores convencionales de gasóleos con el objetivo de minimizar el impacto ambiental. De este modo empiezan a surgir las propuestas de hibridación de motores, los cuales proponen un uso mixto entre los motores antiguos de gasóleo en combinación con motores de gas natural licuado (GNL) o eléctricos. De este modo, en la actualidad, cuando una embarcación atraque en puerto, podrá usar dichas alternativas que contribuyen a la disminución de emisiones de contaminantes mediante su uso parcial o total.

1.4 Año 2020. Pandemia mundial

La llegada del coronavirus ha supuesto un gran impacto a nivel global en todos los ámbitos de vida. Se trata de una enfermedad infecciosa que se propaga principalmente a través de secreciones nasales como toses o estornudos, provocando síntomas respiratorios tales como cuadros respiratorios moderados (WHO, 2021b).

Entre los años 1990 y 2019 la industria de los cruceros (y, por consiguiente, su demanda) ha disfrutado de un crecimiento anual promedio del 6,6%. Tras la declaración de la pandemia mundial a causa del virus SARS CoV-2 y sus consecuentes medidas de prevención adoptadas, la industria de los cruceros se detuvo por aproximadamente 11 meses (Cruise Market Watch, 2021).

Tabla 1. Número de pasajeros en cruceros a nivel mundial (Cruise Market Watch, 2021)

Año	N. América	Europa	Otro	Mundial
2017	12.645.600	6.996.000	5.536.400	25.178.000
2018	12.927.800	7.285.100	6.291.700	26.504.600
2019	12.929.200	7.564.300	7.014.800	27.508.900
2020	3.225.500	1.935.300	1.931.800	7.092.600
2021	6.118.596	3.754.580	4.032.711	13.950.900

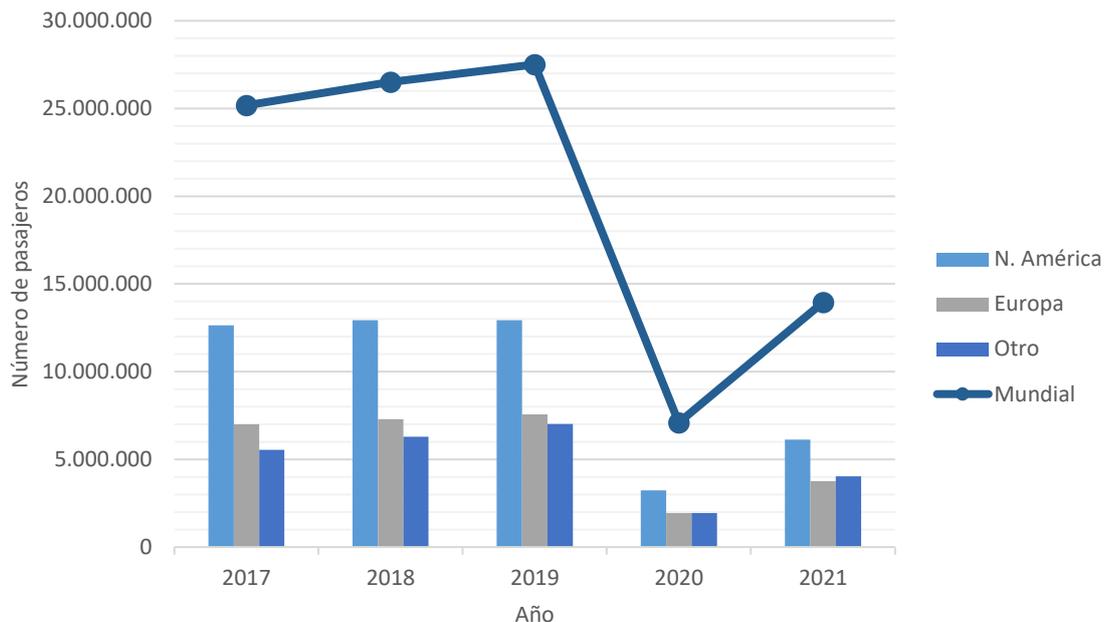


Figura 6. Evolución del crecimiento de pasajeros a nivel mundial entre los años 2017 y 2021 (Cruise Market Watch, 2021)

Según el BOE desde el mes de marzo de 2020 se declaró la orden de prohibición de entrada de los cruceros procedentes de cualquier destino a los puertos españoles con entrada en vigor el día 10 de abril de 2020 (BOE, 2020).

En el año 2019 se registró en el puerto de Cartagena y sus inmediaciones un movimiento de 156 cruceros, transportando un total de 250.058 pasajeros, un 9,48 % más que el año anterior (Autoridad Portuaria de Cartagena, 2021) . Estas cifras se verán disminuidas para el año 2020 debido a las restricciones de movilidad y transporte como medidas preventivas frente a la pandemia, bajando a 10 cruceros y transportando un total de 18.862 pasajeros. Esto supone una variación del -92,457% menos de pasajeros.

Con respecto a los años anteriores a 2020 el tráfico de cruceros ha crecido y con ellos el número de pasajeros, sufriendo un crecimiento del 139,753% desde el año 2010 hasta el año 2019. Tras el comienzo de la pandemia se adoptaron medidas de prevención que causarían una reducción de la movilidad, afectando en gran medida al transporte y por ello a los cruceros. (Autoridad Portuaria de Cartagena, 2021)

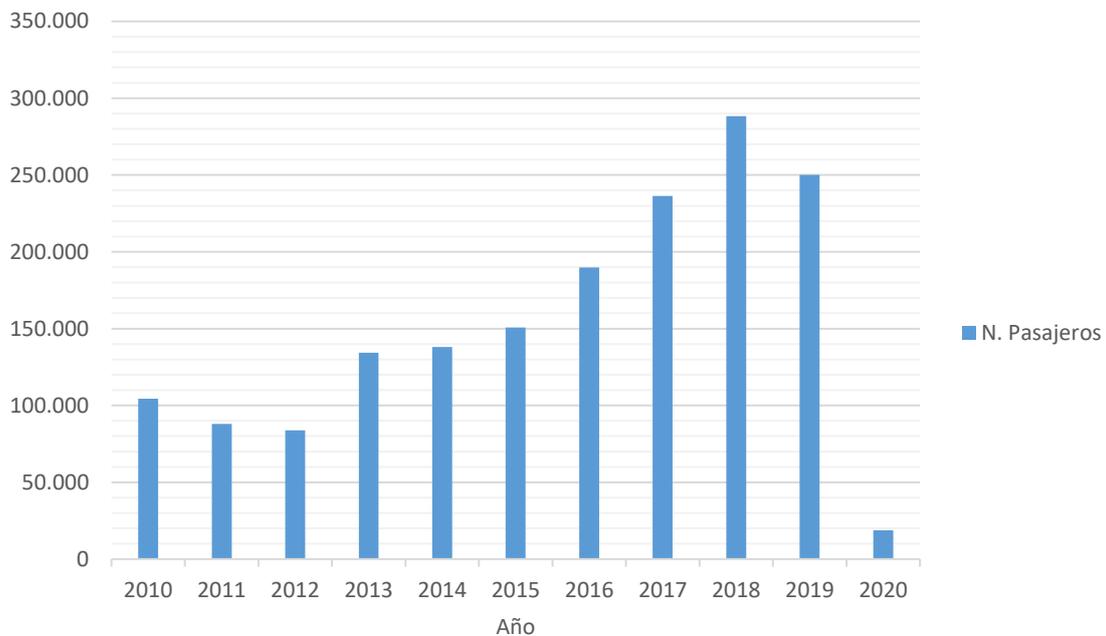


Figura 7. Evolución anual de pasajeros en el puerto de Cartagena (Autoridad Portuaria de Cartagena, 2021)

Si bien esta disminución en el transporte durante 2020 pueda parecer un inconveniente de cara al estudio, resulta todo lo contrario: la casi inexistencia de cruceros durante todo un año de estudio puede proporcionar el contraste estadístico necesario para determinar la influencia directa de los cruceros sobre la calidad del aire en las inmediaciones de la dársena de Cartagena. Es en este punto donde reside gran parte del interés del estudio realizado. A su vez, las reducciones de movilidad y de transporte han supuesto una disminución de la actividad humana en todos sus sectores, no solo al del transporte marítimo, por lo que es un factor para tener en cuenta a la hora de evaluar y relacionar la contaminación atmosférica y sus orígenes de emisión.

2 Objetivos

El objetivo principal de estudio es determinar si existen evidencias científicamente demostrables del aumento de la contaminación en la dársena de Cartagena durante la estancia de los cruceros en la misma, y como las medidas preventivas tomadas frente a la pandemia mundial ha afectado al estudio.

Para ello se realizarán los siguientes objetivos específicos:

1. Obtención de licencias de los softwares que se van a emplear.
 - 1.1. SPSS.
 - 1.2. Zotero.
2. Solicitud y obtención de los datos que se desean estudiar y que intervienen de forma directa o indirecta en el estudio.
 - 2.1. Obtención de los datos de contaminantes de la red de vigilancia CARM.
 - 2.2. Obtención de las escalas de los cruceros proporcionados por la APC.
 - 2.3. Obtención de los datos meteorológicos proporcionados por la APC.
3. Elaboración de la base de datos.
 - 3.1. Elaboración de las bases de datos anuales.
 - 3.2. Codificación de las variables de estudio y filtros a emplear.
 - 3.3. Consolidación de las bases de datos anuales en una única base global.

4. Análisis estadístico de los resultados.

4.1. Obtención de los estadísticos básicos de los contaminantes:

4.1.1. Media.

4.1.2. Mediana.

4.1.3. Varianza.

4.1.4. Cuartiles.

4.1.5. Asimetría.

4.2. Realización de prueba de normalidad y otras pruebas a las variables de estudio.

4.3. Construcción de gráficas, diagramas y mapas de concentración que permitan una comparación visual.

4.3.1. Histogramas de frecuencias de los contaminantes.

4.3.2. Diagramas de cajas y bigotes.

4.3.3. Diagrama de sectores.

4.3.4. Mapa de concentración de contaminantes.

4.4. Realización de los contrastes de hipótesis que relacionen la concentración de contaminantes con las variables de influencia:

4.4.1. Estancia o no de cruceros en la dársena de Cartagena.

4.4.2. Día de la semana.

4.4.3. Mes.

4.4.4. Año.

4.4.5. Dirección y velocidad del viento.

5. Análisis de los resultados obtenidos.

5.1. Determinar los factores de mayor influencia en la concentración de contaminantes.

5.2. Contrastar la contaminación durante 2020 con respecto al resto de años.

5.3. Determinar la influencia de la estancia de los cruceros sobre la concentración de contaminantes.

3 Material y métodos

A causa de la declaración de pandemia mundial por coronavirus , el número de cruceros programados a nivel global se ha reducido drásticamente en número como medida preventiva de los gobiernos para la gestión de dicha pandemia. A raíz de este efecto, emplearemos los datos obtenidos del año 2020 como contraste estadístico en comparación a años anteriores para evidenciar el impacto de los cruceros sobre la calidad del aire. De este modo, obtendremos la información acerca de los contaminantes de estudio desde el año 2016 hasta 2020 con frecuencia horaria (proporcionados por la red de vigilancia CARM), así como las escalas de los cruceros y los datos meteorológicos (Proporcionados por la APC).

Por otra parte, podemos tener constancia de los trayectos de los cruceros en tiempo real que ingresan o salen del Puerto de Cartagena accediendo a la web de Marine Traffic (<https://www.marinetraffic.com/>). Este sitio web nos permite visualizar los puntos de origen y fin de los trayectos, así como la concentración de estos a base de la superposición de las trayectorias de las embarcaciones registradas en un amplio intervalo de tiempo.

3.1 Ciudad de estudio

Con miles de años de historia, acunada y resguardada por cinco grandes colinas y testigo de los grandes imperios que han existido en el mundo, la ciudad trimilenaria de Cartagena ha sido y es una de las grandes ciudades bañadas por el Mar Mediterráneo. Su historia oculta, ahora conocida y catalogada de interés internacional, así como sus restos arqueológicos son el motor de cientos de actividades turísticas de la ciudad (Región de Murcia Digital, 2004a).

La ciudad de Cartagena se ubica en el sureste de la Región de Murcia, también al sureste de España. Está delimitada por el mar mediterráneo en su costa sur, por el mar menor al este, al norte por la Rambla del Albuñón y al oeste por los Cabezos del Pericón y la Sierra de los Victorias. Posee una extensión de 558.3 km² de los cuales una quinta parte del territorio la constituye espacio natural protegido.



Figura 8. Pedanías y diputaciones de Cartagena (Región de Murcia Digital, 2004b)

Climatológicamente, Cartagena es un municipio con clima mediterráneo algo cálido y árido a 19 metros sobre el mar en el que las temperaturas suelen ser templadas y relativamente estables a lo largo del año debido a su proximidad al mar (temperatura media de 13 °C en invierno y 27 °C en verano). A su vez, las precipitaciones anuales rondan los 150 y 200 mm/año, por lo que Cartagena es una de las ciudades más áridas del país (Murcianatural, 2004).

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).

Otro factor importante es el viento. Dada su proximidad al mar, el viento en el municipio de Cartagena es uno de los factores climáticos más importantes de la región, predominando los vientos con dirección suroeste con un 39.7% del viento anual. El viento de Lebeche, con dirección sureste es de tendencia cálida y seca por proceder de zonas saharianas, con una gran cantidad de partículas sólidas en suspensión. Por último, otro viento característico de Cartagena es el Levante, con dirección nordeste. Constituye el 28.2% de los vientos anuales y es característico de la época de verano (AMAT-GADEA Arquitectos, 2021).

Demográficamente la población de Cartagena en el año 2021 presenta un total de 217.514 habitantes de los cuales 108.426 son hombres (49.85% de la población) y 109.088 son mujeres (50.15% de la población). A continuación, mostramos la evolución demográfica desde 2016 a 2020 (Ayuntamiento de Cartagena, 2021).

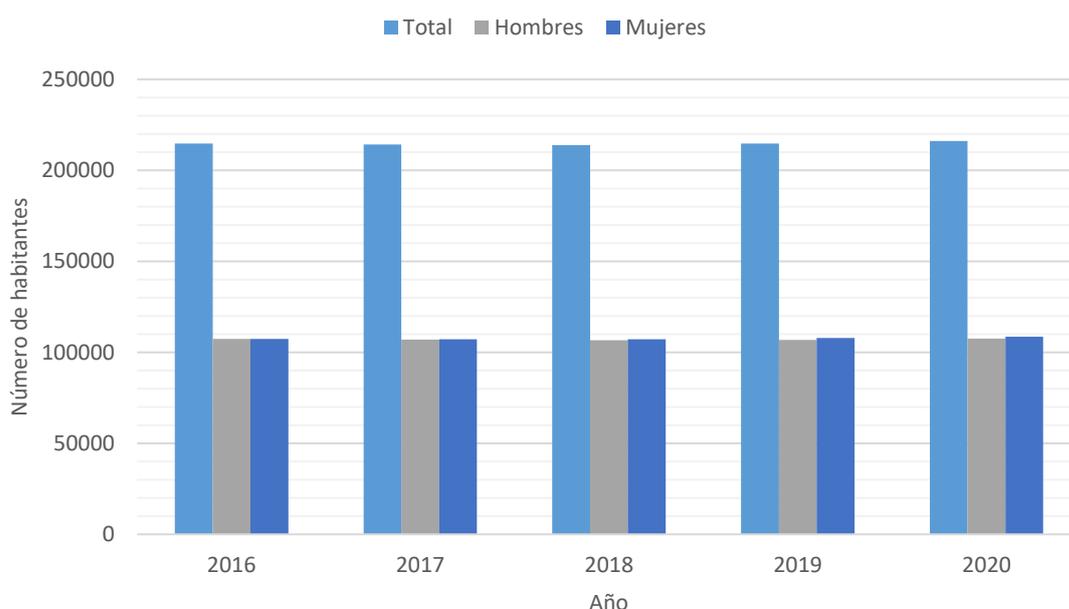


Figura 9. Evolución de la demografía anual de Cartagena

Por último, debido a la estrecha relación de la ciudad con el mar, las actividades portuarias en Cartagena, tanto mercantiles como de recreo, son amplias y constituyen uno de los mayores focos de actividad en la ciudad. Por ello, cabe destacar que, en términos de contaminación, los principales focos de emisiones de origen marítimo no solo son debidos a la acción de los cruceros, sino a la de todas las actividades realizadas en su conjunto, tales como las emisiones domésticas, industriales y de tráfico rodado. Se destaca la de procedencia industrial ya que desde 1950 las principales industrias de Cartagena se ubicaban en las cercanías de la ciudad, como es el caso del Valle de Escombreras.

3.2 Datos de concentración de contaminantes: Red de vigilancia atmosférica

Desde 2006 la Región de Murcia dispone de un total de ocho estaciones de registro, conformando la red de vigilancia atmosférica de la Región de Murcia. Estas estaciones están ubicadas en Alcantarilla, Aljorra, Alumbres, Caravaca, Lorca, Mompeán, San Basilio y en el Valle de Escombreras. En este estudio nos basaremos en los datos de contaminación proporcionados por la red de vigilancia atmosférica de Mompeán, ya que por su proximidad podremos obtener valores más veraces de los contaminantes que se van a estudiar (CARM, 2021).

En el puerto de Cartagena y alrededores podemos ubicar dos de las estaciones antes mencionadas: La estación de Mompeán y la del Valle de Escombreras. Podemos ver su ubicación exacta en el siguiente mapa.

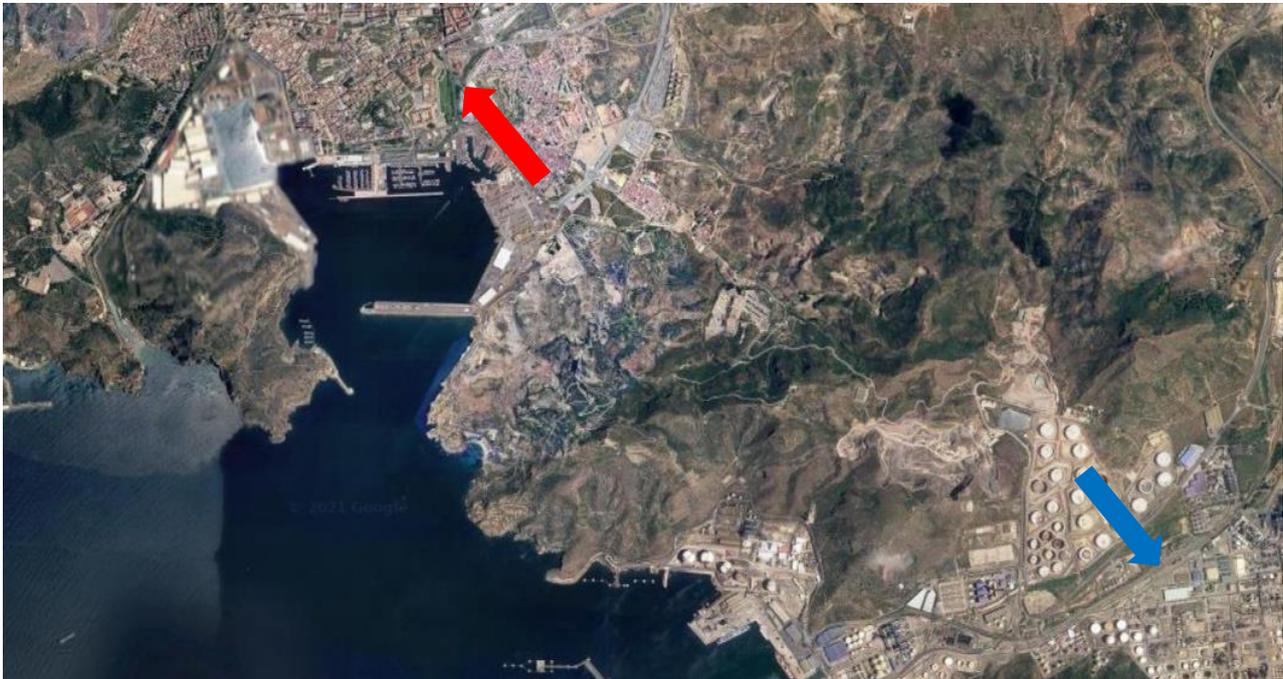


Figura 10. Ubicación de la estación de Mompeán (Rojo) y de la estación del Valle de Escombreras (azul).

De la estación de Mompeán obtendremos los datos de contaminación para los siguientes contaminantes: PM_{10} , NO, NO_2 , NO_x , SO_2 y O_3 . Estos datos son muestreados por la estación con una periodicidad horaria a lo largo de cada año salvo excepciones como periodos de mantenimiento o de fallo puntual. De esta forma se ha accedido a los datos horarios de los años 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020.

Tabla 2. Tabla de información de la Estación de Mompeán

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



Figura 11. Estación de vigilancia de la calidad del aire de Mompeán

Tabla 3. Características de la Estación de vigilancia de calidad del aire de Mompeán.

Contaminante:	Medida:	Técnica de análisis	Fecha de instalación
Ruido nivel sonoro equivalente	Automático	Desconocido	14/03/2006
NO _x Óxidos de nitrógeno totales	Automático	Quimiluminiscencia	14/03/2006
NO Monóxido de nitrógeno	Automático	Quimiluminiscencia	14/03/2006
NO ₂ Dióxido de nitrógeno	Automático	Quimiluminiscencia	14/03/2006
O ₃ Ozono	Automático	Absorción ultravioleta	10/05/2010
PM ₁₀ Partículas en suspensión (< 10 µm)	Automático	Microbalanza	14/03/2006
PM ₁₀ Partículas en suspensión (< 10 µm)	Manual diario	Gravimetría	24/01/2009
PM _{2.5} Partículas en suspensión (< 2.5 µm)	Manual diario	Gravimetría	24/01/2009
SO ₂ Dióxido de azufre	Automático	Fluorescencia ultravioleta	25/01/2018
CO Monóxido de carbono	Automático	Absorción infrarroja	13/05/2020

Por otra parte, los datos meteorológicos (principalmente la presión atmosférica, la dirección y velocidad del viento) han sido proporcionados por la APC. Del mismo modo, estos datos se muestran con periodicidad horaria y son de gran influencia en el estudio debido a que el viento puede arrastrar la contaminación desde la zona de estudio hacia nuestra estación de vigilancia o alejarla de ella.

A la vista de los datos de la dirección del viento, el viento predominante durante los años 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020 ha sido en la dirección noreste, seguidas de la dirección sursuroeste y sur. Por ello, es una ventaja para el estudio la predominancia del viento en la dirección noreste, ya que el viento en esa dirección asegura el arrastre de los contaminantes ubicados en el puerto de Cartagena a la estación de Mompeán, resultando en una obtención de datos más veraces como se indicará posteriormente.

3.3 Estadística y programas utilizados

Comenzando con la parte estadística, el estudio parte de la elaboración de una base de datos consistente y correctamente elaborada. Partimos de los datos anuales de las concentraciones de contaminantes registradas por la estación de Mompeán, que posteriormente se unificarán en un solo archivo que contiene todos los años incluidos. A su vez se incluyen en la base los datos meteorológicos que intervienen de manera directa e indirecta sobre el estudio, tales como el viento, temperatura o presión atmosférica entre otros. Por último, realizamos la exportación de la base de datos al programa estadístico que usaremos, SPSS. Este es un programa que proporciona un entorno de estudio estadístico para el tratamiento de datos que nos permitirá realizar el estudio de los contaminantes proporcionándonos resultados tanto numéricos como gráficos en forma de diagramas, gráficas o nubes de puntos.

3.3.1 Pruebas y test estadísticos

Las principales pruebas que se realizarán sobre los datos son las siguientes:

- Prueba de Kolmogorov-Smirnov para la normalidad: Se aplica sobre una muestra continua como prueba de normalidad.
- Prueba de Shapiro-Wilks: de forma idéntica a la muestra anterior, esta prueba tiene como objetivo demostrar el ajuste de una muestra a una distribución normal.
- Gráficos Q-Q: prueba gráfica para determinar mediante la observación el ajuste de una muestra a una distribución normal.
- Diagrama de caja y bigotes: Diagrama que muestra la distribución de los datos mediante la representación de una caja en la que se indican la mediana, los cuartiles y con límites superior e inferior que acotan los datos atípicos y que encierran al 95% de los datos.
- Prueba U de Mann-Whitney: Se trata de la versión no paramétrica de la prueba t de student. Es aplicada a dos muestras independientes continuas.
- Prueba de Kruskal-Wallis: Prueba idéntica a la prueba U de Mann-Whitney aplicada a 3 o más grupos. Es el equivalente no paramétrico del ANOVA.

4 Resultados y discusión

4.1 Actividad de los cruceros

En el siguiente análisis se muestra los detalles más relevantes en lo referente a los cruceros que realizaron una parada o estacionamiento en la dársena de Cartagena durante los años 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020:

En 2016 un total de 122 cruceros visitaron la ciudad con estancias de duración inferior a las 24h salvo un crucero. Al año siguiente, en 2017, un total de 152 cruceros atracaron en la dársena, ninguno superando las 24h de estacionamiento. Para 2018, el número de cruceros ascendió a 155 estacionamientos, un aumento prácticamente imperceptible comparado con el año anterior en la que sólo un crucero superó las 24h de estacionamiento. En 2019 fueron 158 cruceros los que visitaron la ciudad, con un solo crucero que superó las 24h de estacionamiento. Por último, en el año 2020, solo diez cruceros atracaron la ciudad debido a la crisis pandémica, realizando todos ellos estancias inferiores a las 24h.

Tabla 4. Número de cruceros estacionados desde 2016 hasta 2020.

Año	Número de cruceros
2016	122
2017	152
2018	155
2019	158
2020	10
TOTAL	597

Como se puede observar en los datos de la tabla, el número de cruceros visitantes al puerto de Cartagena ha ido en aumento desde el año 2016 hasta 2019. En el año 2020 y en consecuencia de la pandemia mundial y las restricciones de transporte y movilidad este número se ha reducido a únicamente 10 cruceros en todo el año, correspondiente a los meses de enero, febrero y marzo.

A continuación, podemos ver en la imagen 13 la distribución mensual de los cruceros. La gráfica muestra una tendencia bimodal cuyas tendencias se ubican en los meses de mayo y octubre, siendo el periodo de invierno el de menor acumulación de visitas de cruceros.

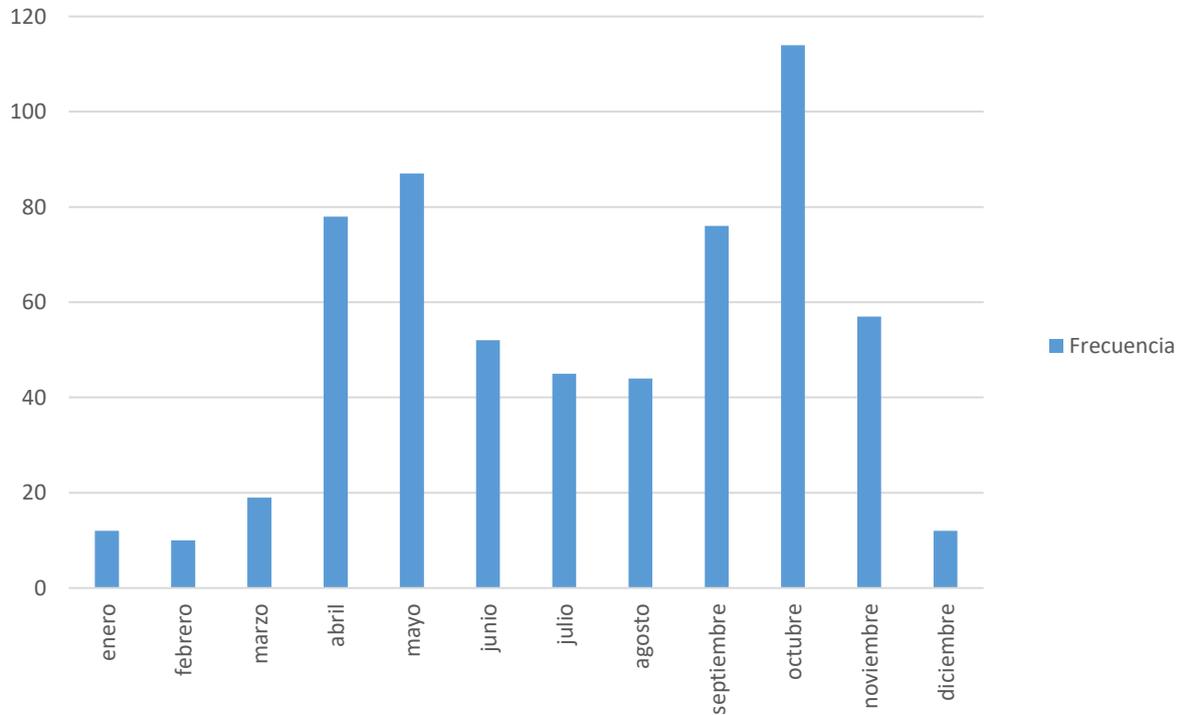


Figura 12. Frecuencia mensual de los cruceros desde 2016 hasta 2020.

Del total de los buques que han atracado en la dársena en el periodo 2016 – 2020 solo 3 de ellos han realizado una estancia cuya duración supera las 24h (tabla 5), suponiendo un 0,5% de todo el conjunto.

Tabla 5. Buques que realizaron una estancia en puerto superior a 24h.

Buque	Fecha	Número de horas
Snav Sardegna	06/09/2016 - 10/09/2016	86 h
The World	18/04/2018 – 20/04/2018	54h 20 min
Pan Orama	01/10/2018 - 02/10/2018	25h 5 min

Por otra parte, se muestra en siguiente tabla el número de cruceros que han realizado una estancia de forma simultánea en la dársena de Cartagena:

Tabla 6. Numero de cruceros con estacionamiento simultaneo.

Nº de cruceros simultáneos	Nº de ocasiones que ocurrió
1	341
2	90
3	20
4	3

Como podemos observar, es frecuente encontrarse días en los que más de un crucero esta estacionado en la zona de estudio. Esto aumenta el nivel de emisiones, favoreciendo el análisis estadístico. A su vez, podemos ver en la siguiente figura la distribución temporal de los cruceros que estacionan en la dársena.

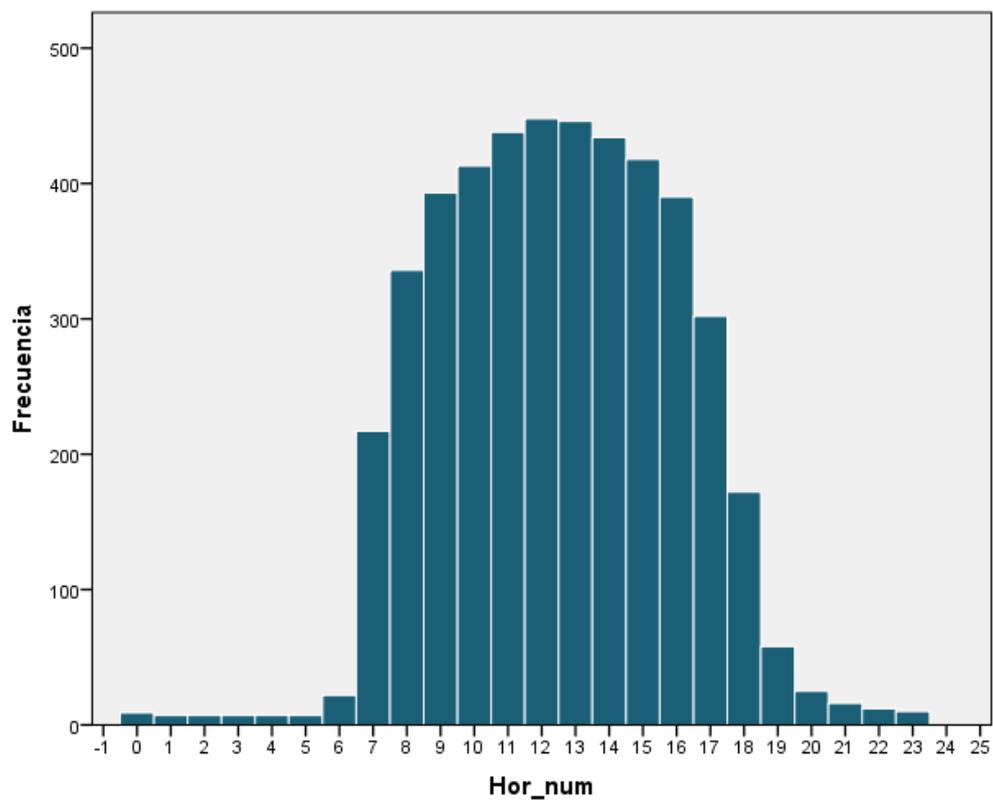


Figura 13. Histograma de recuento de frecuencias de cruceros por horas.

Como se puede apreciar en la imagen 14, la mayoría de los cruceros permanecen estacionados desde las 7h hasta las 19h, dejando una franja horaria de estudio de 12h.

A continuación, se muestra el historial del número de visitas de todos cruceros que han realizado un estacionamiento, ordenado por número de visitas.

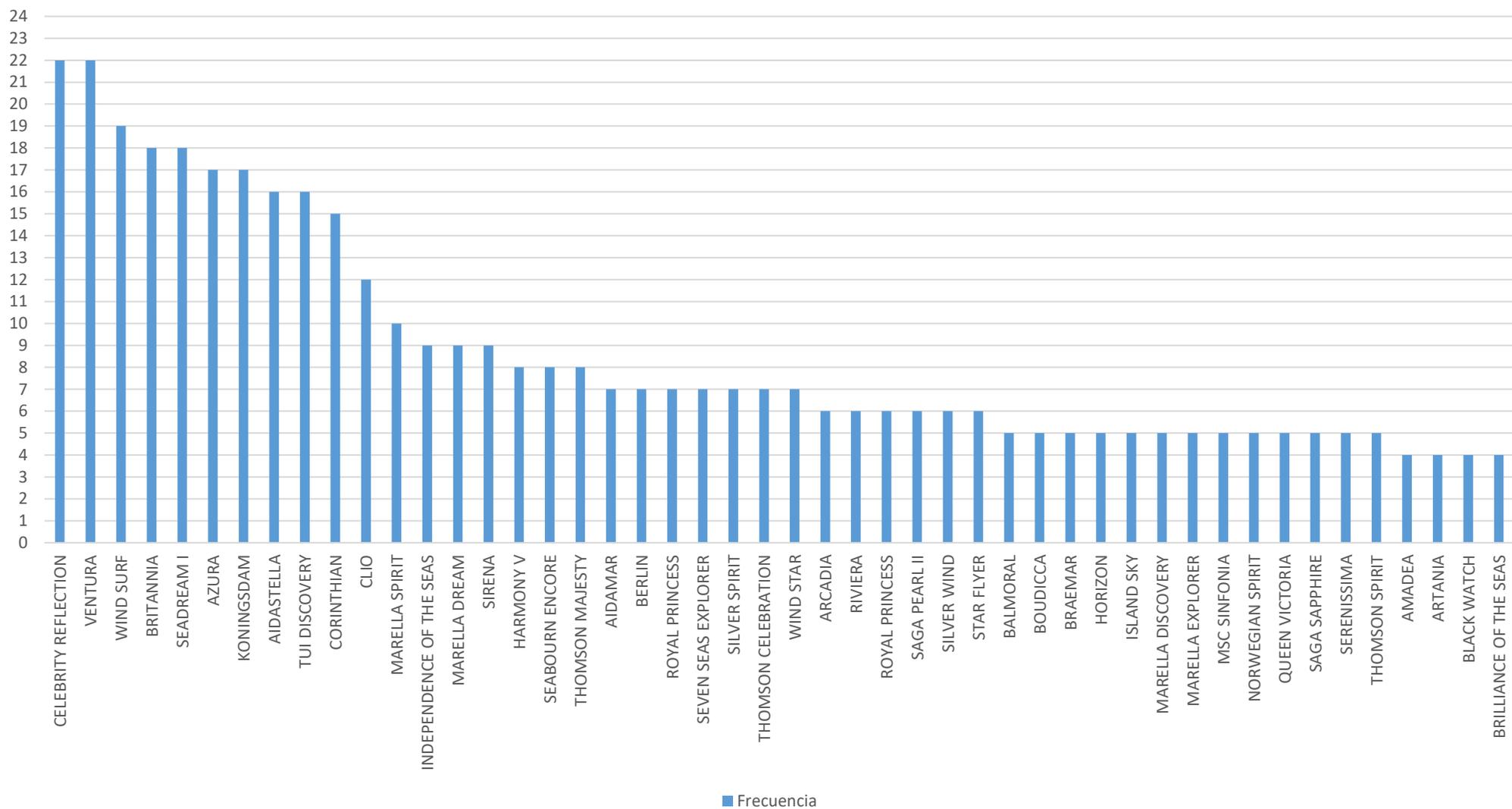


Figura 14. Parte I: Número de visitas realizadas por los cruceros desde 2016 hasta 2020.

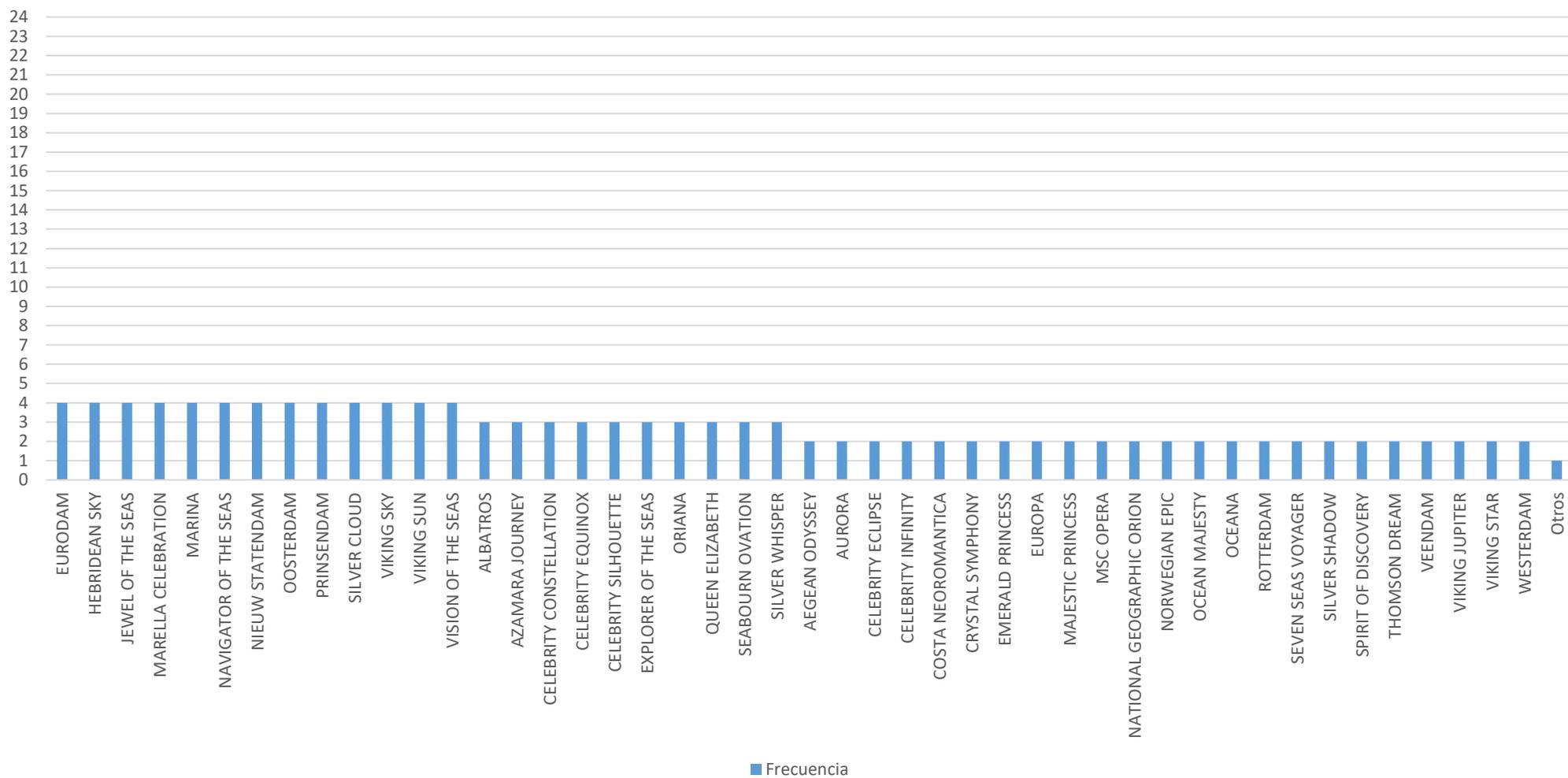


Figura 15. Parte II: Número de visitas realizadas por los cruceros desde 2016 hasta 2020.

4.2 Estadísticos descriptivos.

4.2.1 Año 2016

La tabla 7 muestra los principales estadísticos de los contaminantes del año 2016.

Tabla 7. Estadísticos de los contaminantes anuales (2016).

Estadísticos 2016		PM ₁₀	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	O ₃
N	Válidos	8525	8025	8336	8336	8336	8546
	Perdidos	259	759	448	448	448	238
Media		25,53	6,75	10,62	21,51	37,66	61,54
Mediana		22,00	7,00	4,00	18,00	25,00	66,00
Desv. típ.		23,942	2,594	22,875	14,198	43,187	31,062
Varianza		573,219	6,731	523,252	201,570	1865,115	964,864
Asimetría		9,069	14,612	7,530	2,095	5,345	-,217
Error típ. de asimetría		,027	,027	,027	,027	,027	,026
Mínimo		1	3	1	3	6	1
Máximo		440	106	513	164	882	142
Percentiles	25	15,00	6,00	3,00	12,00	16,25	38,00
	50	22,00	7,00	4,00	18,00	25,00	66,00
	75	30,00	7,00	8,00	27,00	40,00	85,00

4.2.2 Año 2017

La tabla 8 muestra los principales estadísticos de los contaminantes del año 2017.

Tabla 8. Estadísticos de los contaminantes anuales (2017).

Estadísticos 2017		PM ₁₀	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	O ₃
N	Válidos	8709	8714	8571	8571	8571	8716
	Perdidos	51	46	189	189	189	44
Media		23,97	7,32	10,04	21,82	37,11	65,40
Mediana		21,00	8,00	5,00	18,00	25,00	70,00
Desv. típ.		15,116	4,842	16,230	15,171	36,913	33,134
Varianza		228,504	23,448	263,399	230,170	1362,587	1097,885
Asimetría		3,298	14,315	5,448	1,560	3,671	-,217
Error típ. de asimetría		,026	,026	,026	,026	,026	,026
Mínimo		1	3	3	3	7	1
Máximo		276	180	288	99	538	144
Percentiles	25	15,00	4,00	4,00	11,00	17,00	39,00
	50	21,00	8,00	5,00	18,00	25,00	70,00
	75	30,00	10,00	8,00	28,00	41,00	91,00

4.2.3 Año 2018

La tabla 9 muestra los principales estadísticos de los contaminantes del año 2018.

Tabla 9. Estadísticos de los contaminantes anuales (2018).

Estadísticos 2018		PM₁₀	SO₂	NO	NO₂	NO_x	O₃
N	Válidos	8240	8461	7751	7751	7751	8663
	Perdidos	520	299	1009	1009	1009	97
Media		21,85	4,76	10,27	19,52	35,18	66,83
Mediana		20,00	4,00	6,00	16,00	25,00	73,00
Desv. típ.		12,282	2,791	14,799	14,542	34,004	31,599
Varianza		150,844	7,788	219,006	211,475	1156,289	998,491
Asimetría		2,013	6,037	6,398	1,807	4,304	-,396
Error típ. de asimetría		,027	,027	,028	,028	,028	,026
Mínimo		1	1	1	1	3	2
Máximo		244	70	243	105	478	137
Percentiles	25	14,00	3,00	5,00	10,00	18,00	44,00
	50	20,00	4,00	6,00	16,00	25,00	73,00
	75	28,00	6,00	10,00	24,00	39,00	91,00

4.2.4 Año 2019

La tabla 10 muestra los principales estadísticos de los contaminantes del año 2019.

Estadísticos 2019		PM₁₀	SO₂	NO	NO₂	NO_x	O₃
N	Válidos	8678	8542	8658	8656	8658	8533
	Perdidos	82	218	102	104	102	227
Media		24,38	4,55	8,23	16,49	29,02	63,07
Mediana		22,00	4,00	5,00	12,00	20,00	67,00
Desv. típ.		13,256	8,284	11,698	13,378	28,588	30,842
Varianza		175,709	68,621	136,837	178,970	817,267	951,229
Asimetría		1,792	67,448	5,431	2,114	3,655	-,218
Error típ. de asimetría		,026	,026	,026	,026	,026	,027
Mínimo		1	1	1	0	0	2
Máximo		174	688	176	108	348	137
Percentiles	25	16,00	3,00	4,00	8,00	14,00	39,00
	50	22,00	4,00	5,00	12,00	20,00	67,00
	75	30,00	5,00	7,00	20,00	31,00	87,00

Tabla 10. Estadísticos de los contaminantes anuales (2019).

4.2.5 Año 2020

La tabla 11 muestra los principales estadísticos de los contaminantes del año 2020.

Estadísticos 2020		PM ₁₀	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	O ₃
N	Válidos	8569	8642	8593	8592	8592	8635
	Perdidos	215	142	191	192	192	149
Media		24,61	4,84	5,03	13,07	20,40	48,67
Mediana		21,00	5,00	2,00	7,00	11,00	53,00
Desv. típ.		19,877	3,824	11,958	15,761	31,064	26,719
Varianza		395,113	14,622	143,001	248,406	964,957	713,911
Asimetría		6,500	13,755	7,983	2,474	4,805	-,204
Error típ. de asimetría		,026	,026	,026	,026	,026	,026
Mínimo		1	1	1	2	3	1
Máximo		354	127	234	111	456	119
Percentiles	25	15,00	3,00	1,00	3,00	4,00	26,00
	50	21,00	5,00	2,00	7,00	11,00	53,00
	75	29,00	6,00	4,00	16,00	23,00	70,00

Tabla 11. Estadísticos de los contaminantes anuales (2020).

4.2.6 Totales

La tabla 12 muestra los principales estadísticos de los contaminantes en los cinco años.

Estadísticos TOTALES		PM ₁₀	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	O ₃
N	Válidos	42721	42384	41909	41906	41908	43093
	Perdidos	1127	1464	1939	1942	1940	755
Media		24,08	5,64	8,80	18,44	31,77	61,11
Mediana		21,00	5,00	5,00	14,00	22,00	65,00
Desv. típ.		17,505	5,079	16,136	15,009	35,680	31,426
Varianza		306,434	25,798	260,375	225,273	1273,038	987,564
Asimetría		7,344	63,061	7,538	1,858	4,550	-,176
Error típ. de asimetría		,012	,012	,012	,012	,012	,012
Mínimo		1	1	1	0	0	1
Máximo		440	688	513	164	882	144
Percentiles	25	15,00	4,00	3,00	8,00	14,00	36,00
	50	21,00	5,00	5,00	14,00	22,00	65,00
	75	29,00	7,00	8,00	24,00	36,00	85,00

Tabla 12. Estadísticos de los contaminantes totales.

4.3 Gráficos de error

En las siguientes gráficas se muestran las barras de error de cada contaminante según el año de estudio, en el que se muestra el valor medio y su dispersión.

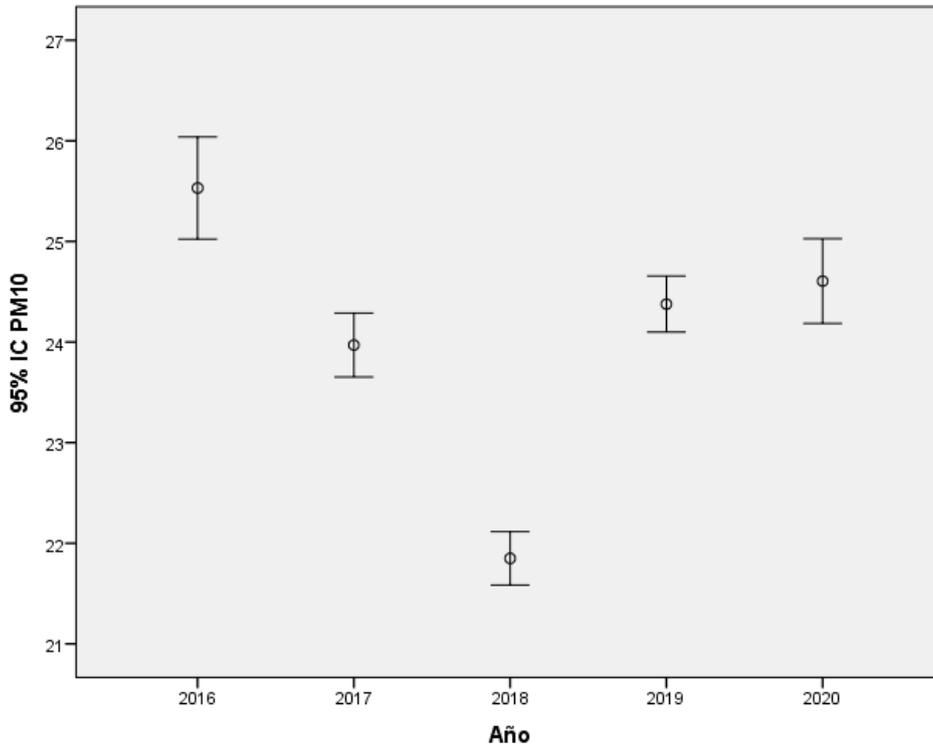


Figura 16. Barras de error por años del contaminante PM₁₀.

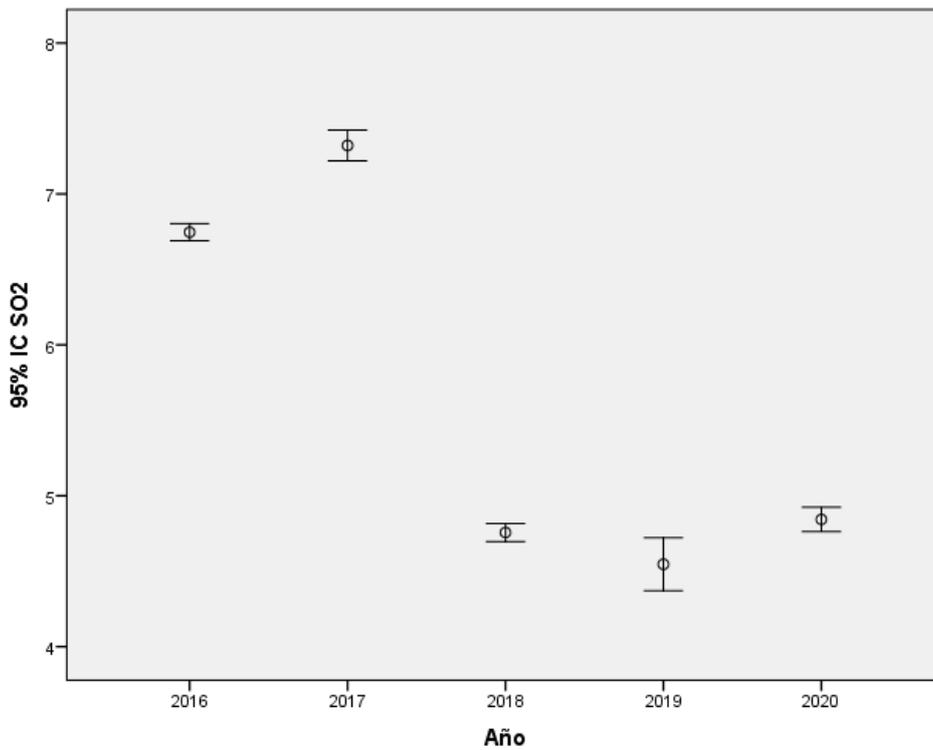


Figura 17. Barras de error por años del contaminante SO₂.

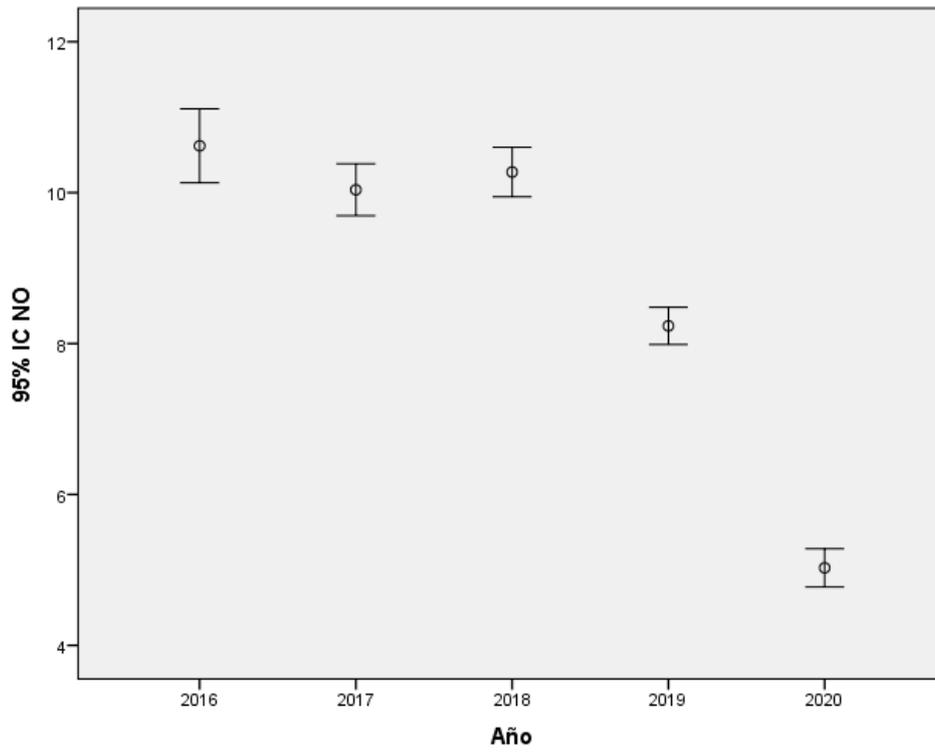


Figura 18. Barras de error por años del contaminante NO.

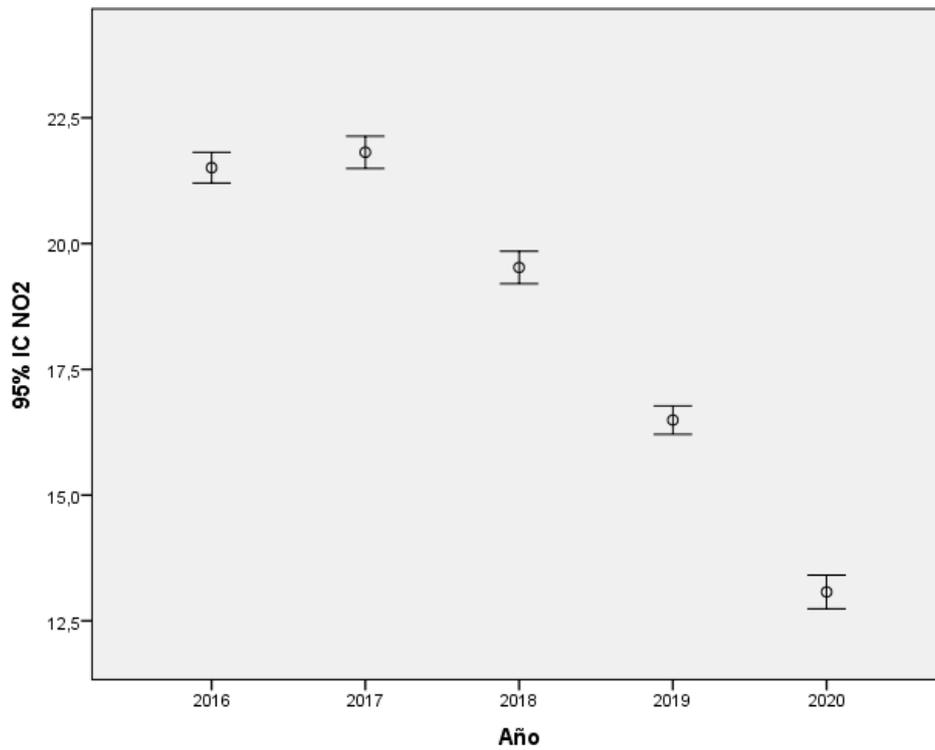


Figura 19. Barras de error por años del contaminante NO₂.

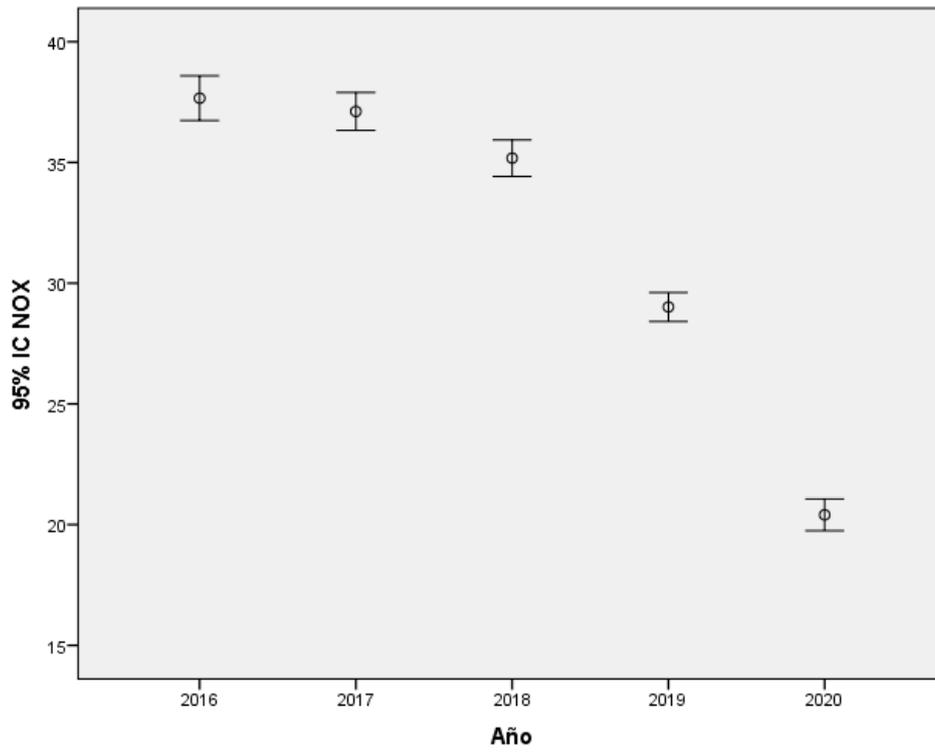


Figura 20. Barras de error por años del contaminante NO_x.

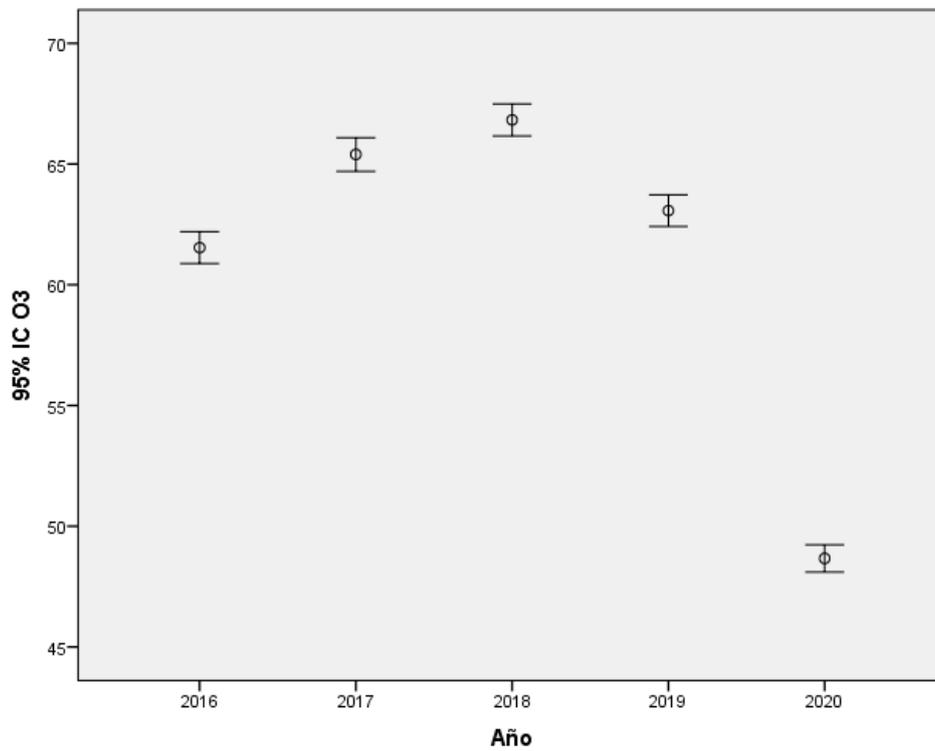


Figura 21. Barras de error por años del contaminante O₃.

4.4 Estudio de normalidad de los contaminantes

Para el estudio de la normalidad de la muestra de los contaminantes emplearemos la prueba de Kolmogorov-Smirnov para cada muestra de contaminantes por cada año y en total.

4.4.1 Año 2016

Tabla 13. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov de los contaminantes (2016).

Año 2016		PM ₁₀	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	O ₃
N		8525	8025	8336	8336	8336	8546
Parámetros normales ^{a,b}	Media	25,53	6,75	10,62	21,51	37,66	61,54
	Desviación típica	23,942	2,594	22,875	14,198	43,187	31,062
Diferencias más extremas	Absoluta	,199	,252	,348	,130	,243	,063
	Positiva	,199	,252	,323	,130	,233	,063
	Negativa	-,186	-,198	-,348	-,119	-,243	-,061
Z de Kolmogorov-Smirnov		18,341	22,560	31,728	11,842	22,152	5,806
Sig. asintót. (bilateral)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

a. La distribución de contraste es la Normal.

b. Se han calculado a partir de los datos.

En el año 2016 con un nivel de significación del 95% y p-valor $0,000 < 0,05$ se rechaza la hipótesis de normalidad para todos los contaminantes, por lo que no siguen una distribución normal.

Se muestran a continuación los histogramas que muestran la distribución de los contaminantes durante 2016 en los que se incluye la curva normal ajustada.

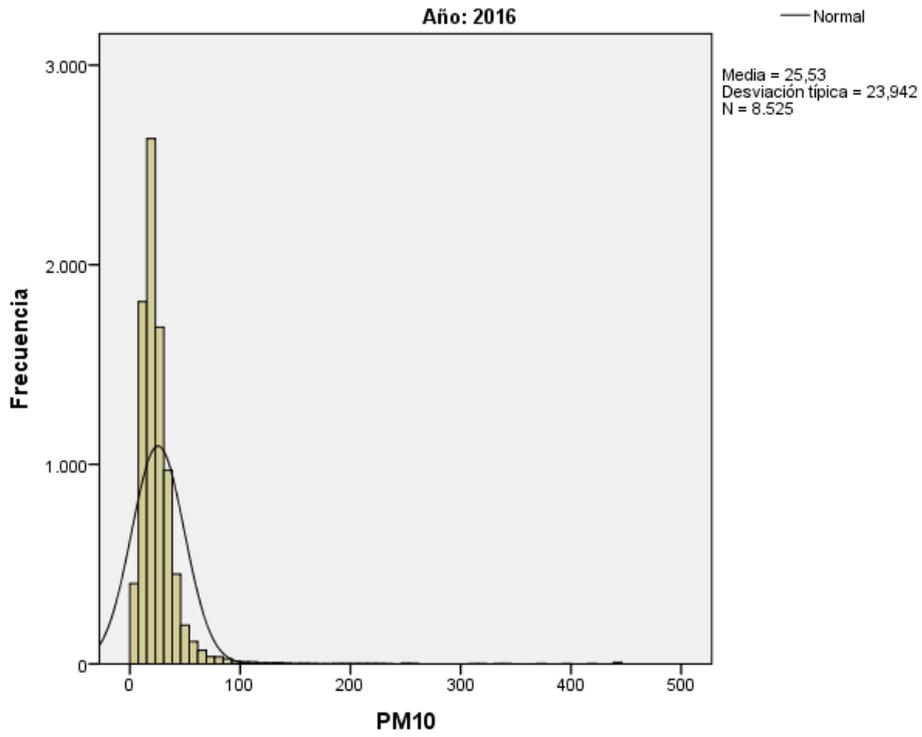


Figura 22. Histograma de la distribución del contaminante PM₁₀ (2016).

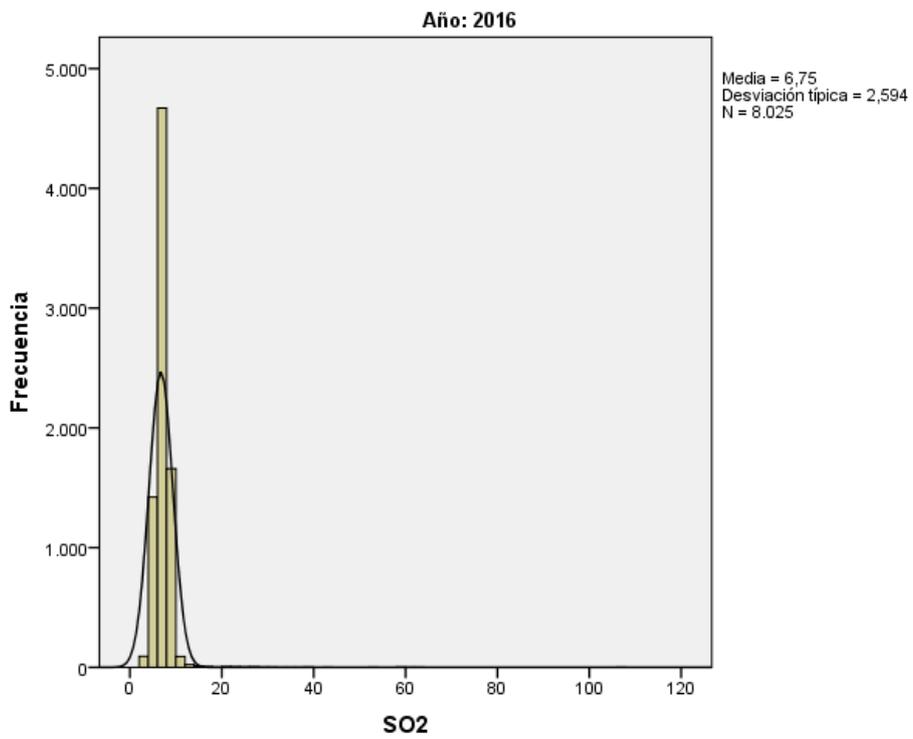


Figura 23. Histograma de la distribución del contaminante SO₂ (2016).

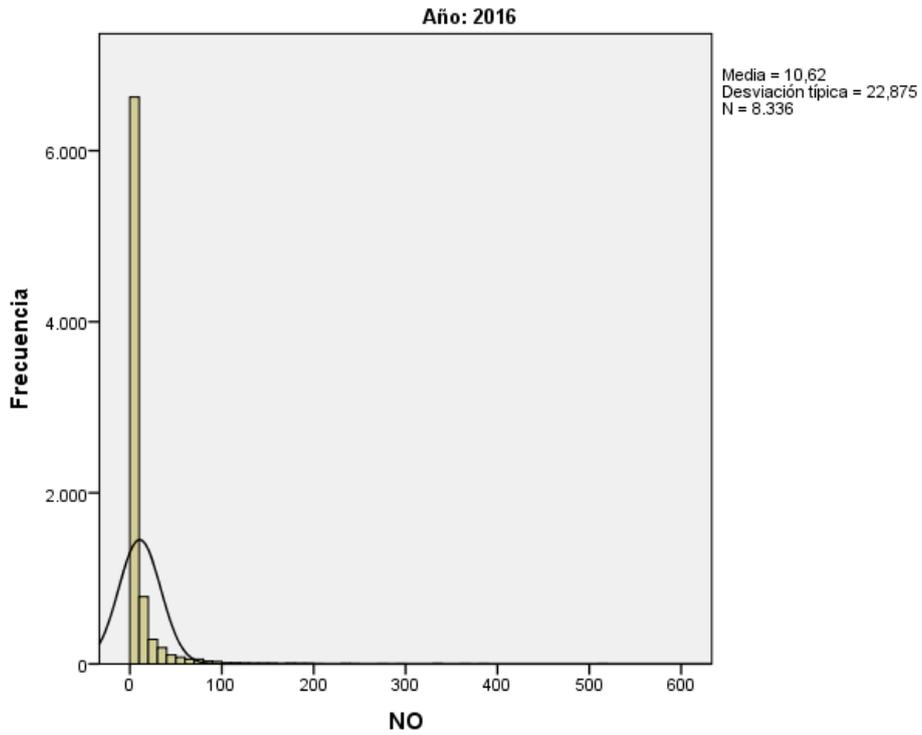


Figura 24. Histograma de la distribución del contaminante NO (2016).

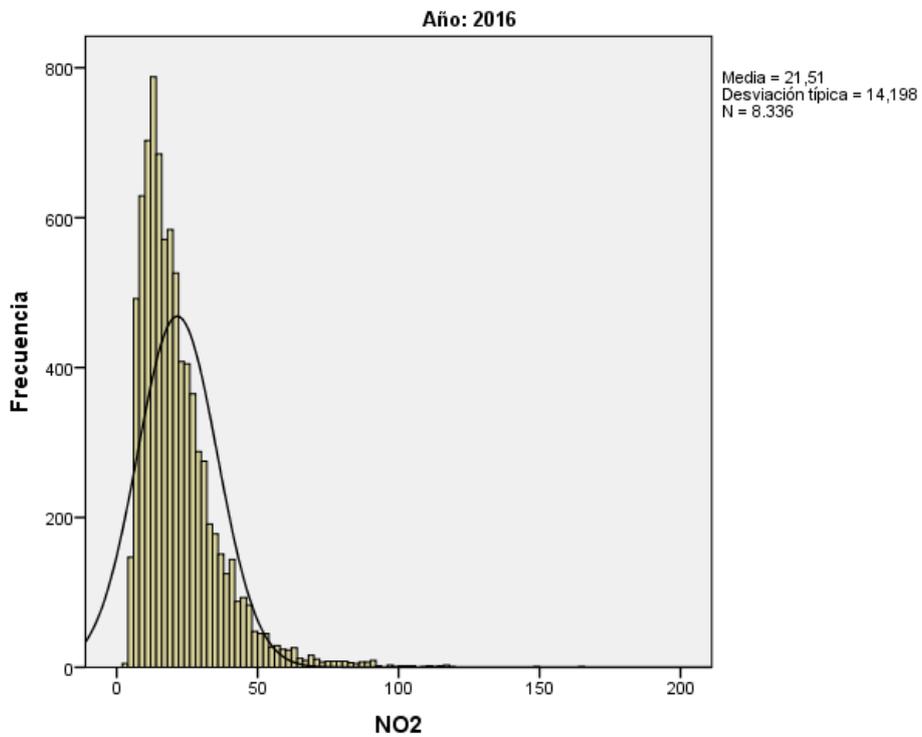


Figura 25. Histograma de la distribución del contaminante NO₂ (2016).

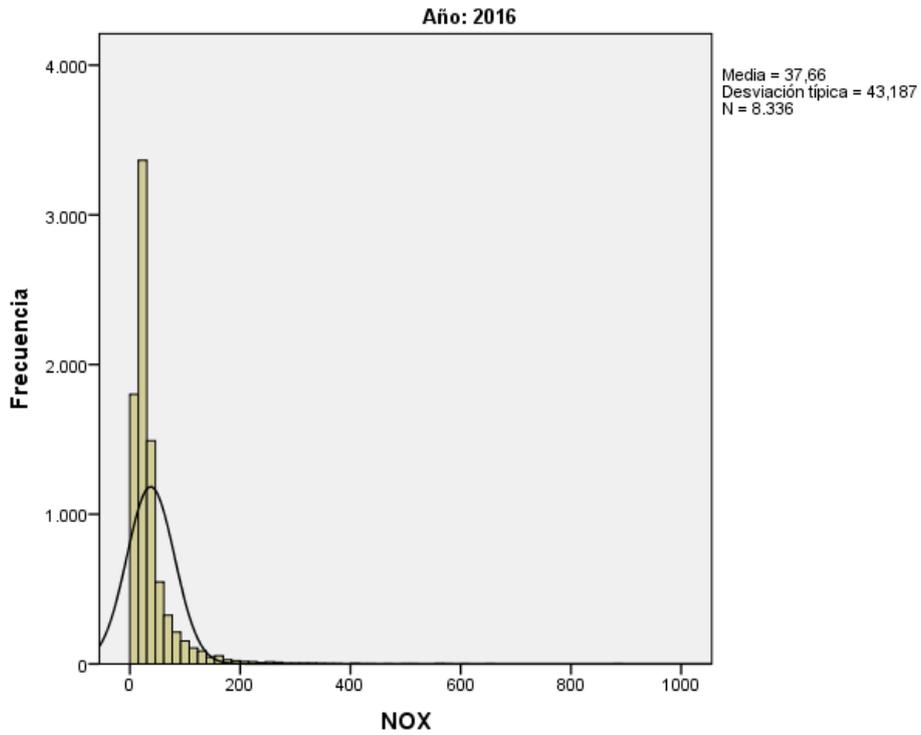


Figura 26. Histograma de la distribución del contaminante NO_x (2016).

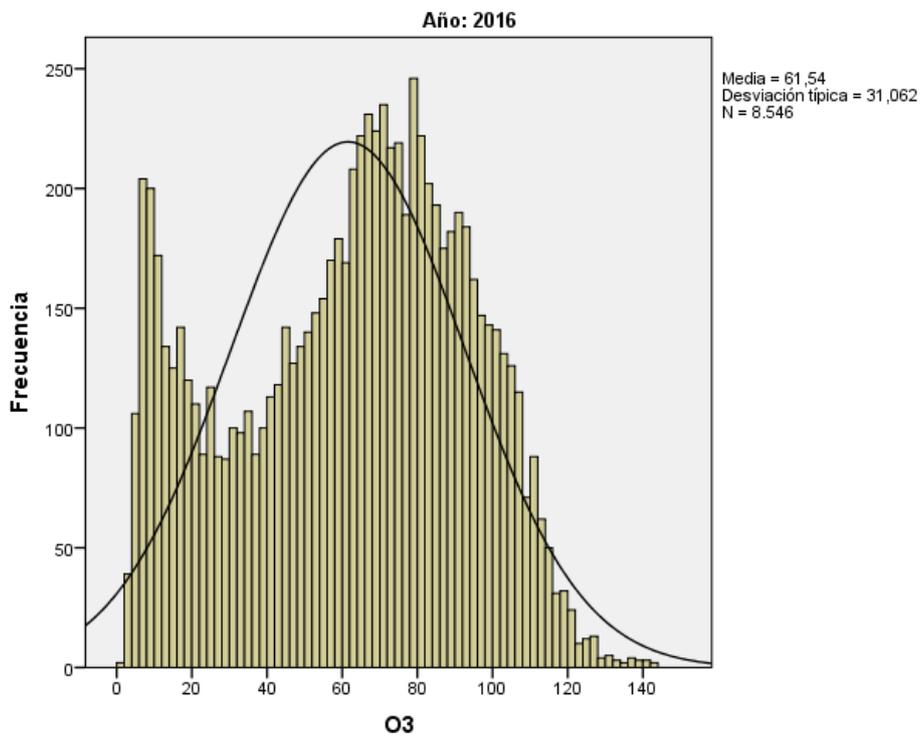


Figura 27. Histograma de la distribución del contaminante O₃ (2016).

4.4.2 Año 2017

Tabla 14. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov de los contaminantes (2017).

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

Año 2017		PM ₁₀	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	O ₃
N		8709	8714	8571	8571	8571	8716
Parámetros normales ^{a,b}	Media	23,97	7,32	10,04	21,82	37,11	65,40
	Desviación típica	15,116	4,842	16,230	15,171	36,913	33,134
Diferencias más extremas	Absoluta	,128	,202	,332	,137	,228	,065
	Positiva	,128	,202	,314	,137	,216	,062
	Negativa	-,087	-,186	-,332	-,122	-,228	-,065
Z de Kolmogorov-Smirnov		11,930	18,847	30,762	12,720	21,123	6,081
Sig. asintót. (bilateral)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

a. La distribución de contraste es la Normal.

b. Se han calculado a partir de los datos.

En el año 2017 con un nivel de significación de 95% y p-valor $0,000 < 0,05$ en todos los contaminantes se rechaza la hipótesis de normalidad, por lo que no siguen una distribución normal.

Se muestran a continuación los histogramas que muestran la distribución de los contaminantes durante 2017 en los que se incluye la curva normal ajustada.

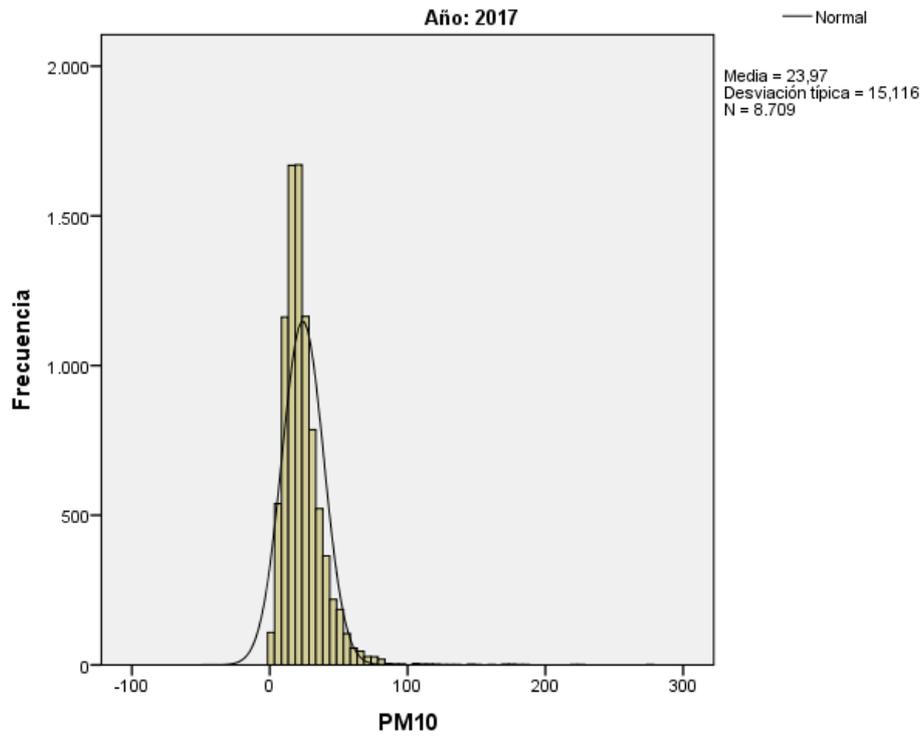


Figura 28.Histograma de la distribución del contaminante PM₁₀ (2017).

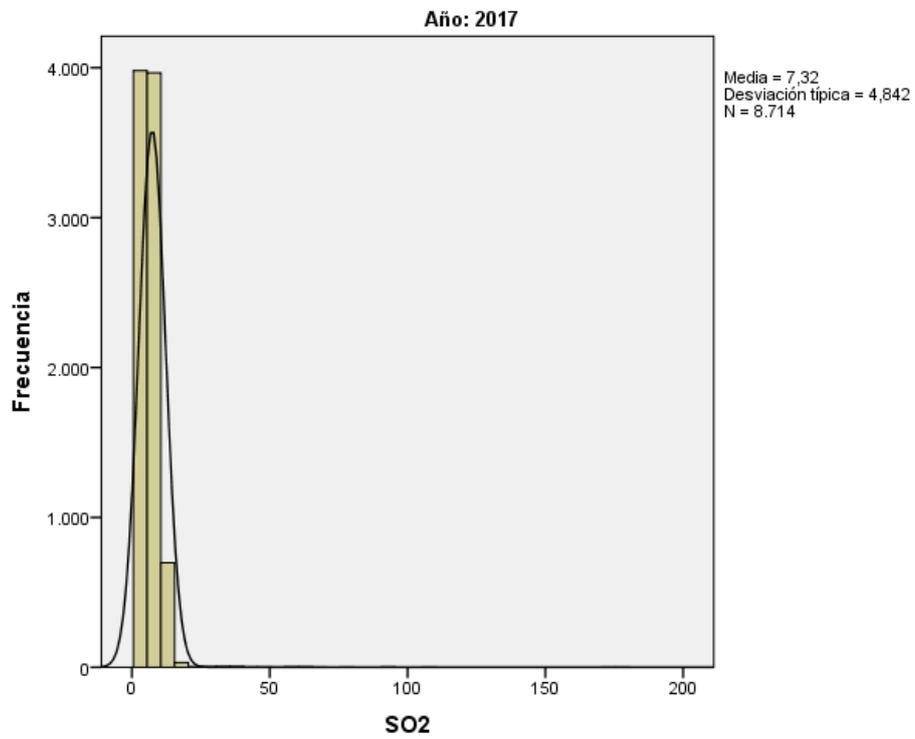


Figura 29.Histograma de la distribución del contaminante SO₂ (2017).

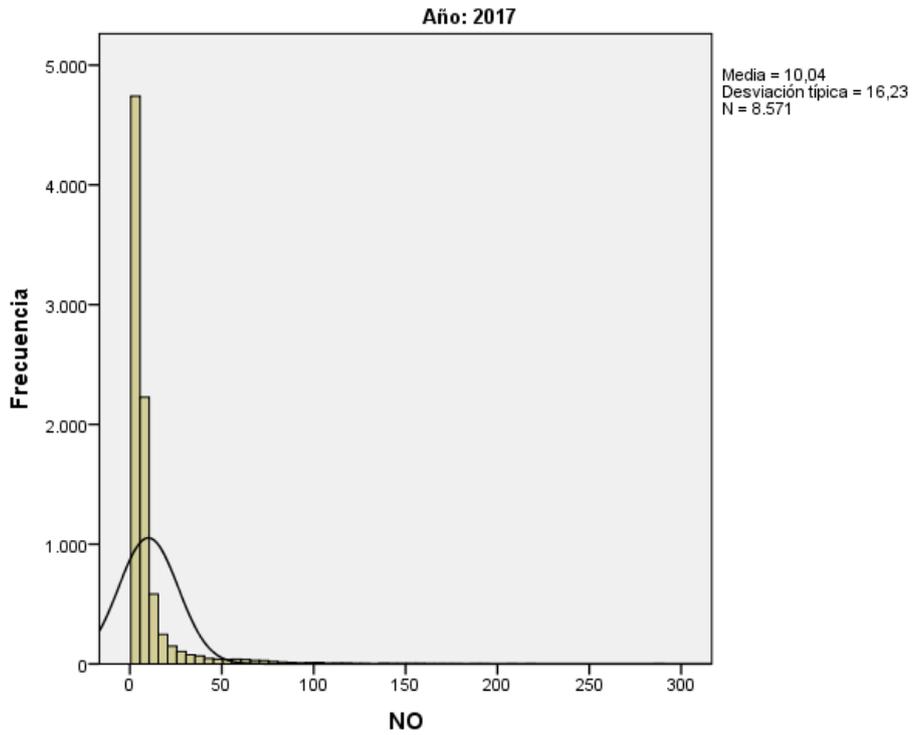


Figura 30. Histograma de la distribución del contaminante NO (2017).

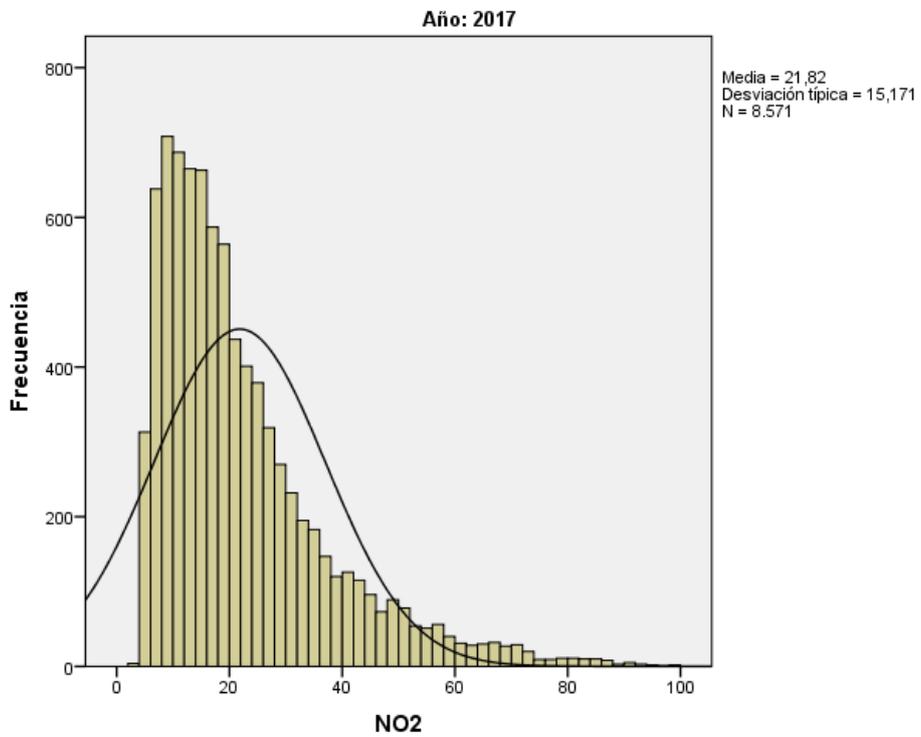


Figura 31. Histograma de la distribución del contaminante NO₂ (2017).

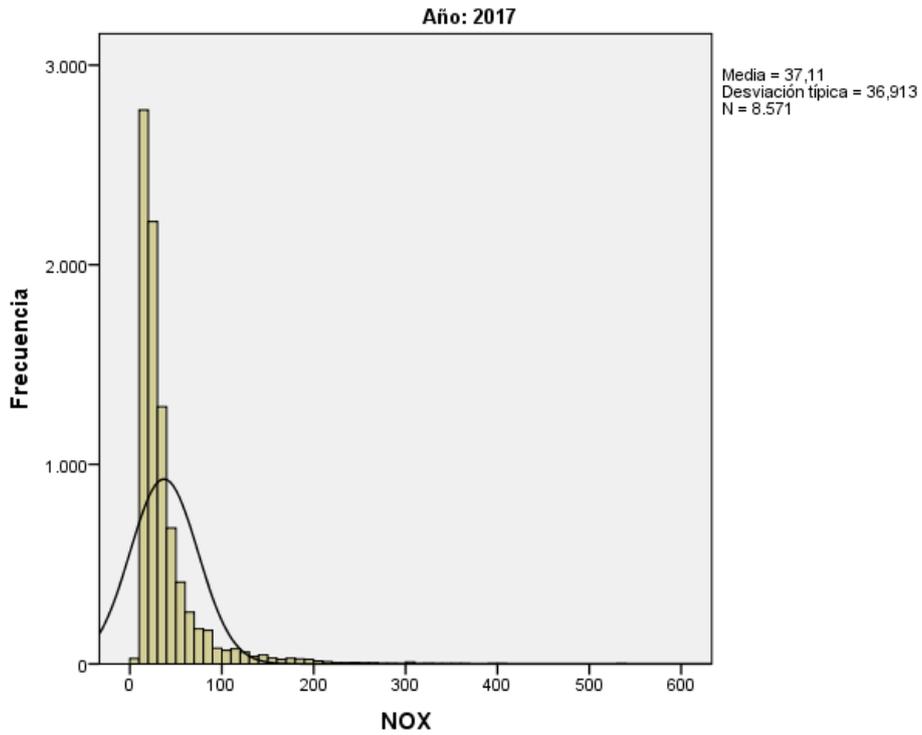


Figura 32. Histograma de la distribución del contaminante NO_x (2017).

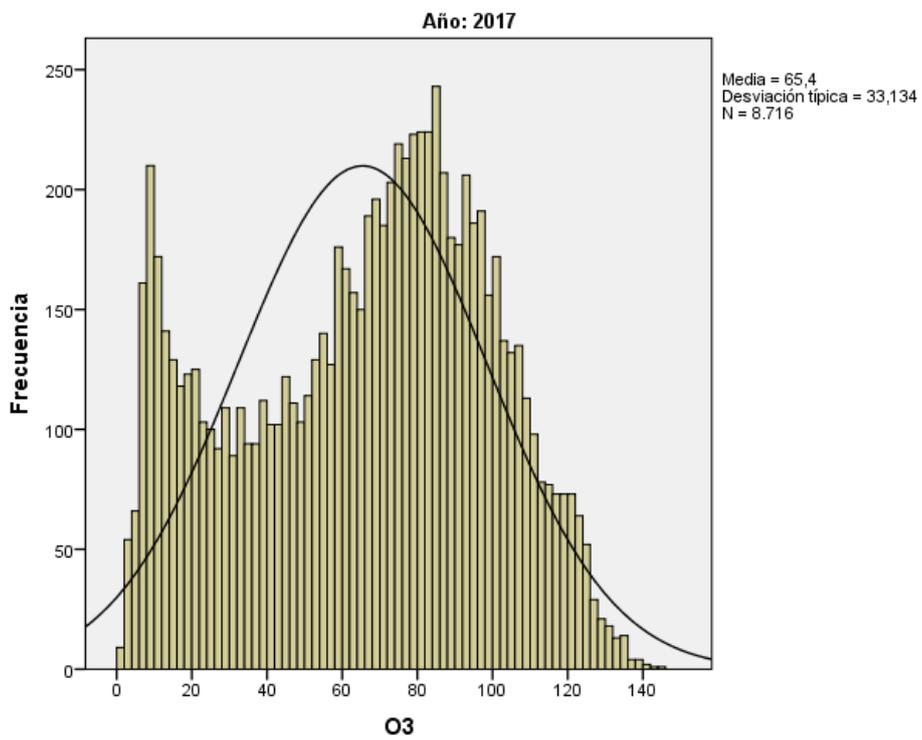


Figura 33. Histograma de la distribución del contaminante O₃ (2017).

4.4.3 Año 2018

Tabla 15. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov de los contaminantes (2018).

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

Año 2018		PM ₁₀	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	O ₃
N		8240	8461	7751	7751	7751	8663
Parámetro	Media	21,85	4,76	10,27	19,52	35,18	66,83
S normales ^{a,b}	Desviación típica	12,282	2,791	14,799	14,542	34,004	31,599
Diferencias más extremas	Absoluta	,091	,175	,288	,150	,209	,084
	Positiva	,091	,175	,288	,150	,209	,064
	Negativa	-,057	-,144	-,286	-,105	-,196	-,084
Z de Kolmogorov-Smirnov		8,218	16,113	25,392	13,204	18,364	7,826
Sig. asintót. (bilateral)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

a. La distribución de contraste es la Normal.

b. Se han calculado a partir de los datos.

En el año 2018 con un nivel de significación de 95% y p-valor $0,000 < 0,05$ en todos los contaminantes se rechaza la hipótesis de normalidad, por lo que no siguen una distribución normal.

Se muestran a continuación los histogramas que muestran la distribución de los contaminantes durante 2018 en los que se incluye la curva normal ajustada.

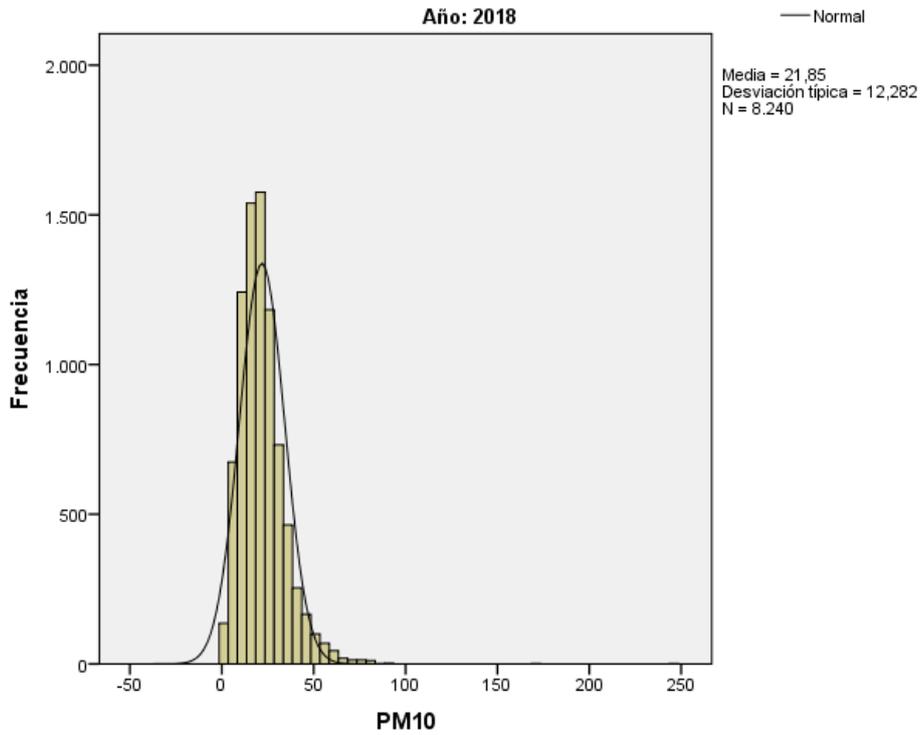


Figura 34. Histograma de la distribución del contaminante PM₁₀ (2018).

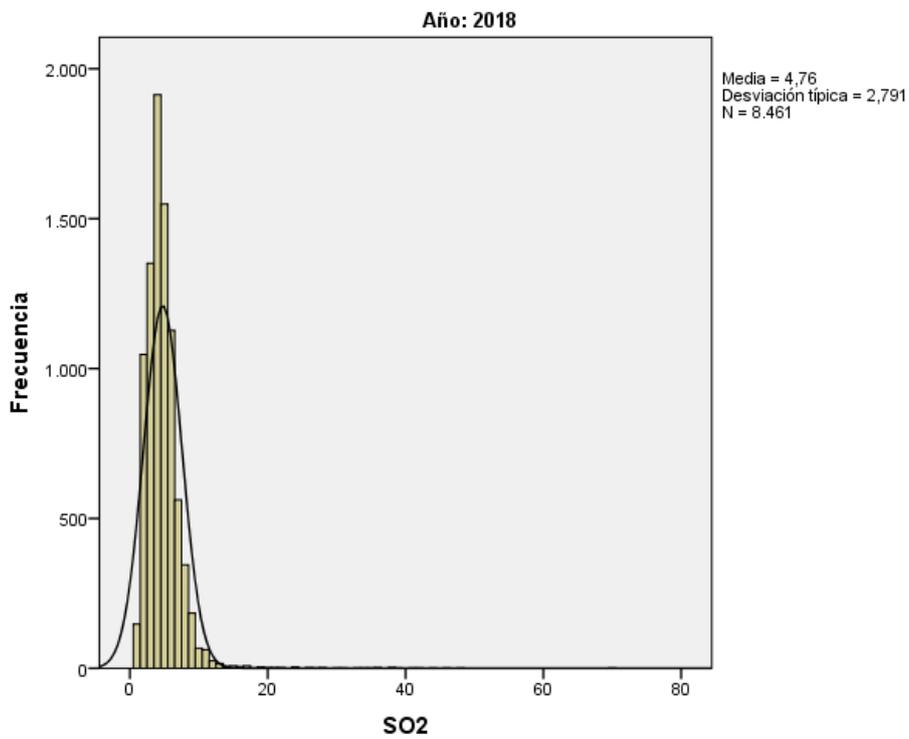


Figura 35. Histograma de la distribución del contaminante SO₂ (2018).

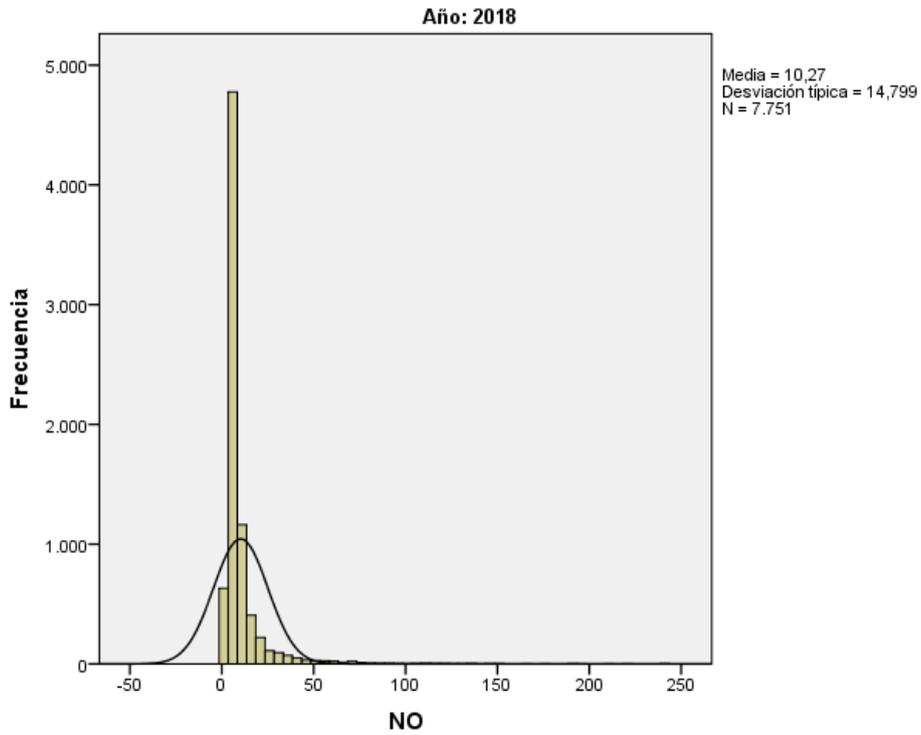


Figura 36. Histograma de la distribución del contaminante NO (2018).

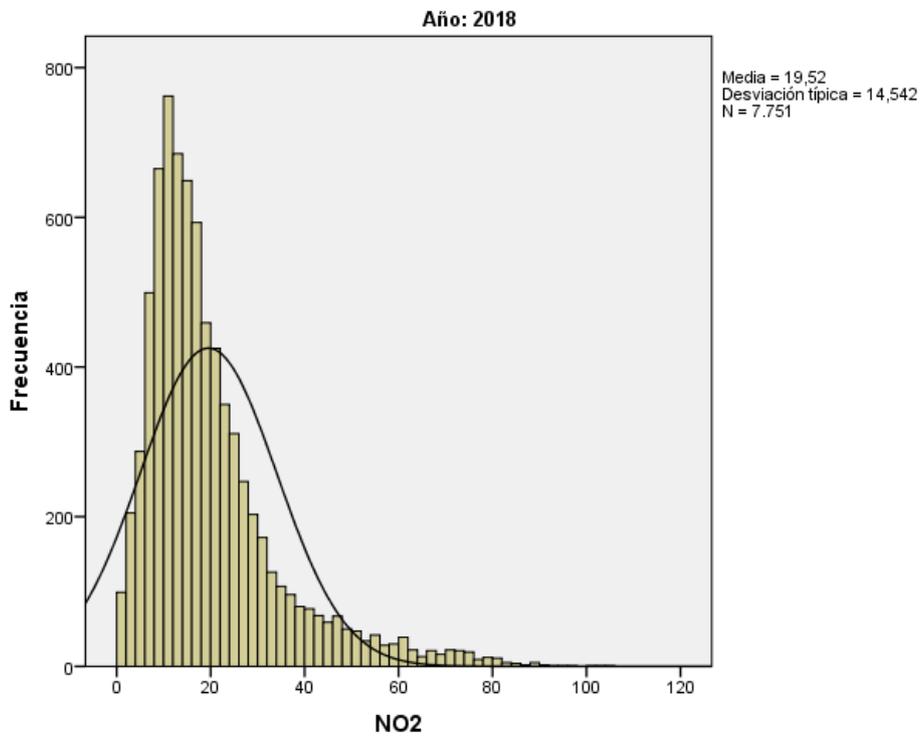


Figura 37. Histograma de la distribución del contaminante NO₂ (2018).

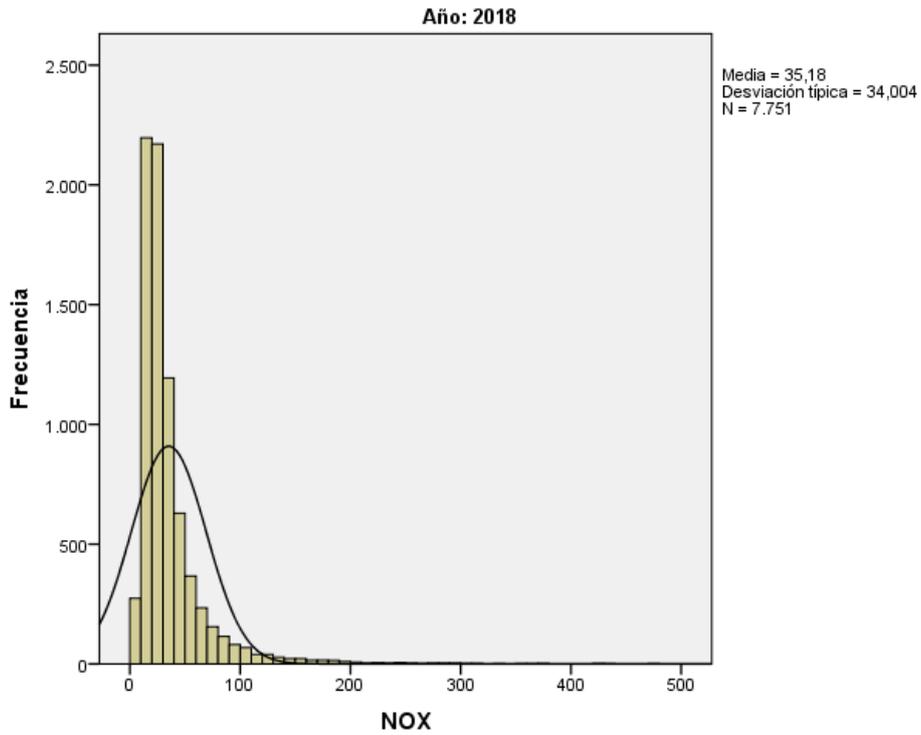


Figura 38. Histograma de la distribución del contaminante NO_x (2018).

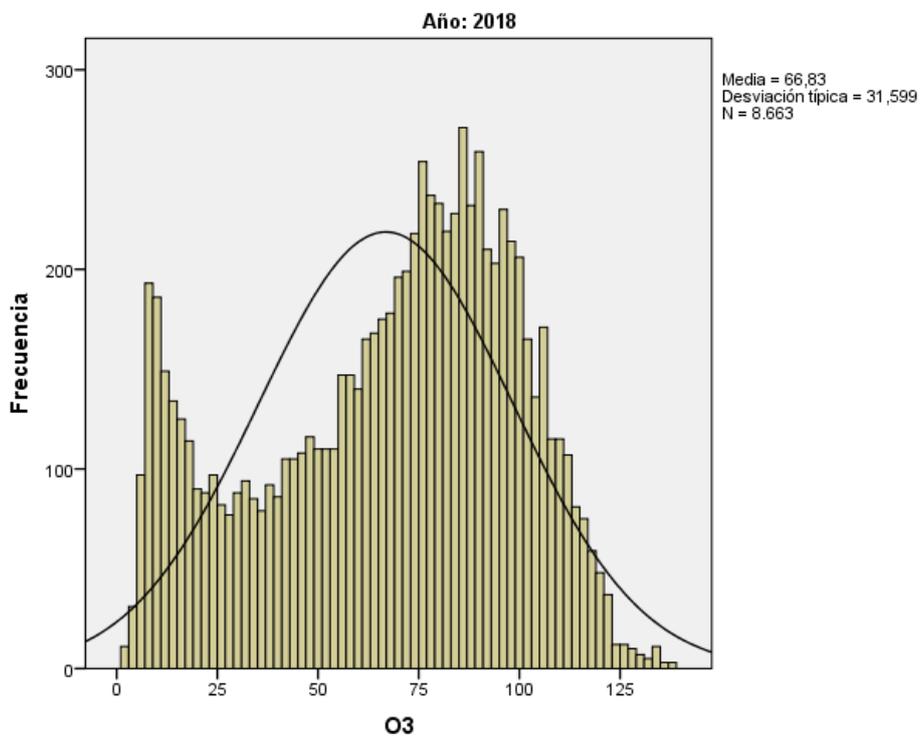


Figura 39. Histograma de la distribución del contaminante O₃ (2018).

4.4.4 Año 2019

Tabla 16. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov de los contaminantes (2019).

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

Año 2019		PM ₁₀	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	O ₃
N		8678	8542	8658	8656	8658	8533
Parámetros normales ^{a,b}	Media	24,38	4,55	8,23	16,49	29,02	63,07
	Desviación típica	13,256	8,284	11,698	13,378	28,588	30,842
Diferencias más extremas	Absoluta	,099	,346	,317	,182	,230	,060
	Positiva	,099	,303	,317	,182	,230	,056
	Negativa	-,063	-,346	-,268	-,156	-,201	-,060
Z de Kolmogorov-Smirnov		9,192	31,950	29,511	16,971	21,447	5,569
Sig. asintót. (bilateral)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

a. La distribución de contraste es la Normal.

b. Se han calculado a partir de los datos.

En el año 2018 con un nivel de significación de 95% y p-valor $0,000 < 0,05$ en todos los contaminantes se rechaza la hipótesis de normalidad, por lo que no siguen una distribución normal.

Se muestran a continuación los histogramas que muestran la distribución de los contaminantes durante 2019 en los que se incluye la curva normal ajustada.

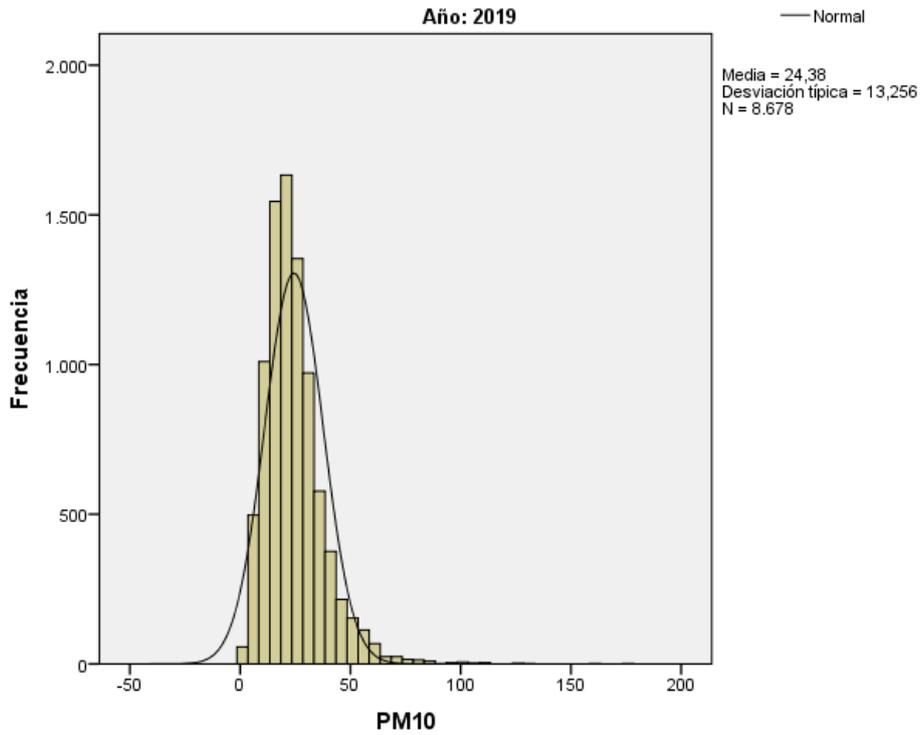


Figura 40. Histograma de la distribución del contaminante PM₁₀ (2019).

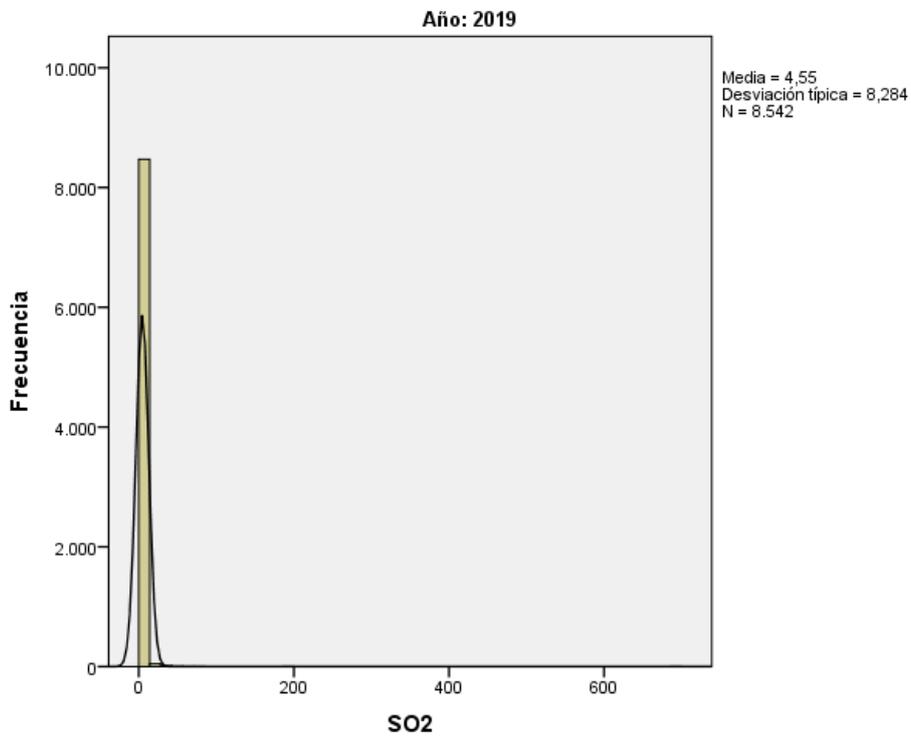


Figura 41. Histograma de la distribución del contaminante SO₂ (2019).

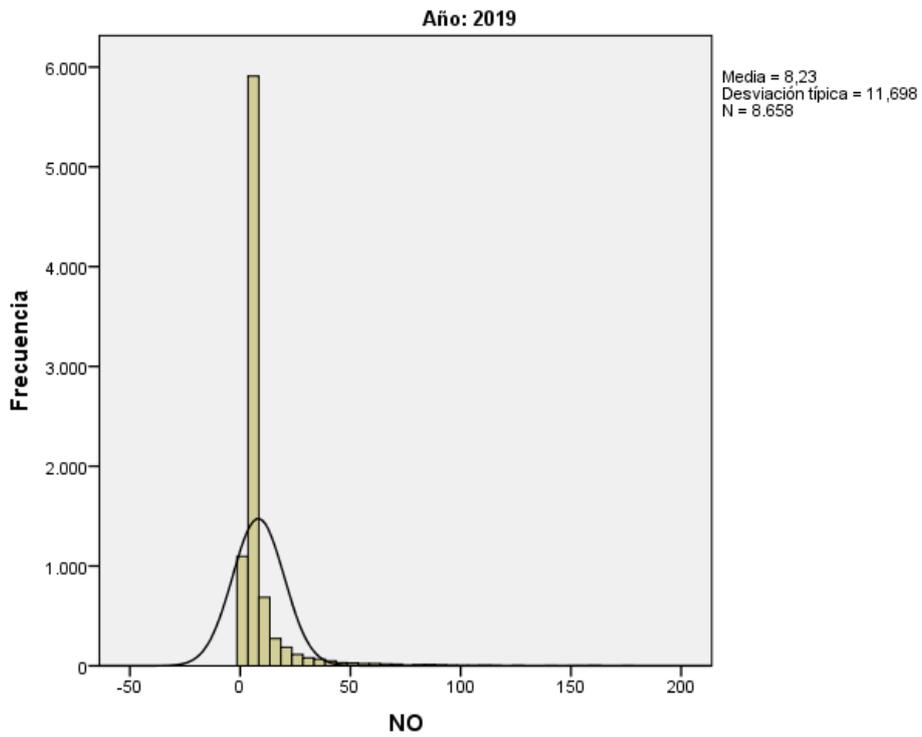


Figura 42. Histograma de la distribución del contaminante NO (2019).

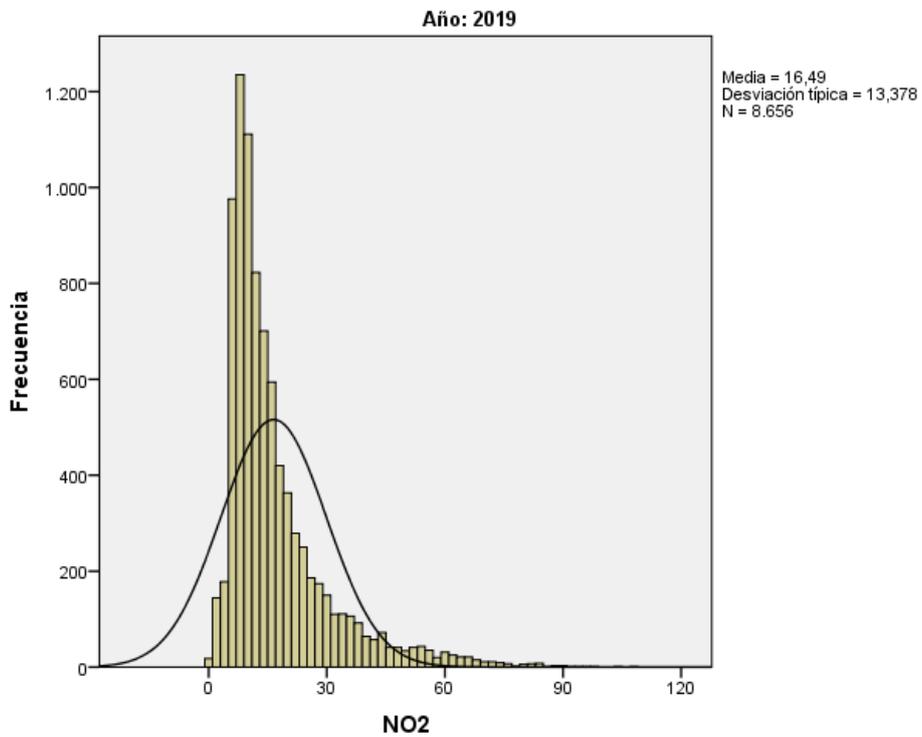


Figura 43. Histograma de la distribución del contaminante NO₂ (2019).

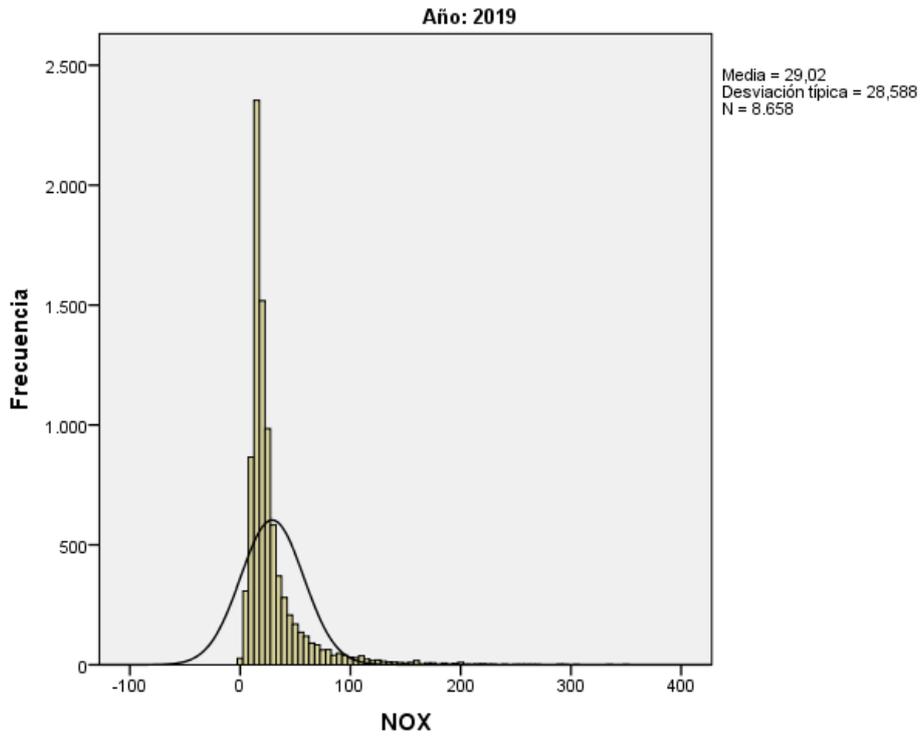


Figura 44. Histograma de la distribución del contaminante NO_x (2019).

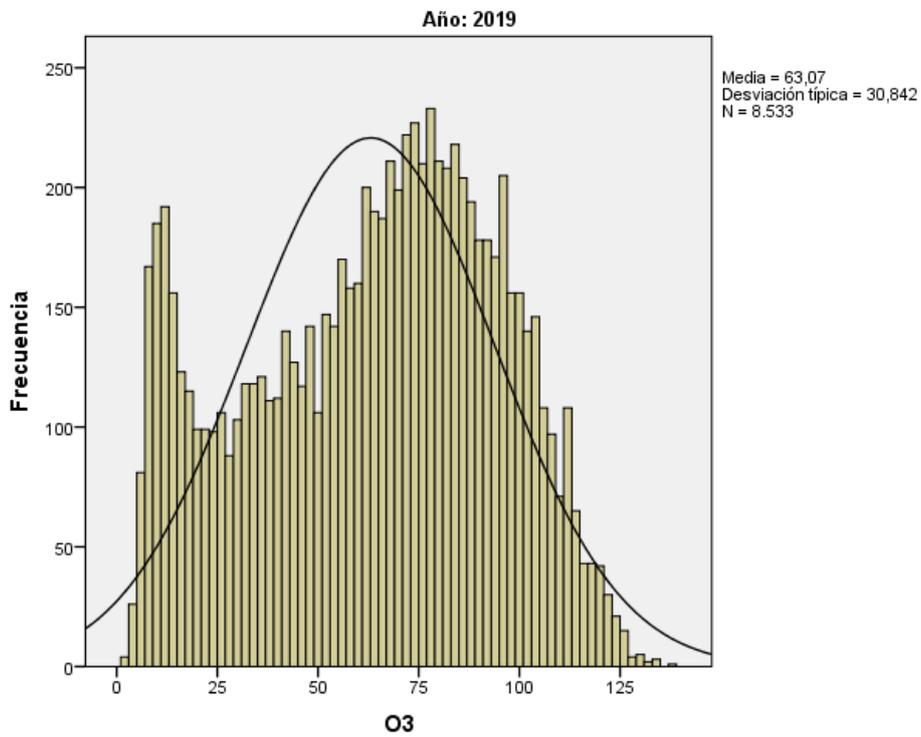


Figura 45. Histograma de la distribución del contaminante O₃ (2019).

4.4.5 Año 2020

Tabla 17. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov de los contaminantes (2020).

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

Año 2020		PM ₁₀	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	O ₃
N		8569	8642	8593	8592	8592	8635
Parámetros normales ^{a,b}	Media	24,61	4,84	5,03	13,07	20,40	48,67
	Desviación típica	19,877	3,824	11,958	15,761	31,064	26,719
Diferencias más extremas	Absoluta	,183	,216	,368	,241	,288	,073
	Positiva	,183	,216	,331	,194	,224	,064
	Negativa	-,164	-,180	-,368	-,241	-,288	-,073
Z de Kolmogorov-Smirnov		16,906	20,112	34,125	22,351	26,664	6,798
Sig. asintót. (bilateral)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

a. La distribución de contraste es la Normal.

b. Se han calculado a partir de los datos.

En el año 2020 con un nivel de significación de 95% y p-valor $0,000 < 0,05$ en todos los contaminantes se rechaza la hipótesis de normalidad, por lo que no siguen una distribución normal.

Se muestran a continuación los histogramas que muestran la distribución de los contaminantes durante 2020 en los que se incluye la curva normal ajustada.

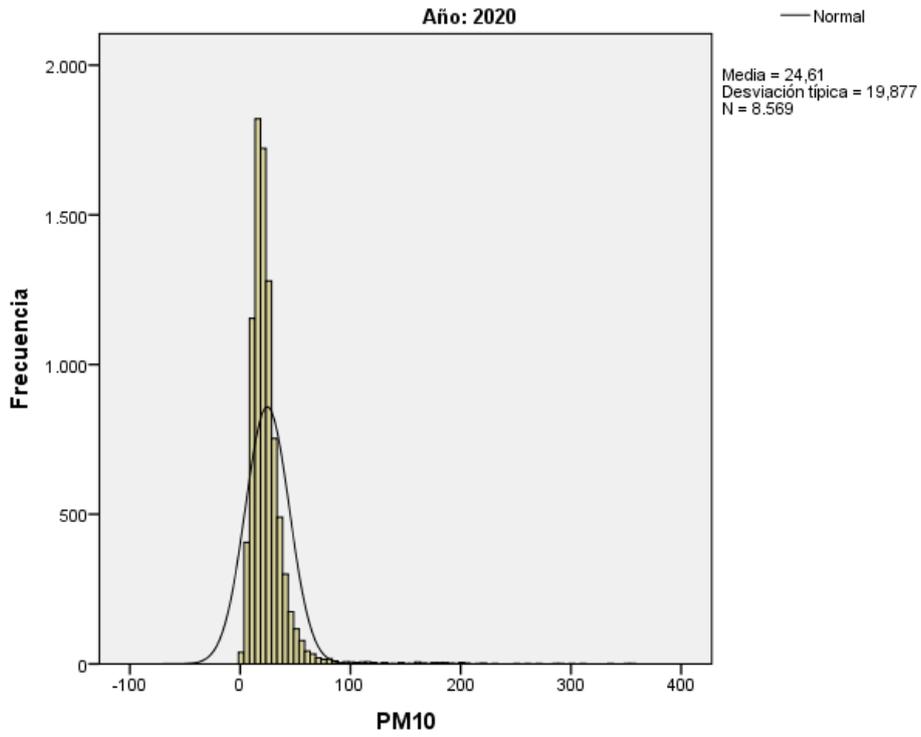


Figura 46. Histograma de la distribución del contaminante PM₁₀ (2020).

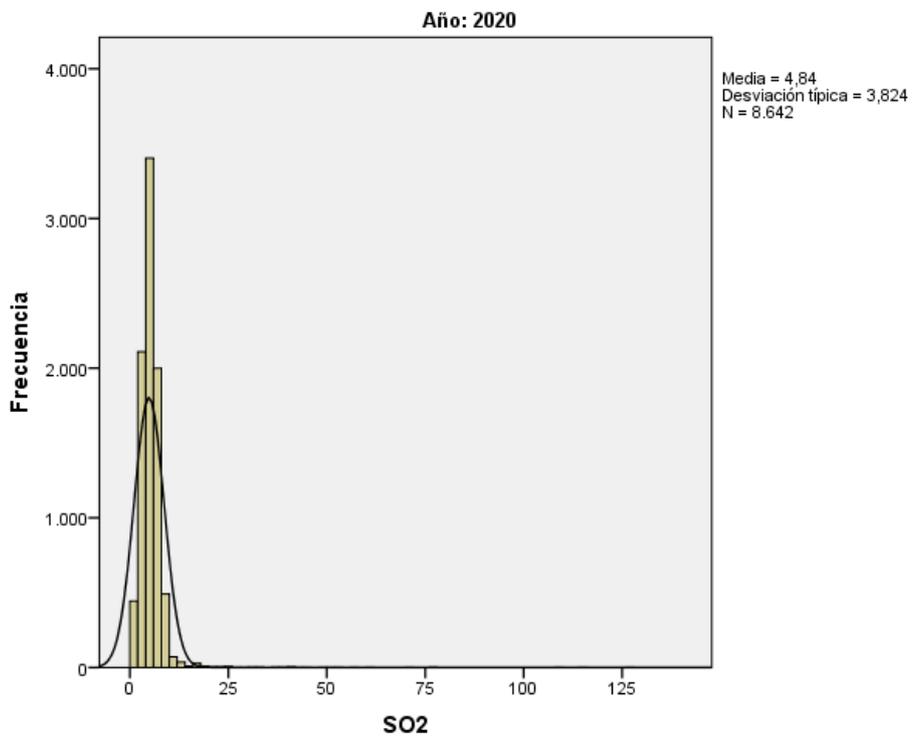


Figura 47. Histograma de la distribución del contaminante SO₂ (2020).

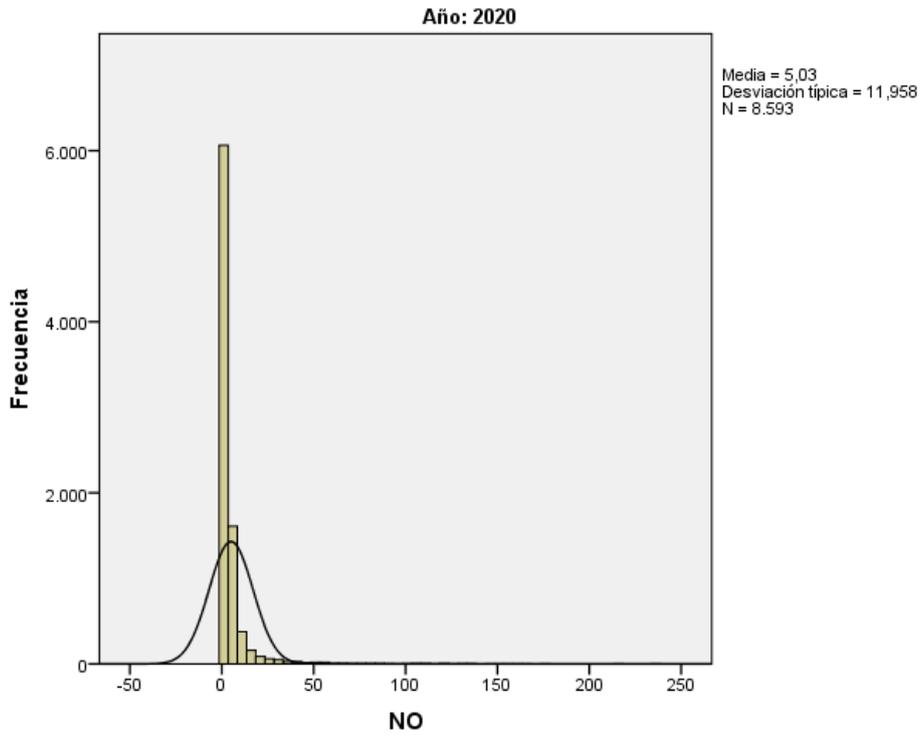


Figura 48. Histograma de la distribución del contaminante NO (2020).

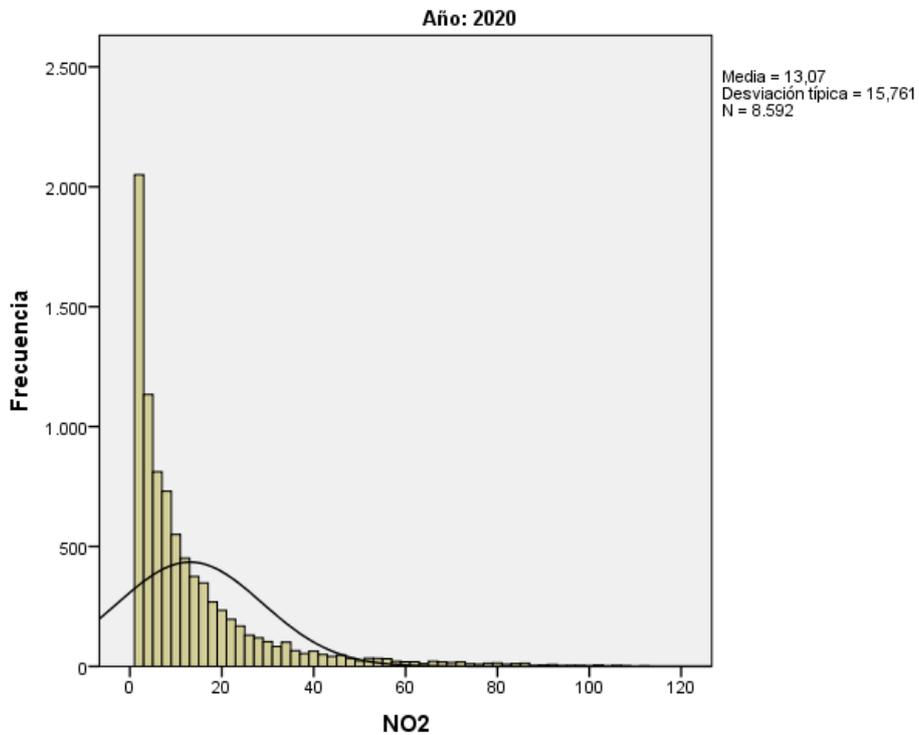


Figura 49. Histograma de la distribución del contaminante NO₂ (2016).

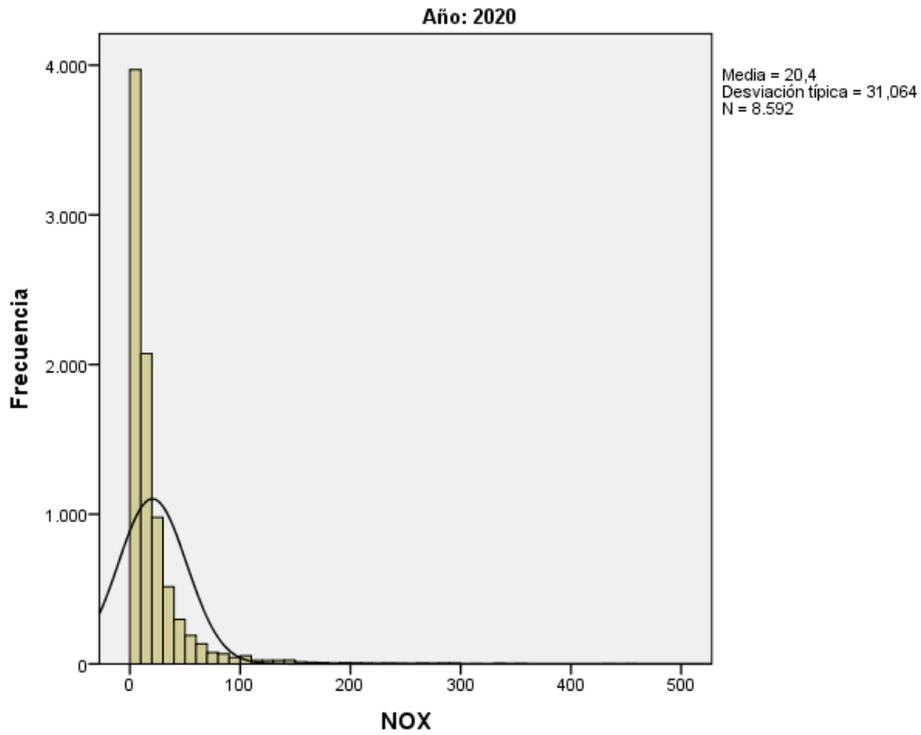


Figura 51. Histograma de la distribución del contaminante NO_x (2020).

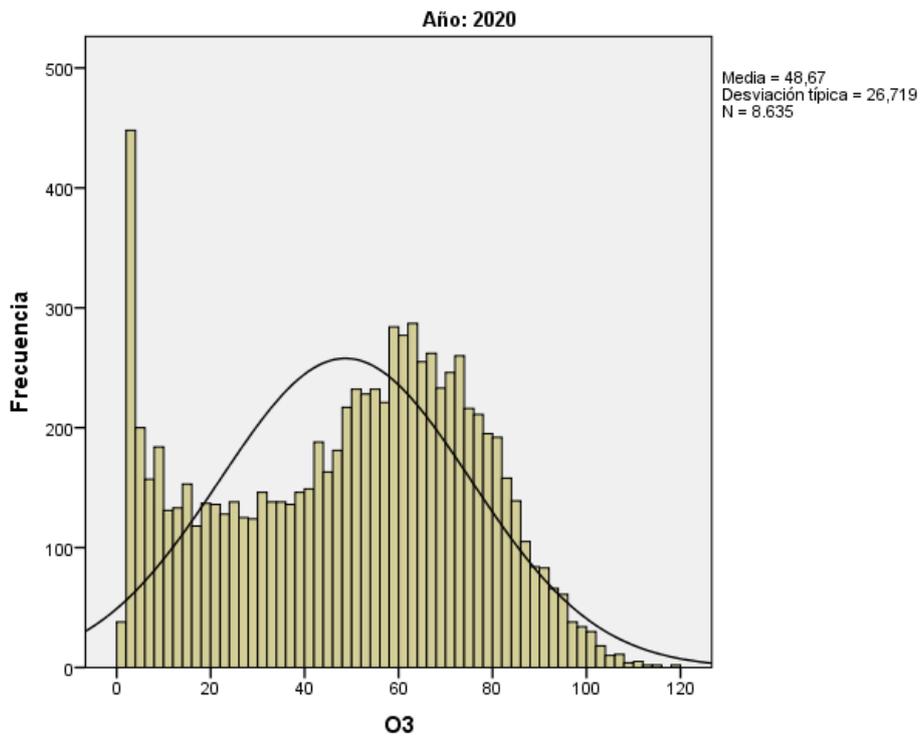


Figura 52. Histograma de la distribución del contaminante O₃ (2020).

4.4.6 Totales

Tabla 18. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov de los contaminantes

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra

TOTALES	PM ₁₀	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	O ₃
N	42721	42384	41909	41906	41908	43093
Parámetros normales ^{a,b}						
Media	24,08	5,64	8,80	18,44	31,77	61,11
Desviación típica	17,505	5,079	16,136	15,009	35,680	31,426
Diferencias más extremas						
Absoluta	,146	,216	,314	,144	,213	,059
Positiva	,146	,195	,309	,144	,213	,059
Negativa	-,126	-,216	-,314	-,134	-,209	-,055
Z de Kolmogorov-Smirnov	30,210	44,538	64,378	29,383	43,536	12,243
Sig. asintót. (bilateral)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

a. La distribución de contraste es la Normal.

b. Se han calculado a partir de los datos.

Con un nivel de significación de 95% y p-valor $0,000 < 0,05$ en todos los contaminantes durante todos los años en su conjunto, se rechaza la hipótesis de normalidad, por lo que no siguen una distribución normal.

Se muestran a continuación los histogramas que muestran la distribución de los contaminantes en los que se incluye la curva normal ajustada.

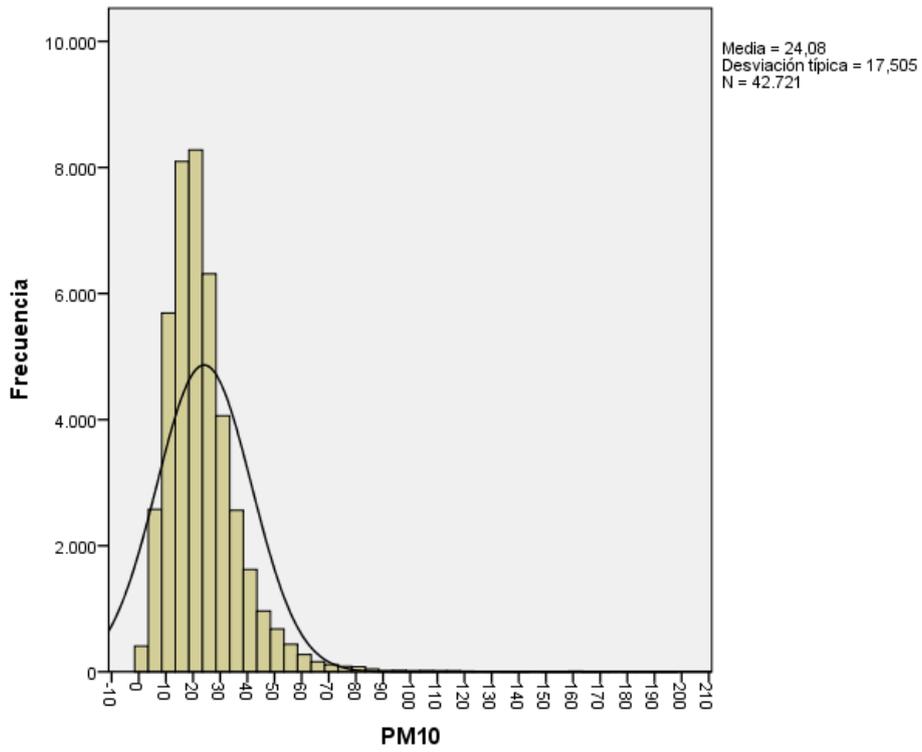


Figura 53. Histograma de la distribución del contaminante PM₁₀.

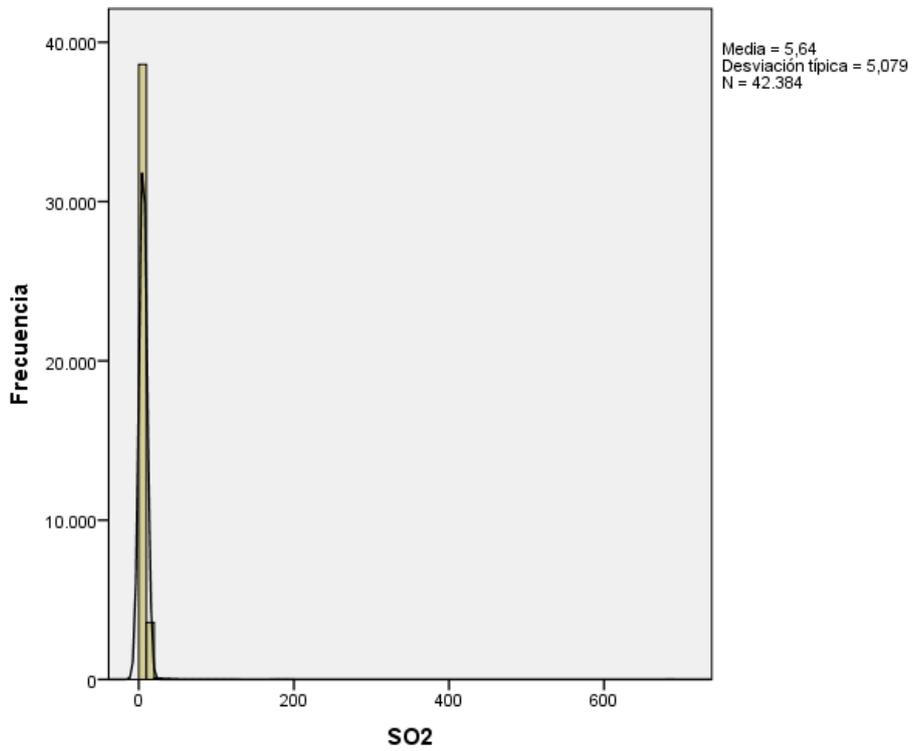


Figura 54. Histograma de la distribución del contaminante SO₂.

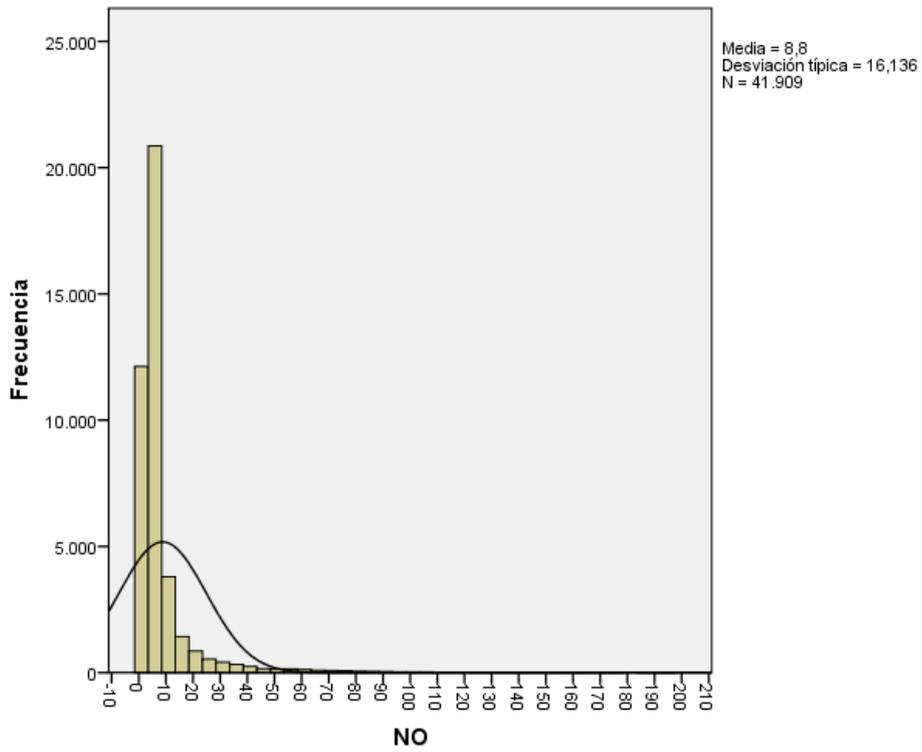


Figura 55.Histograma de la distribución del contaminante NO.

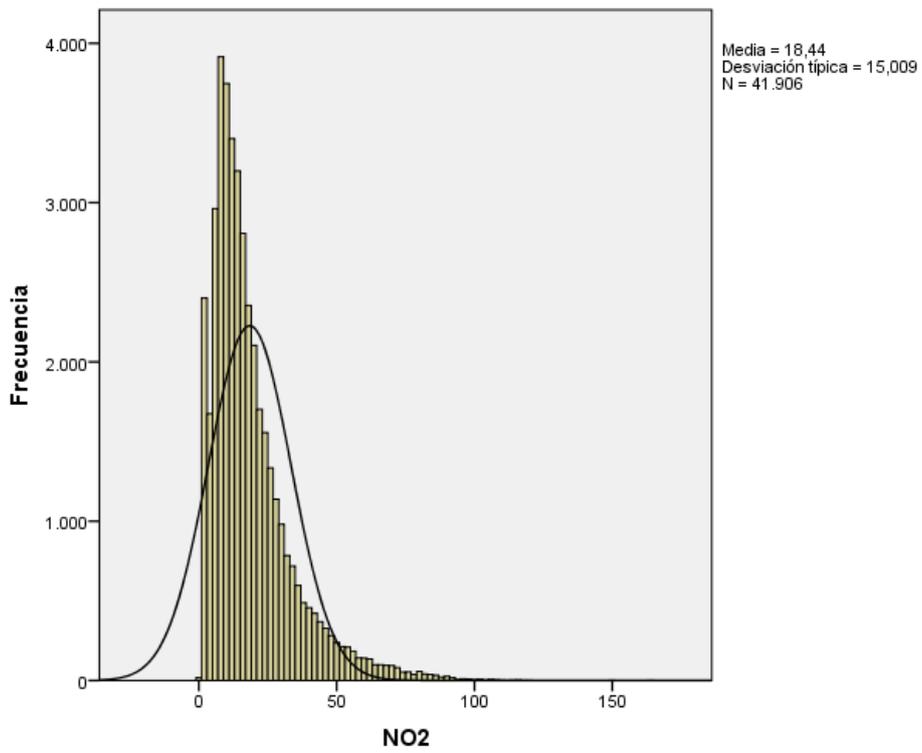


Figura 56.Histograma de la distribución del contaminante NO₂.

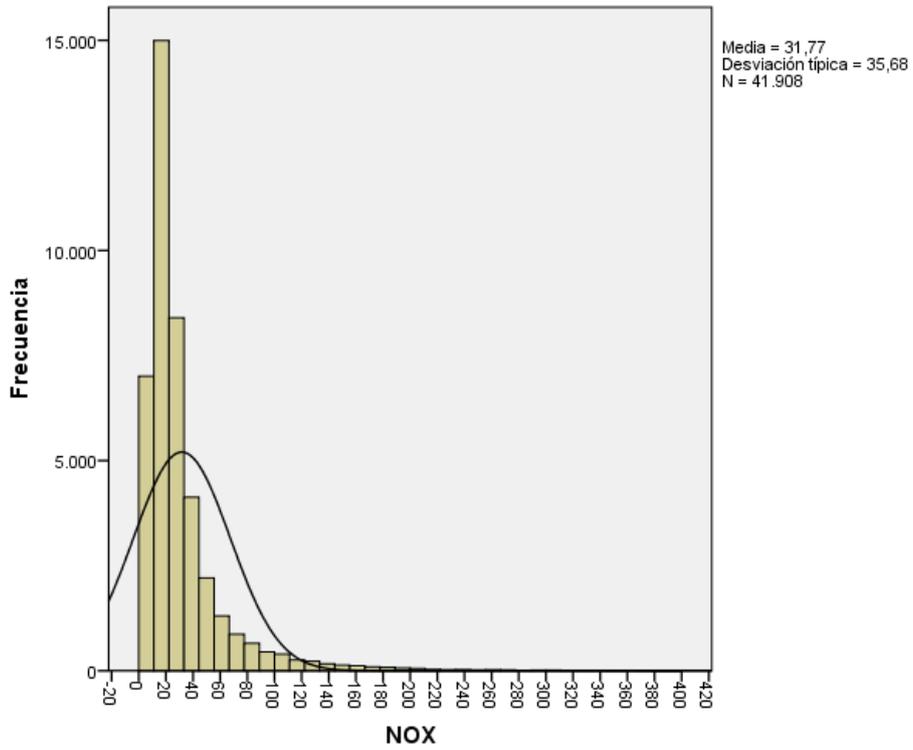


Figura 57. Histograma de la distribución del contaminante NO_x.

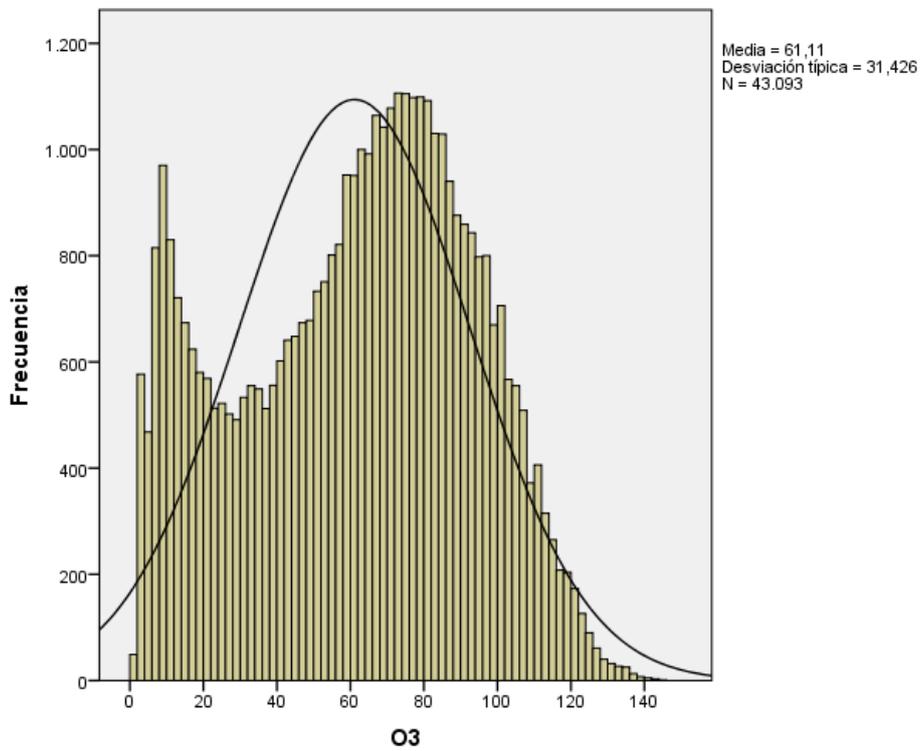


Figura 58. Histograma de la distribución del contaminante O₃.

4.5 Estudio de log normalidad de los contaminantes

De forma similar al caso anterior, realizamos el estudio de la normalidad sobre el logaritmo decimal de la muestra de los contaminantes para realizar el estudio log normal, empleando la prueba de Kolmogorov-Smirnov por cada año y en total.

Las tablas del estudio de log-normalidad anuales se incluyen en el Anexo, así como los histogramas de cada contaminante con la curva normal aproximada para cada año de estudio y en su totalidad.

Acorde con los resultados obtenidos con la prueba de Kolmogorov-Smirnov aplicada al logaritmo decimal de las concentraciones de los contaminantes, se obtiene que para todos los años y en todos los contaminantes un p-valor de $0,000 < 0,05$ con una significación del 95%. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis de que los contaminantes siguen una distribución log-normal.

4.6 Homogeneidad de las varianzas

Como paso siguiente se ha realizado el estudio de homogeneidad de las varianzas de los datos mediante el Test de Levene tanto por años como de forma global para la comparación de varianzas entre los grupos “Hay crucero” y “No hay crucero”.

4.6.1 Año 2016

En la tabla 25 se muestra el test de Levene de los contaminantes para 2016.

Tabla 19. Test de Levene para homogeneidad de varianzas (2016).

Prueba de homogeneidad de varianzas ^a				
2016	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
PM ₁₀	25,705	1	8523	,000
SO ₂	17,857	1	8023	,000
NO	151,510	1	8334	,000
NO ₂	10,365	1	8334	,001
NO _x	115,453	1	8334	,000
O ₃	4,509	1	8544	,034

4.6.2 Año 2017

En la tabla 26 se muestra el test de Levene de los contaminantes para 2017.

Tabla 20. Test de Levene para homogeneidad de varianzas (2017).

Prueba de homogeneidad de varianzas ^a				
2017	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
PM ₁₀	3,133	1	8707	,077
SO ₂	3,359	1	8712	,067
NO	,908	1	8569	,341
NO ₂	2,503	1	8569	,114
NO _x	2,561	1	8569	,110
O ₃	1,933	1	8714	,164

4.6.3 Año 2018

En la tabla 27 se muestra el test de Levene de los contaminantes para 2018.

Tabla 21. Test de Levene para homogeneidad de varianzas (2018).

Prueba de homogeneidad de varianzas^a				
2018	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
PM ₁₀	35,613	1	8238	,000
SO ₂	25,101	1	8459	,000
NO	1,611	1	7749	,204
NO ₂	,021	1	7749	,884
NO _x	2,041	1	7749	,153
O ₃	1,819	1	8661	,177

4.6.4 Año 2019

En la tabla 28 se muestra el test de Levene de los contaminantes para 2019.

Tabla 22. Test de Levene para homogeneidad de varianzas (2019).

Prueba de homogeneidad de varianzas^a				
2019	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
PM ₁₀	56,408	1	8659	,000
SO ₂	,001	1	8523	,981
NO	231,183	1	8639	,000
NO ₂	276,290	1	8637	,000
NO _x	288,572	1	8639	,000
O ₃	,408	1	8514	,523

4.6.5 Año 2020

En la tabla 29 se muestra el test de Levene de los contaminantes para 2020.

Tabla 23. Test de Levene para homogeneidad de varianzas (2020).

Prueba de homogeneidad de varianzas^a				
2020	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
PM ₁₀	86,878	1	8567	,000
SO ₂	,529	1	8640	,467
NO	279,201	1	8591	,000
NO ₂	19,319	1	8590	,000
NO _x	150,406	1	8590	,000
O ₃	1,758	1	8633	,185

4.6.6 Totales

En la tabla 30 se muestra el test de Levene de los contaminantes para los cinco años.

Tabla 24. Test de Levene para homogeneidad de varianzas.

Prueba de homogeneidad de varianzas				
TOTAL	Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
PM ₁₀	77,948	1	42702	,000
SO ₂	7,154	1	42365	,007
NO	315,292	1	41890	,000
NO ₂	68,028	1	41887	,000
NO _x	250,898	1	41889	,000
O ₃	13,925	1	43074	,000

4.7 Distribución de los contaminantes según otros factores

A continuación, se procede a realizar el estudio de influencia de los contaminantes según otros factores tales como el día de la semana, la hora del día, la dirección y velocidad del viento y la franja horaria.

4.7.1 Día de la semana

En esta sección mostramos los gráficos de barras de error de la concentración de contaminantes en función del día de la semana en el total de los años. Se incluirá posteriormente en el anexo las gráficas de error de cada contaminante para cada año de estudio.

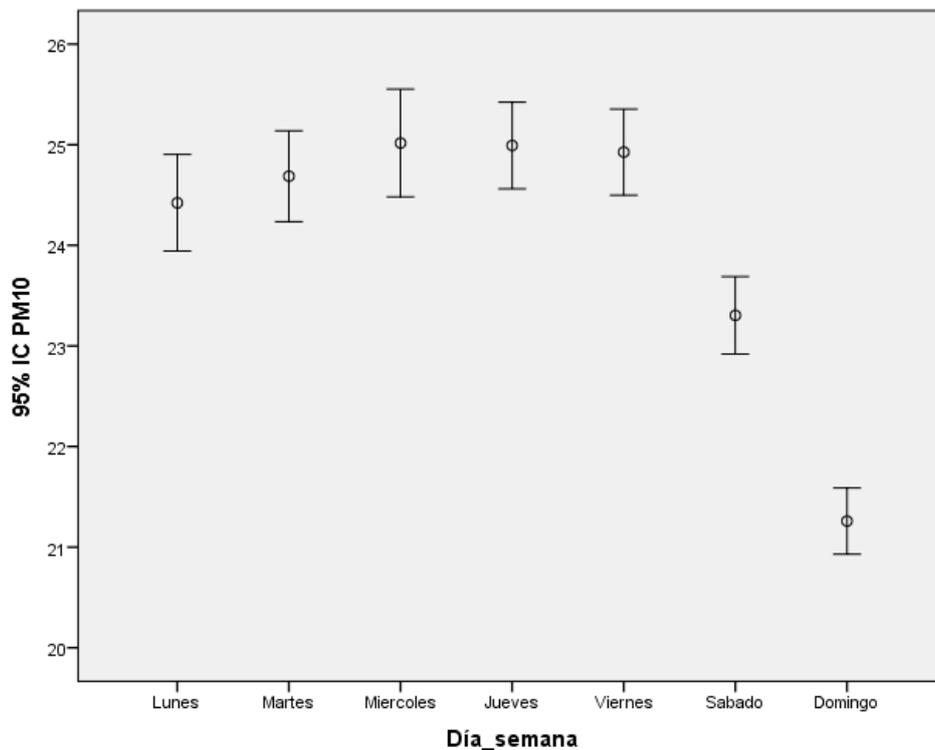


Figura 59. Barras de error diarias del contaminante PM₁₀.

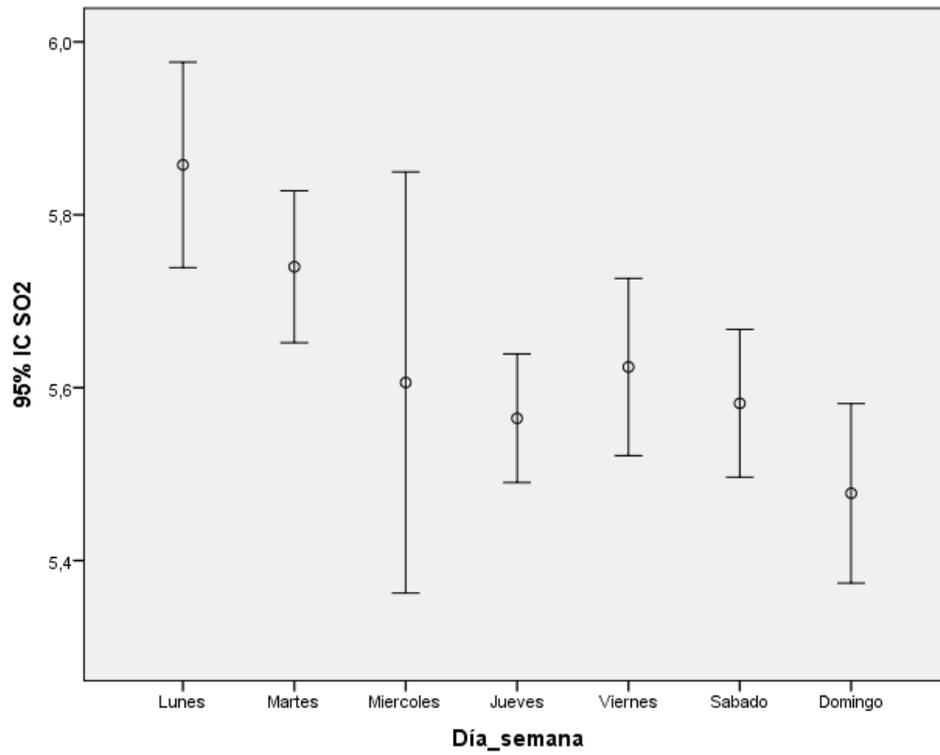


Figura 60. Barras de error diarias del contaminante SO₂.

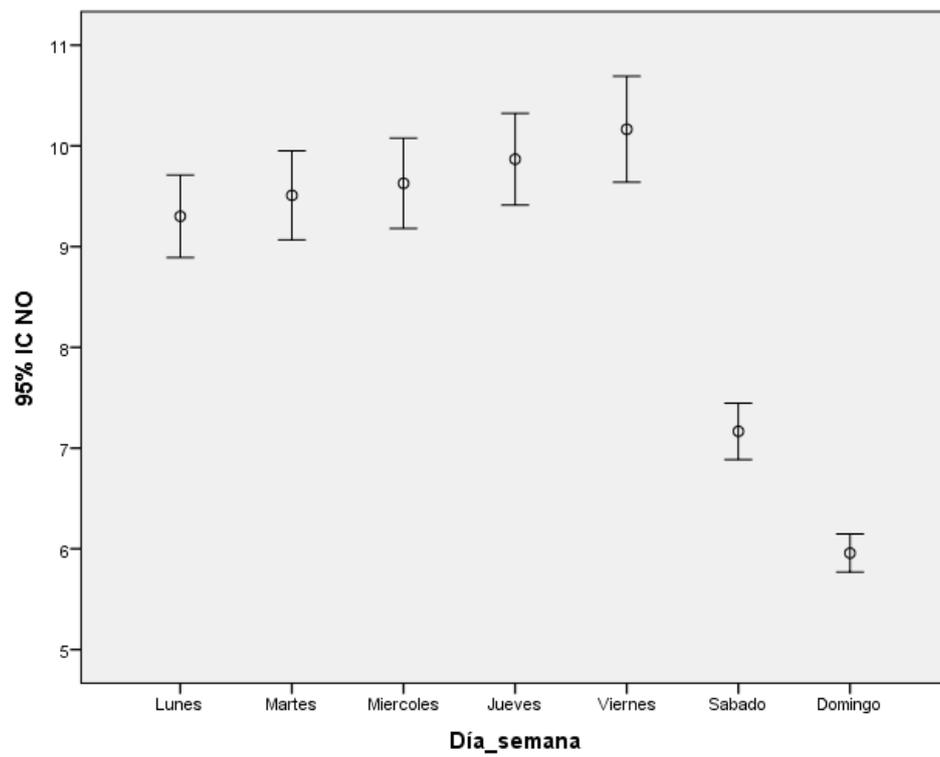


Figura 61. Barras de error diarias del contaminante NO.

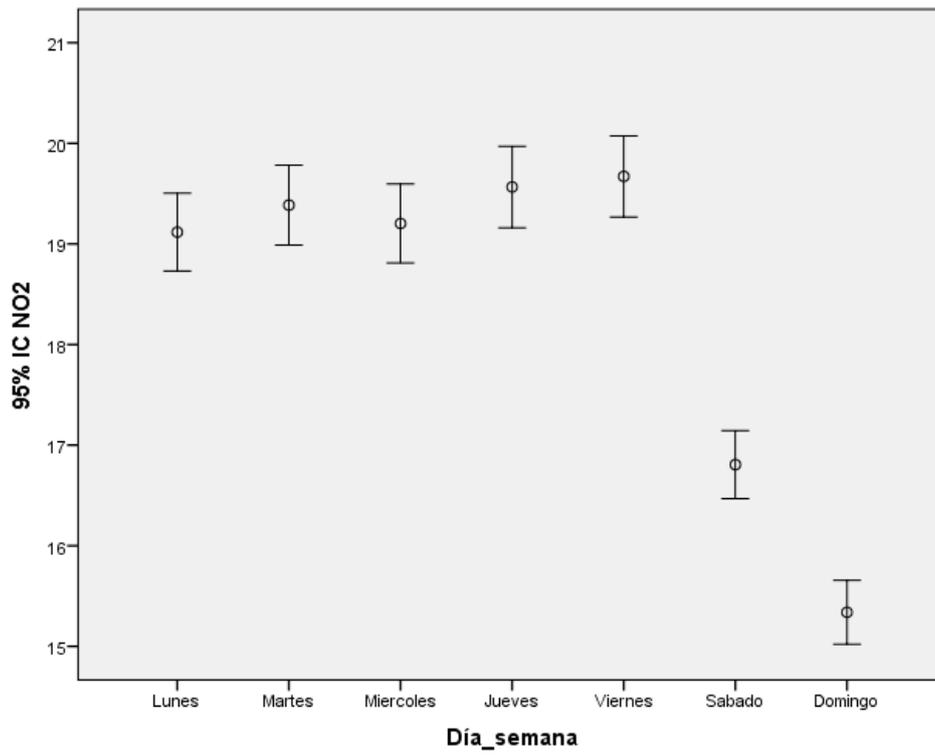


Figura 62. Barras de error diarias del contaminante NO₂.

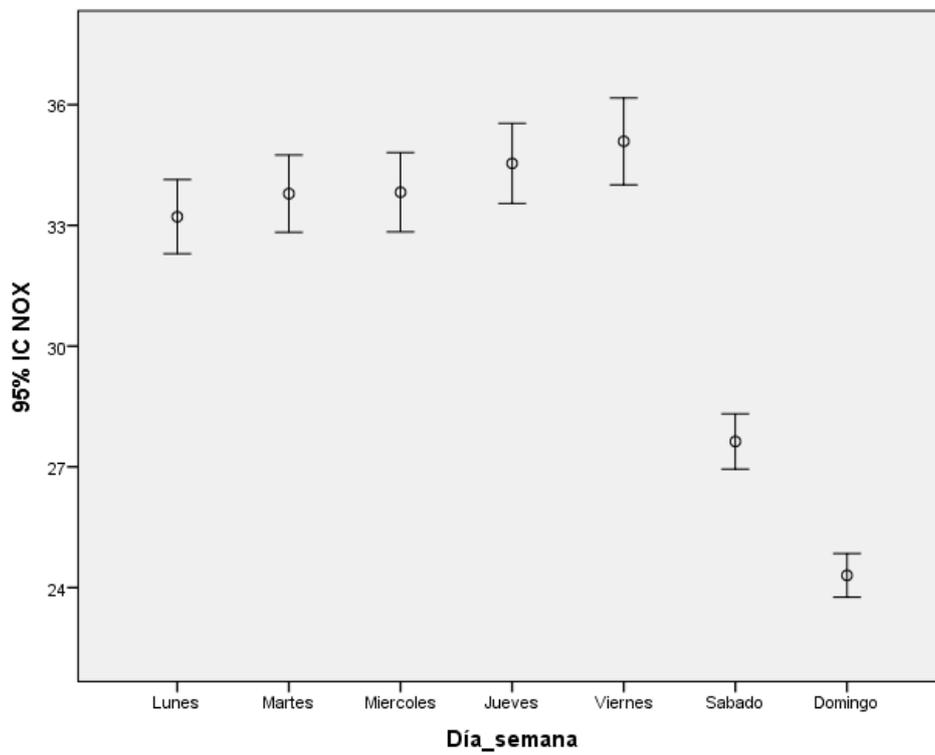


Figura 63. Barras de error diarias del contaminante NO_x.

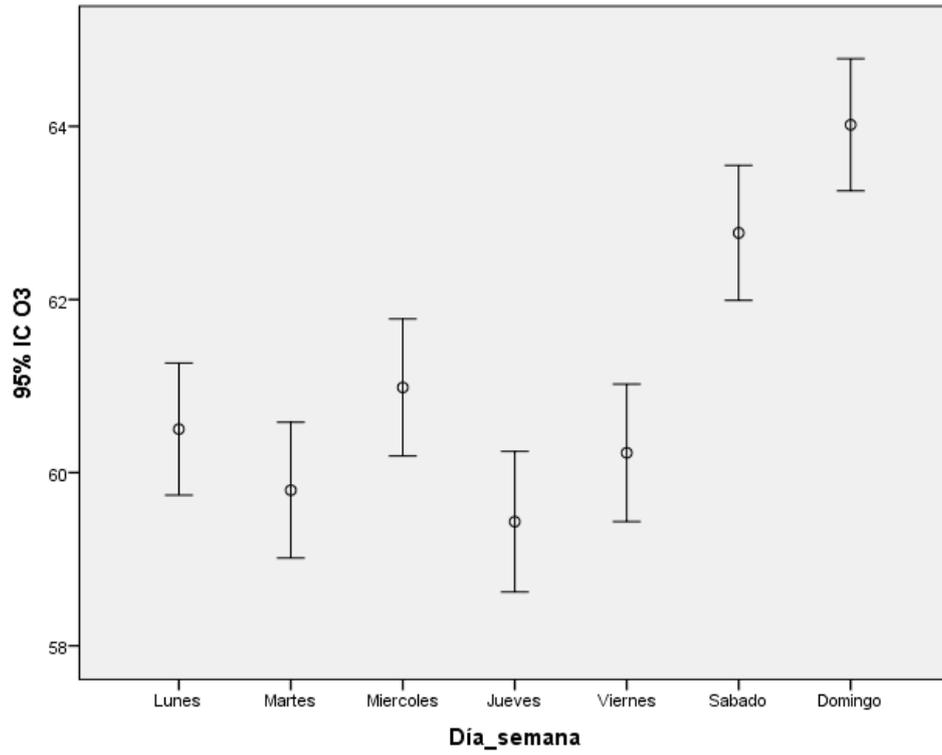


Figura 64. Barras de error diarias del contaminante O₃.

4.7.2 Hora del día

Se muestra a continuación las barras de error de las concentraciones de cada contaminante según la hora del día dante los cinco años de estudio. Se incluirá posteriormente en el anexo las gráficas de error de cada contaminante para cada año de estudio.

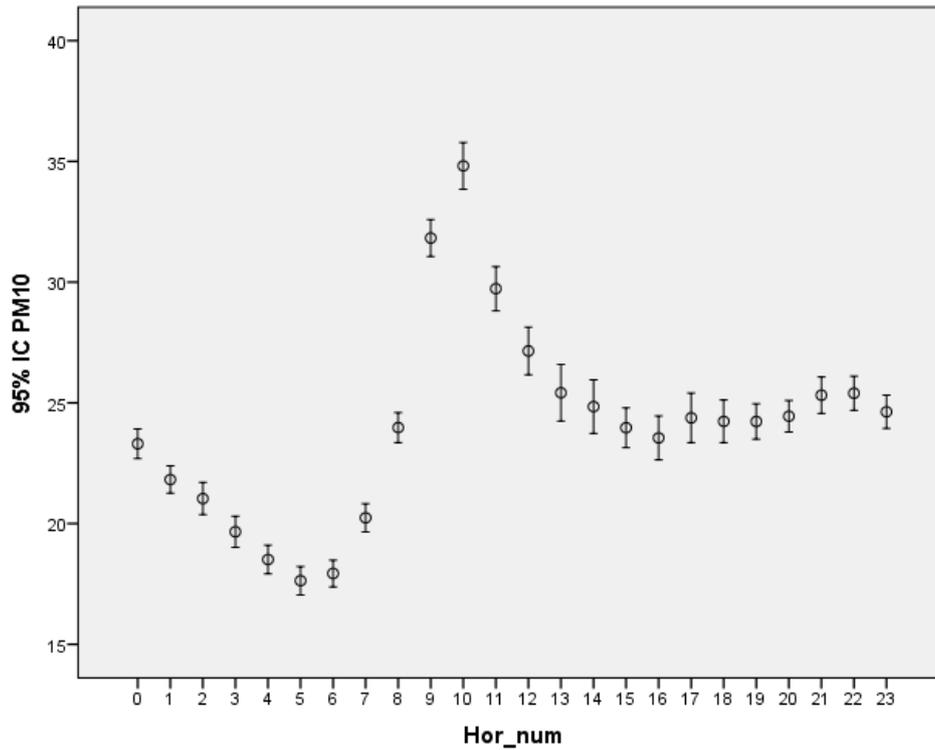


Figura 66. Barras de error horarias del contaminante PM₁₀.

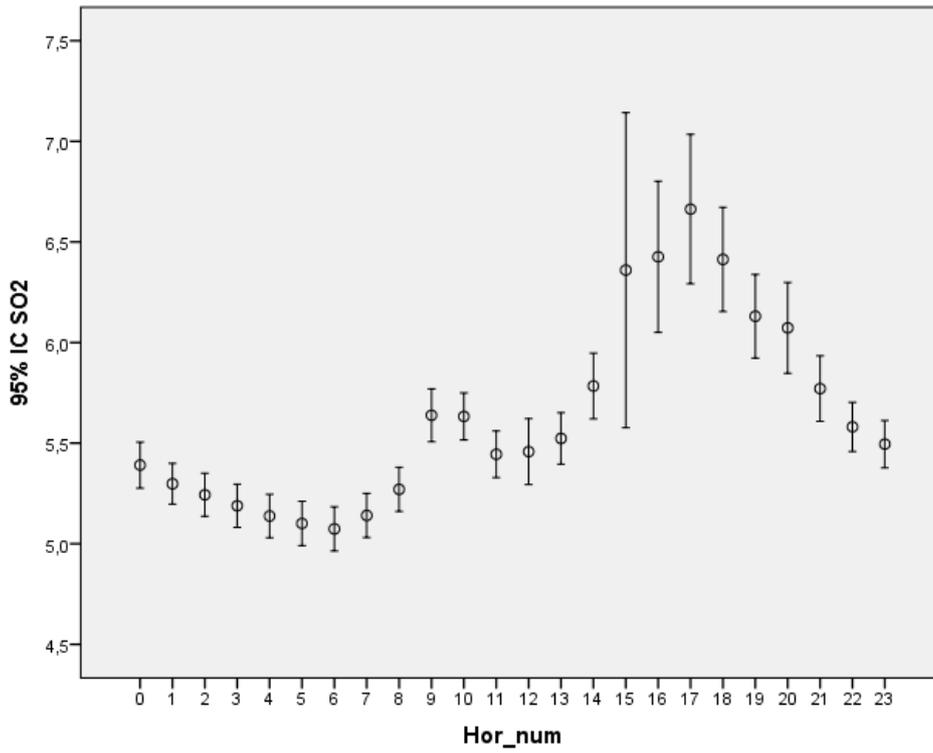


Figura 67. Barras de error horarias del contaminante SO₂.

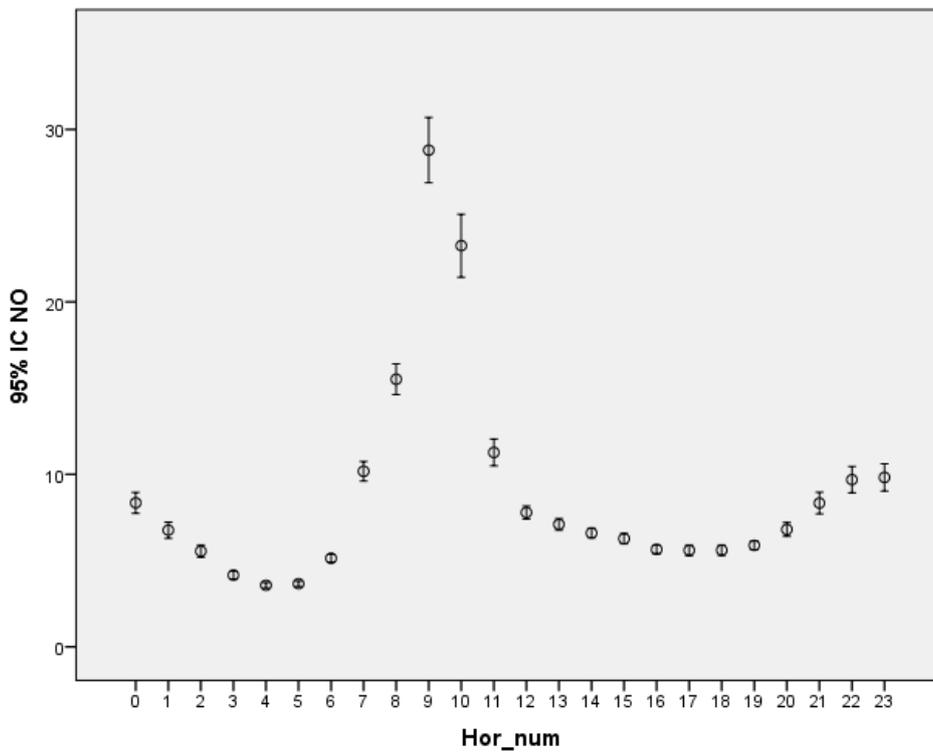


Figura 68. Barras de error horarias del contaminante NO.

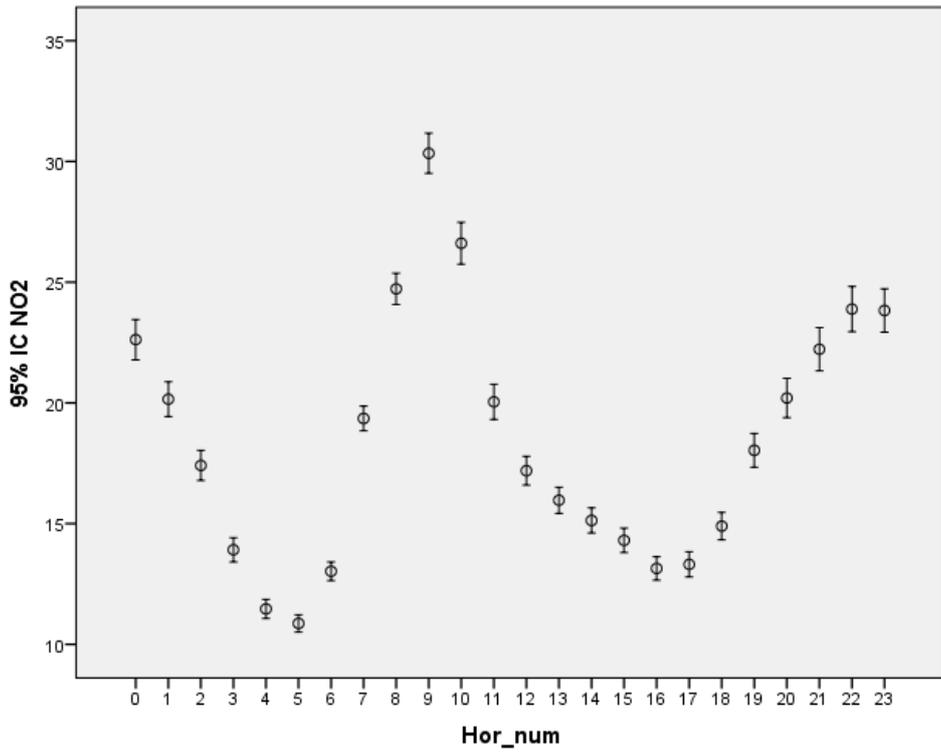


Figura 69. Barras de error horarias del contaminante NO₂.

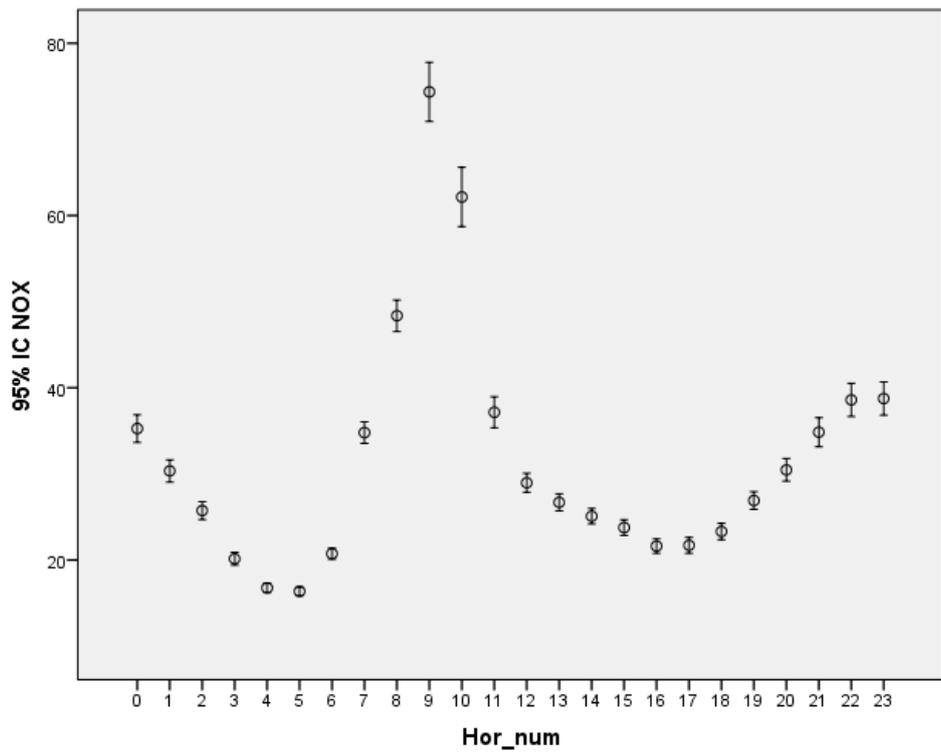


Figura 70. Barras de error horarias del contaminante NO_x.

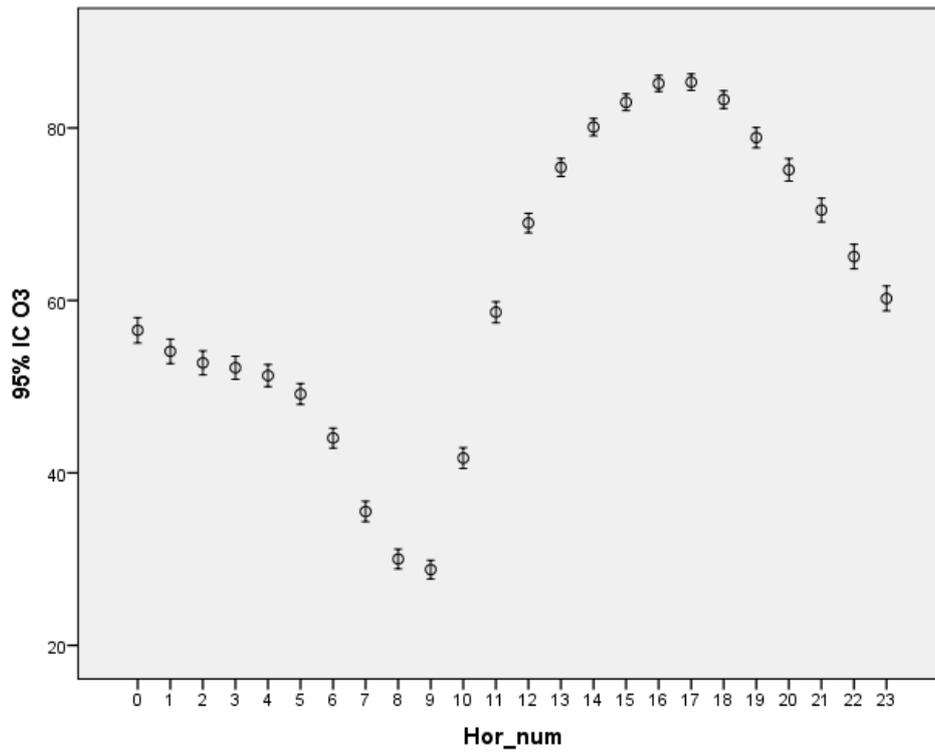


Figura 71. Barras de error horarias del contaminante O₃.

4.7.3 Dirección del viento

Atendiendo a factores meteorológicos se muestran a continuación las direcciones predominantes de viento y los diagramas de error de cada contaminante según la dirección del viento.

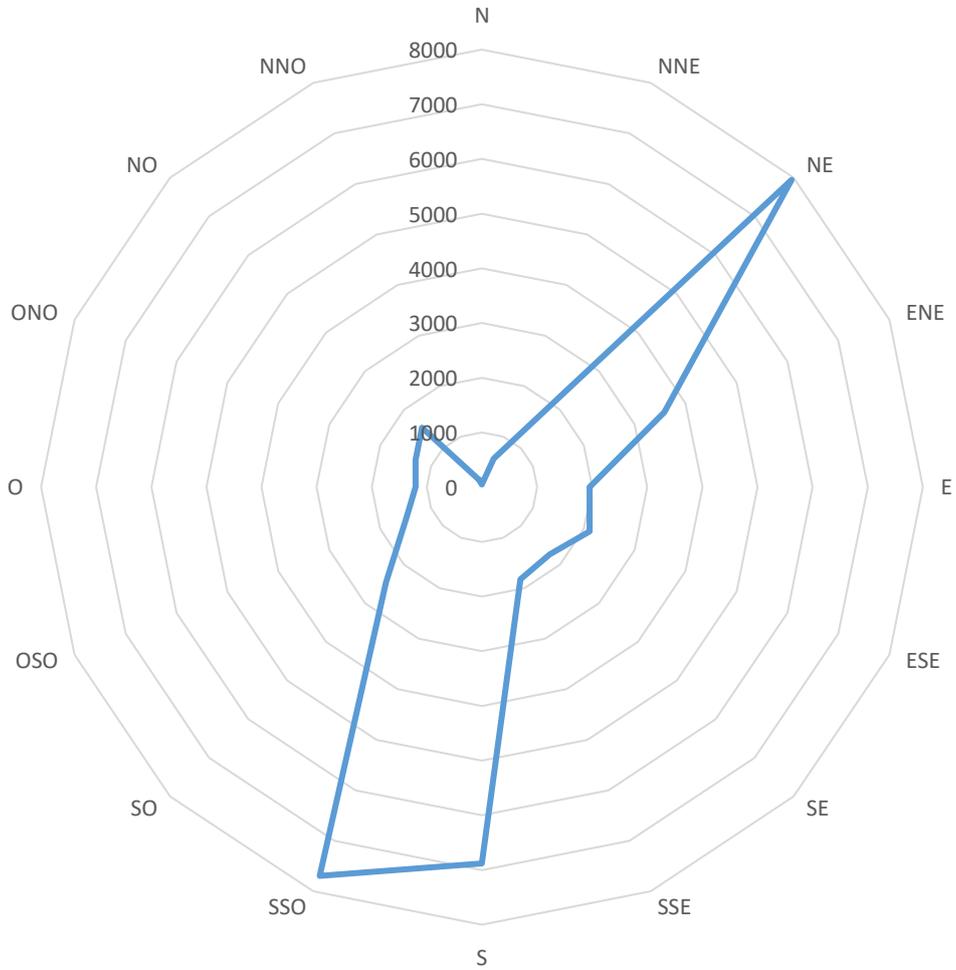


Figura 72. Rosa de los vientos 2016 – 2020.

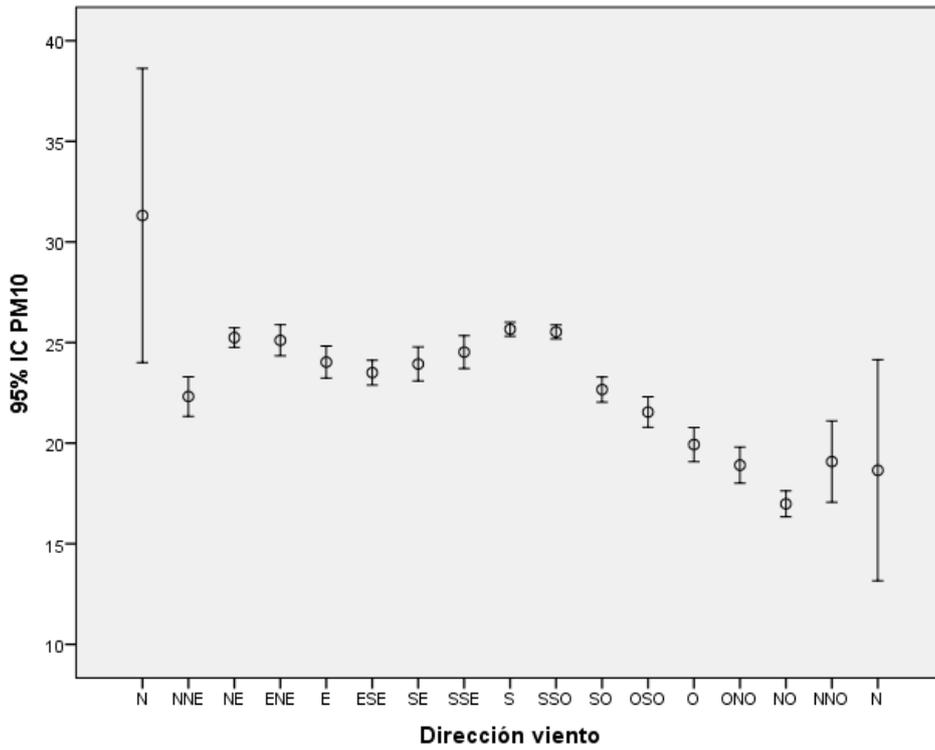


Figura 73. Barras de error del contaminante PM₁₀ según dirección del viento.

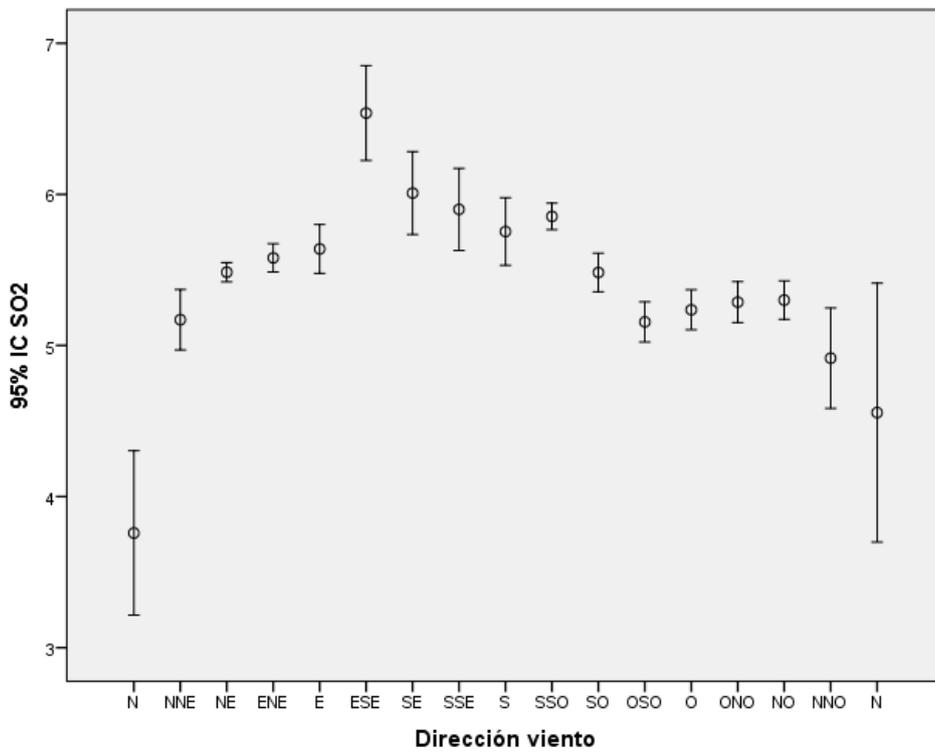


Figura 74. Barras de error del contaminante SO₂ según dirección del viento.

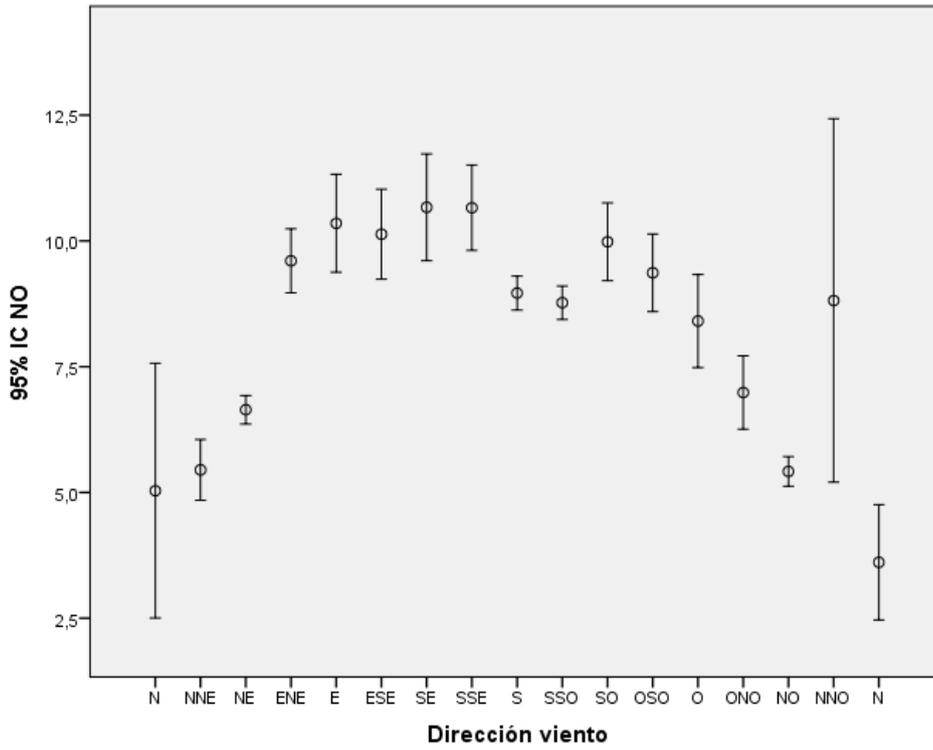


Figura 75. Barras de error del contaminante NO según dirección del viento.

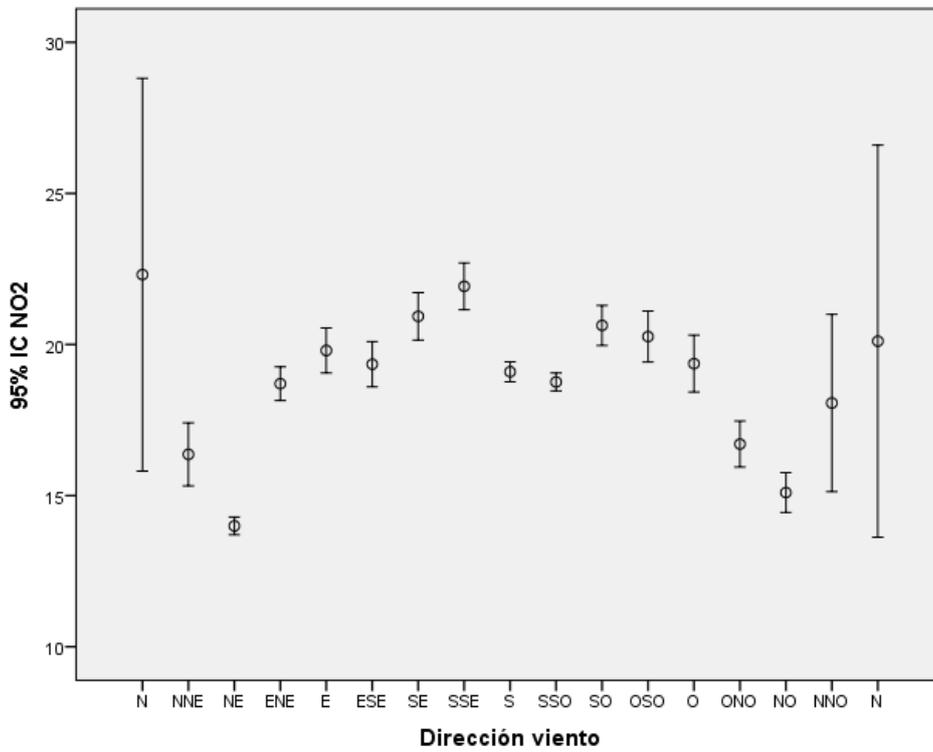


Figura 76. Barras de error del contaminante NO₂ según dirección del viento.

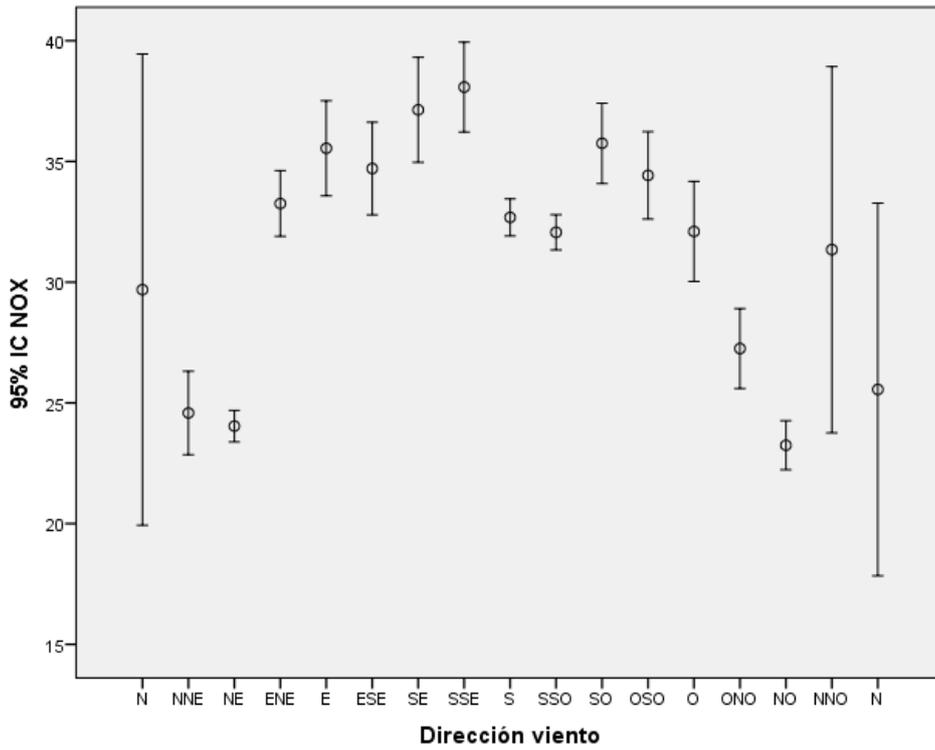


Figura 77. Barras de error del contaminante NO_x según dirección del viento.

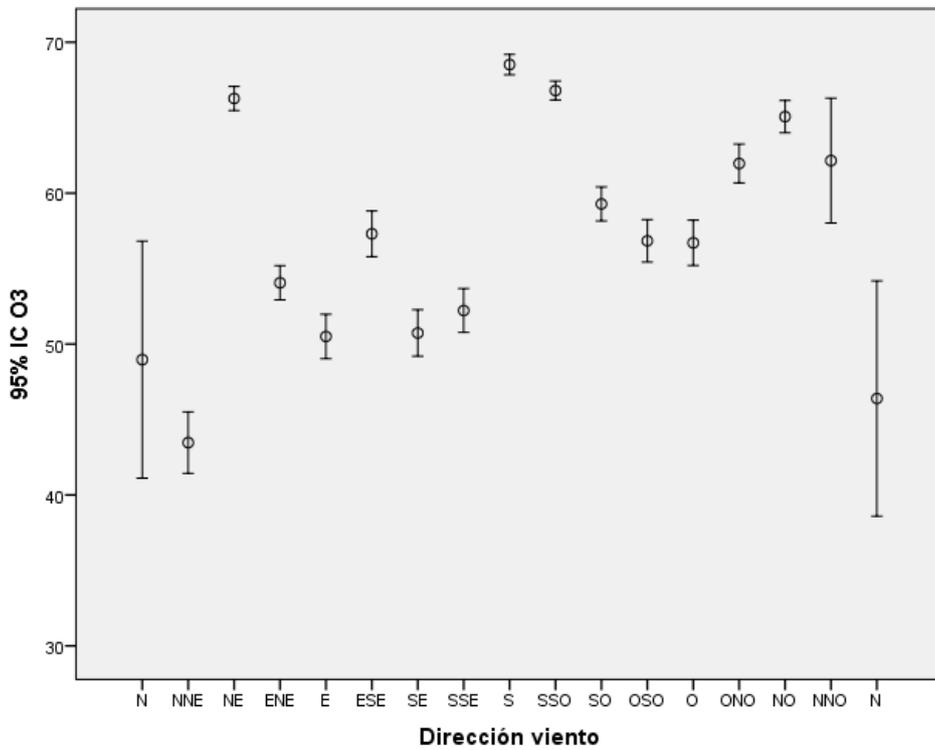


Figura 78. Barras de error del contaminante O₃ según dirección del viento.

4.7.4 Velocidad del viento

Por otro lado, tenemos la velocidad del viento como otro factor meteorológico para tener en cuenta. Se clasifican como calmas (< 2m/s), vientos flojos (2-6,4 m/s), vientos (6,5-11,4 m/s), vientos fuertes (11,5-19,4 m/s) y huracanadas (>33,4 m/s). Su influencia sobre los contaminantes del estudio se muestra a continuación en forma de graficas de barras de error.

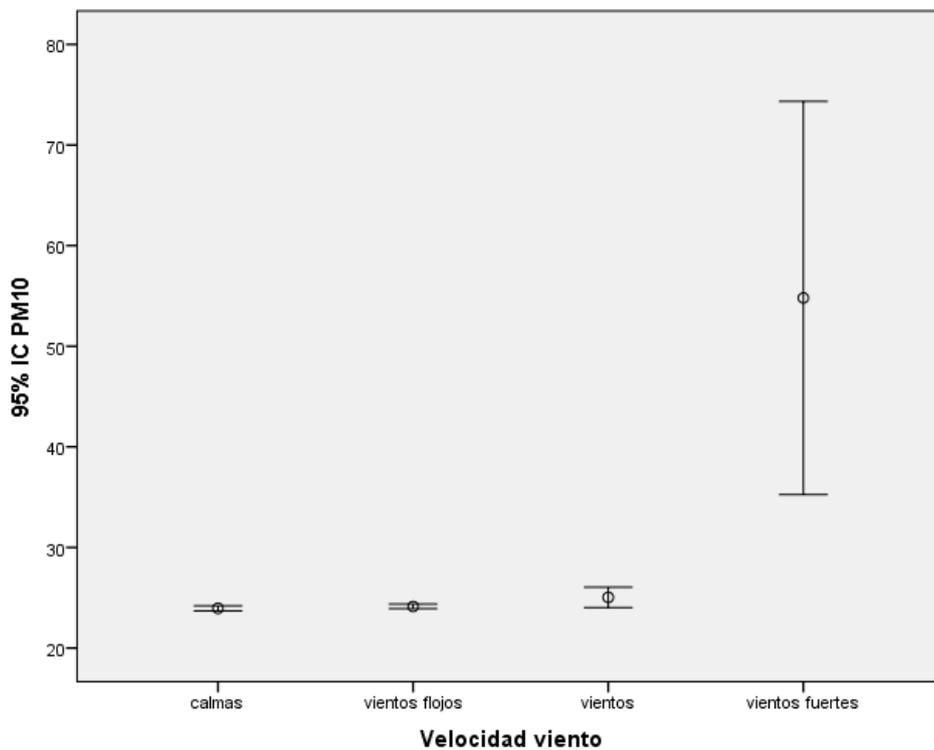


Figura 79. barras de error del contaminante PM₁₀ según la velocidad del viento.

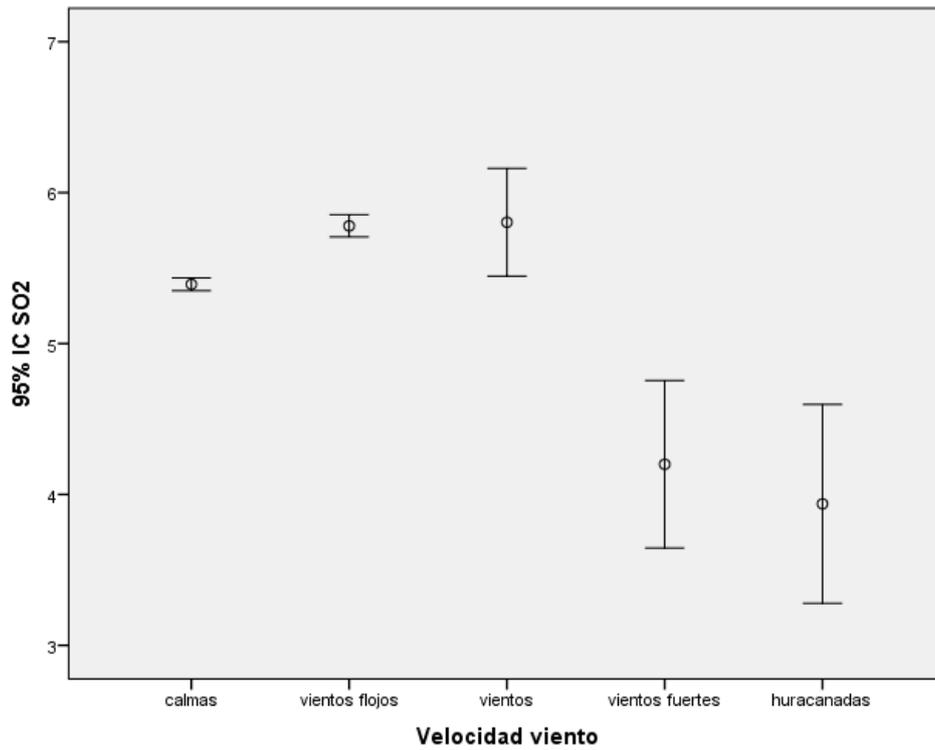


Figura 80. barras de error del contaminante SO₂ según la velocidad del viento.

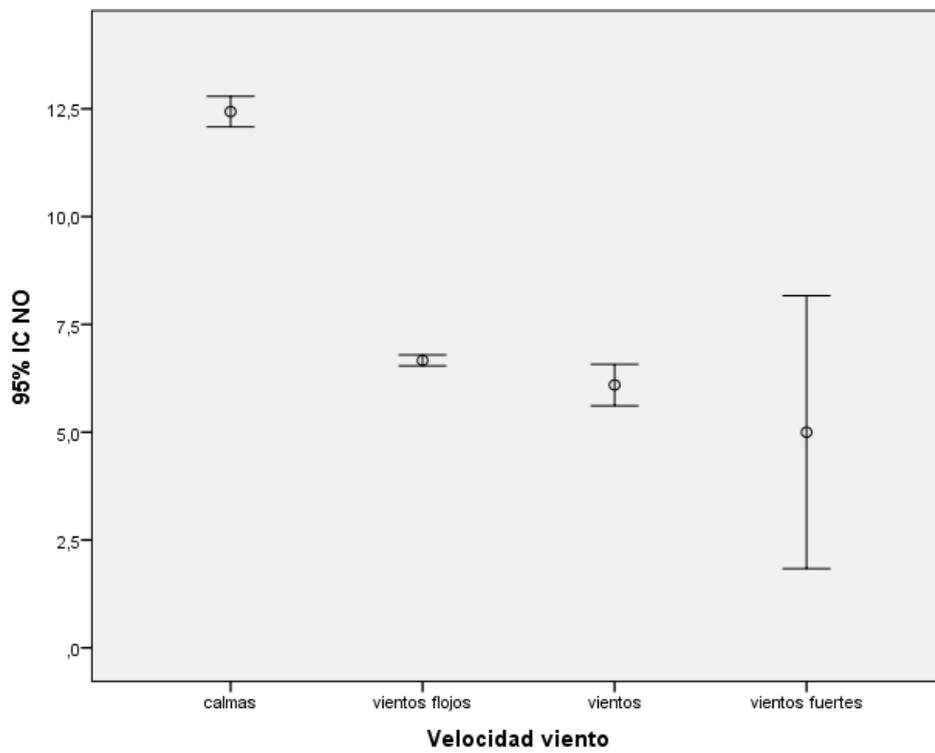


Figura 81. barras de error del contaminante NO según la velocidad del viento.

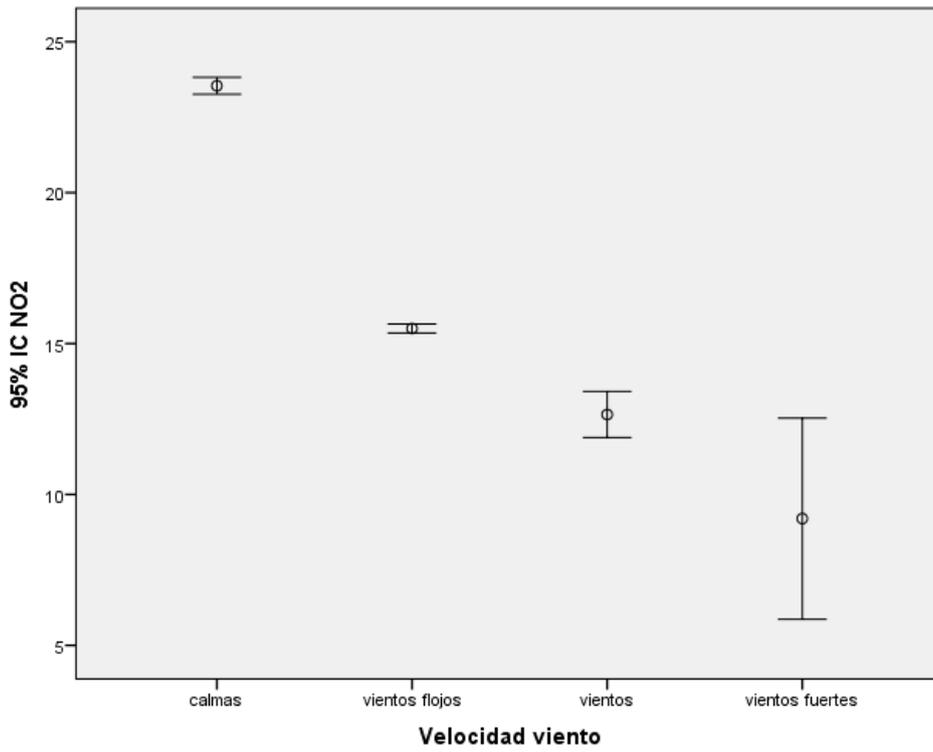


Figura 82. barras de error del contaminante NO₂ según la velocidad del viento.

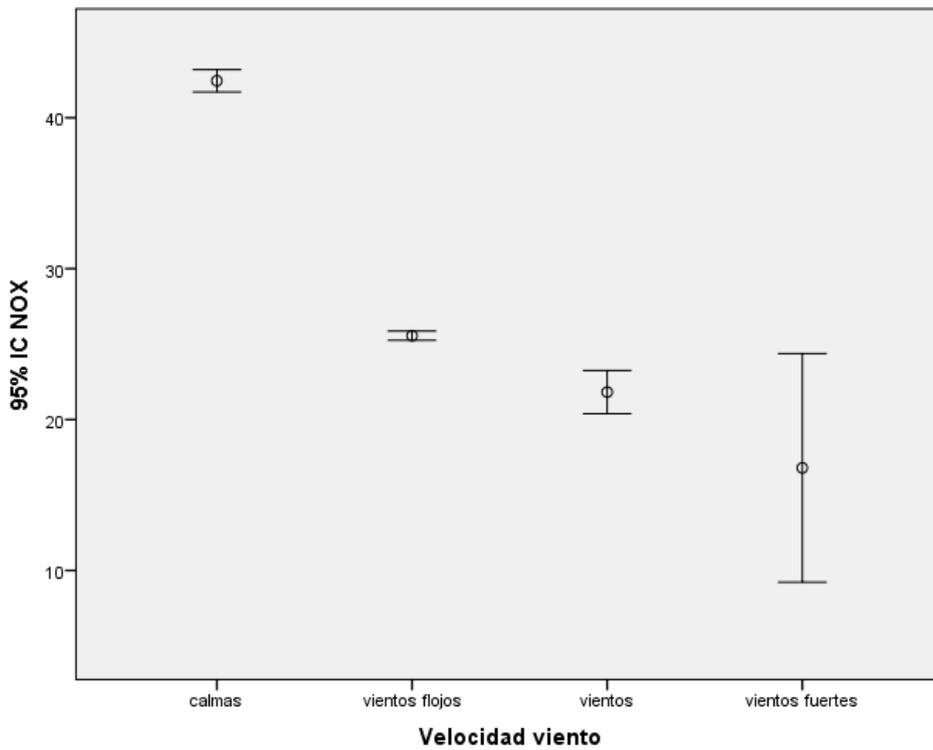


Figura 83. barras de error del contaminante NO_x según la velocidad del viento.

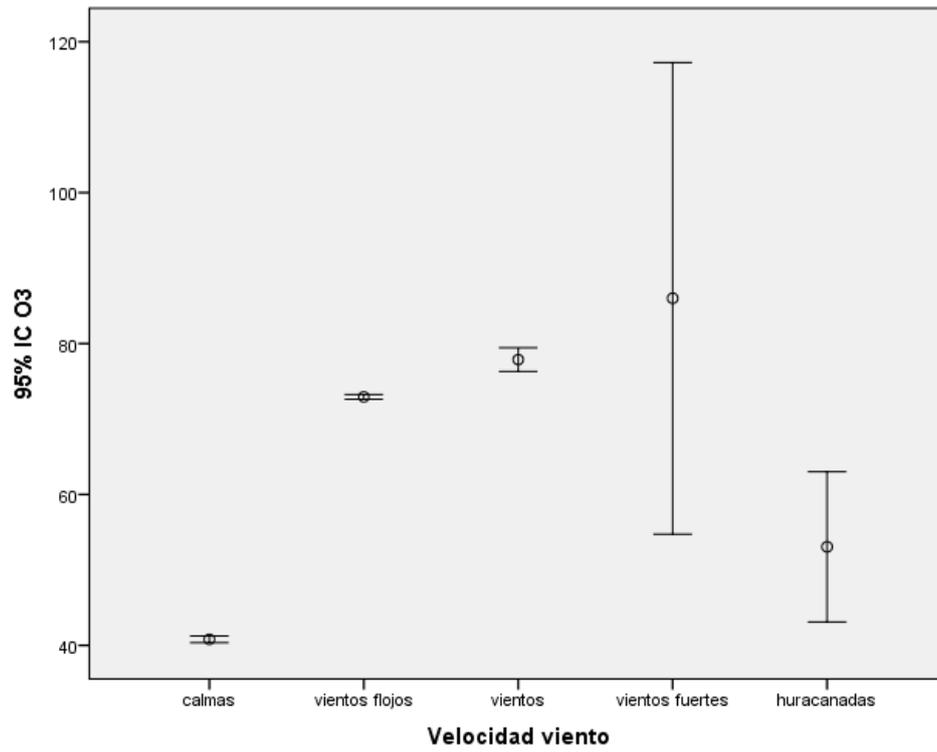


Figura 84. barras de error del contaminante O₃ según la velocidad del viento.

4.8 Influencia de los cruceros en la concentración de contaminantes

En esta sección se realizará la prueba de U de Mann Whitney para datos no paramétricos según la presencia o no de cruceros y teniendo en cuenta otros factores.

4.8.1 Presencia de cruceros (hay / no hay cruceros)

Se muestra en las siguientes tablas y gráficas el análisis para cada uno de los contaminantes en función de si hay crucero atracado en puerto o no.

Tabla 25. Rangos para la prueba U de Mann-Whitney según la variable "CrucerosB".

		Rangos		
CrucerosB		N	Rango promedio	Suma de rangos
PM ₁₀	No hay crucero	38221	20984,33	802042044,50
	Si hay crucero	4483	24491,44	109795115,50
	Total	42704		
SO ₂	No hay crucero	37989	21144,61	803262705,00
	Si hay crucero	4378	21525,77	94239823,00
	Total	42367		
NO	No hay crucero	37554	20205,73	758805918,50
	Si hay crucero	4338	27359,35	118684859,50
	Total	41892		
NO ₂	No hay crucero	37551	20546,66	771547593,00
	Si hay crucero	4338	24393,16	105817512,00
	Total	41889		
NO _x	No hay crucero	37553	20421,06	766872242,00
	Si hay crucero	4338	25490,24	110576644,00
	Total	41891		
O ₃	No hay crucero	38563	21292,23	821092223,00
	Si hay crucero	4513	23642,85	106700203,00
	Total	43076		

Tabla 26. Estadísticos de contraste para la prueba U de Mann-Whitney según la variable “CrucerosB”.

Estadísticos de contraste ^a						
	PM ₁₀	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	O ₃
U de Mann-Whitney	71600513,500	81661650,000	53635683,500	66490017,000	61739561,000	77520457,000
W de Wilcoxon	802042044,500	803262705,000	758805918,500	771547593,000	766872242,000	821092223,000
Z	-18,028	-1,969	-37,124	-19,847	-26,148	-12,016
Sig. asintót. (bilateral)	,000	,049	,000	,000	,000	,000

a. Variable de agrupación: CrucerosB

Con un nivel de significación para en SO₂ de $0,049 < 0,05$ y $0,000 < 0,05$ para el resto de los contaminantes, rechazamos la hipótesis de que la concentración de contaminantes cuando hay crucero y cuando no hay pertenecen a la misma distribución de datos.

En la siguiente gráfica se muestran las barras de error de los contaminantes según la agrupación “CrucerosB”.

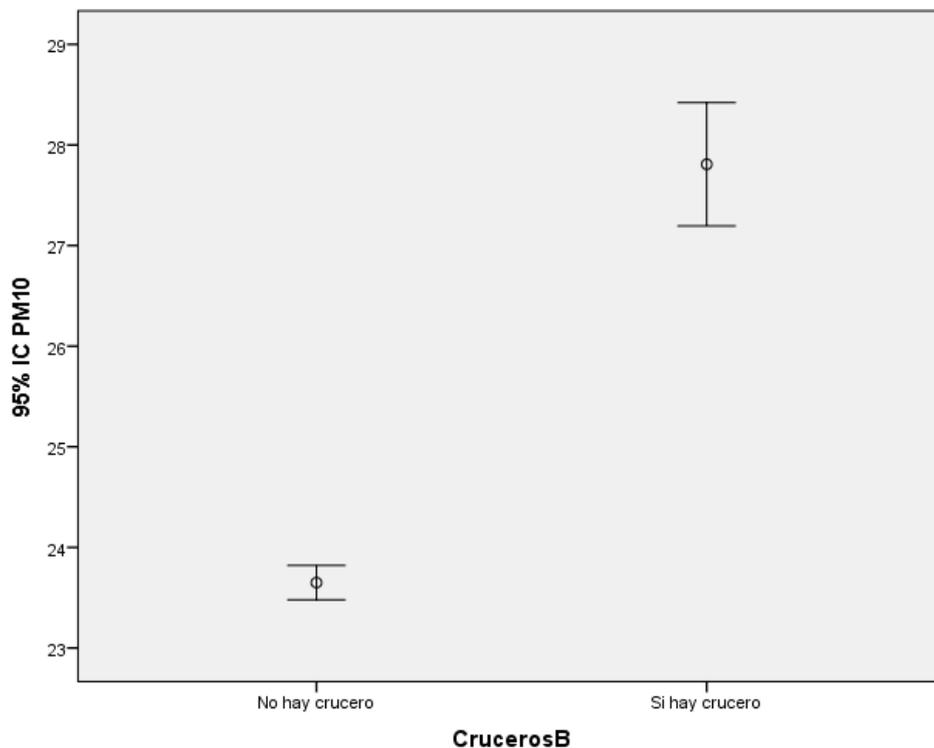


Figura 85. Barras de error del contaminante PM₁₀ según “hay / no hay cruceros”.

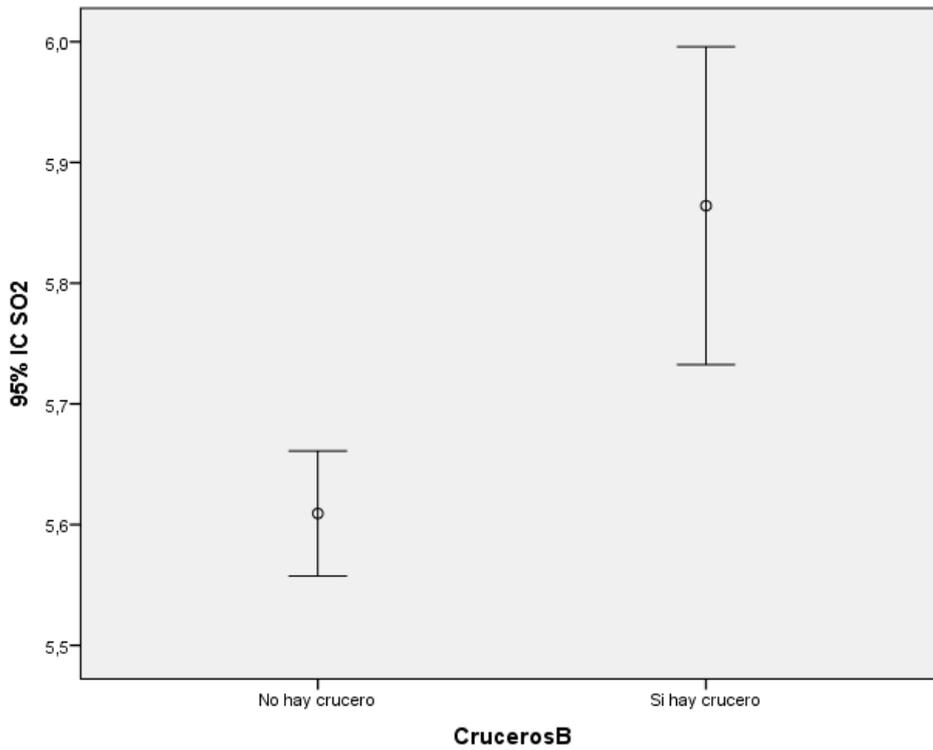


Figura 86. Barras de error del contaminante SO₂ según "hay / no hay cruceros".

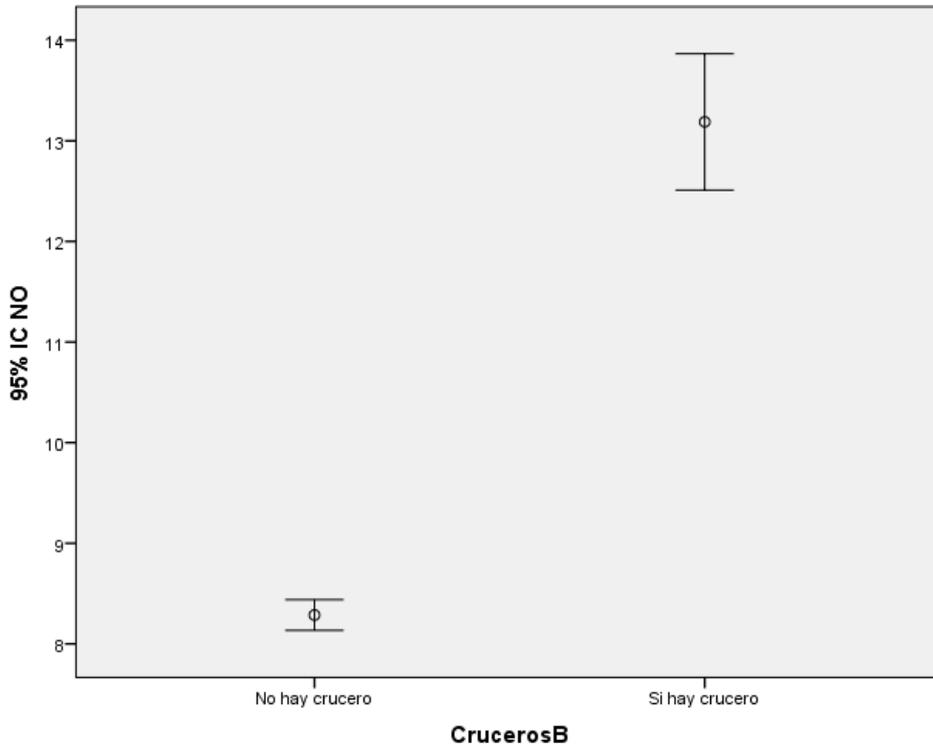


Figura 87. Barras de error del contaminante NO según "hay / no hay cruceros".

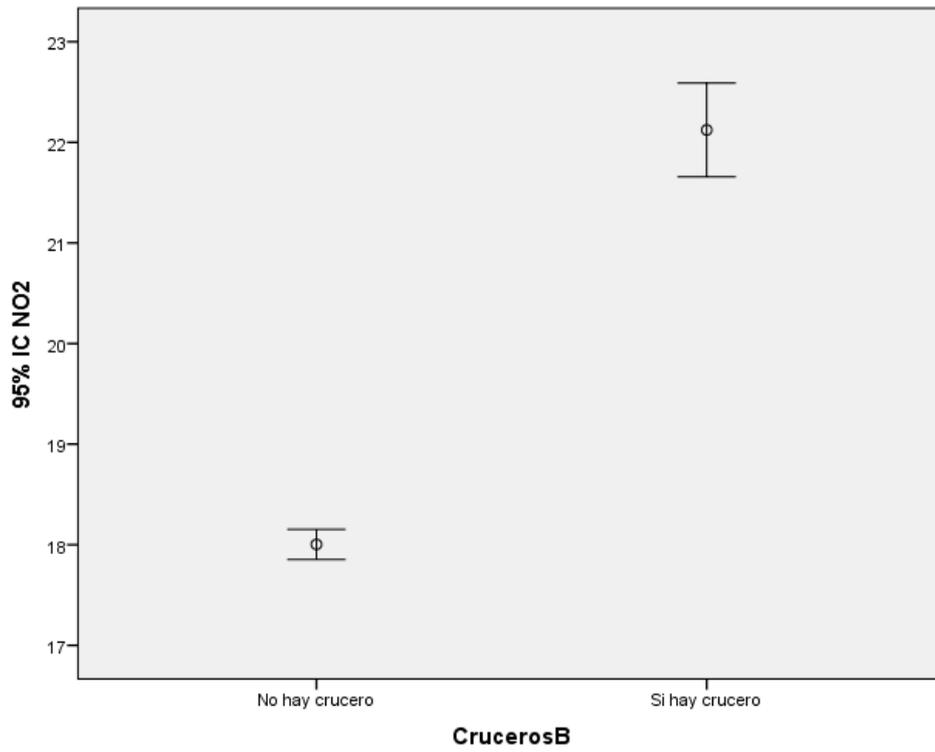


Figura 88. Barras de error del contaminante NO₂ según "hay / no hay cruceros".

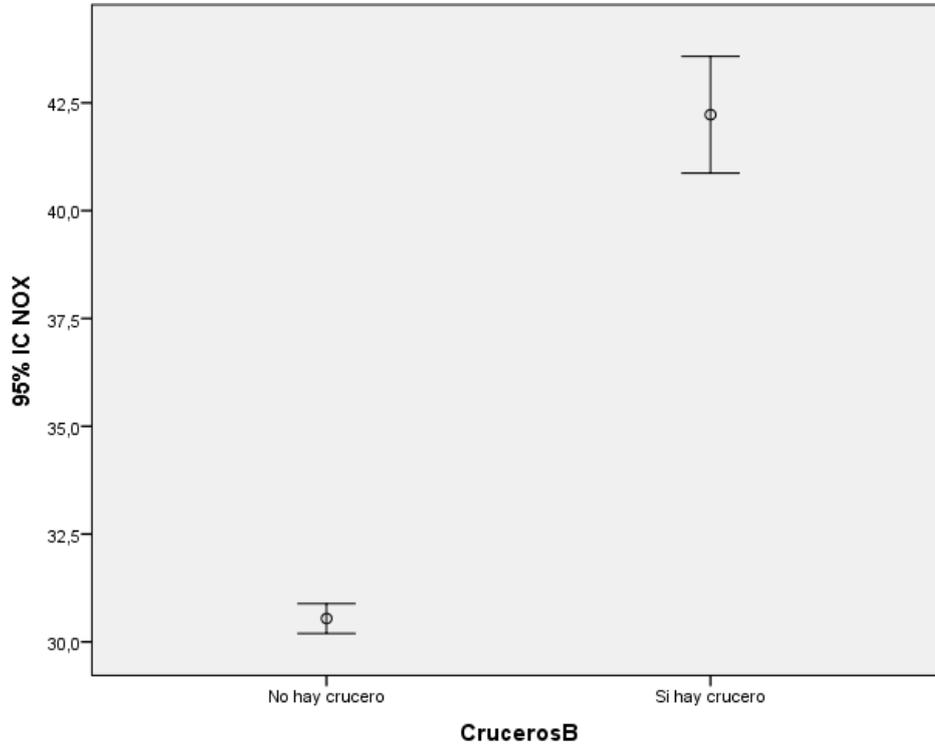


Figura 89. Barras de error del contaminante NO_x según "hay / no hay cruceros".

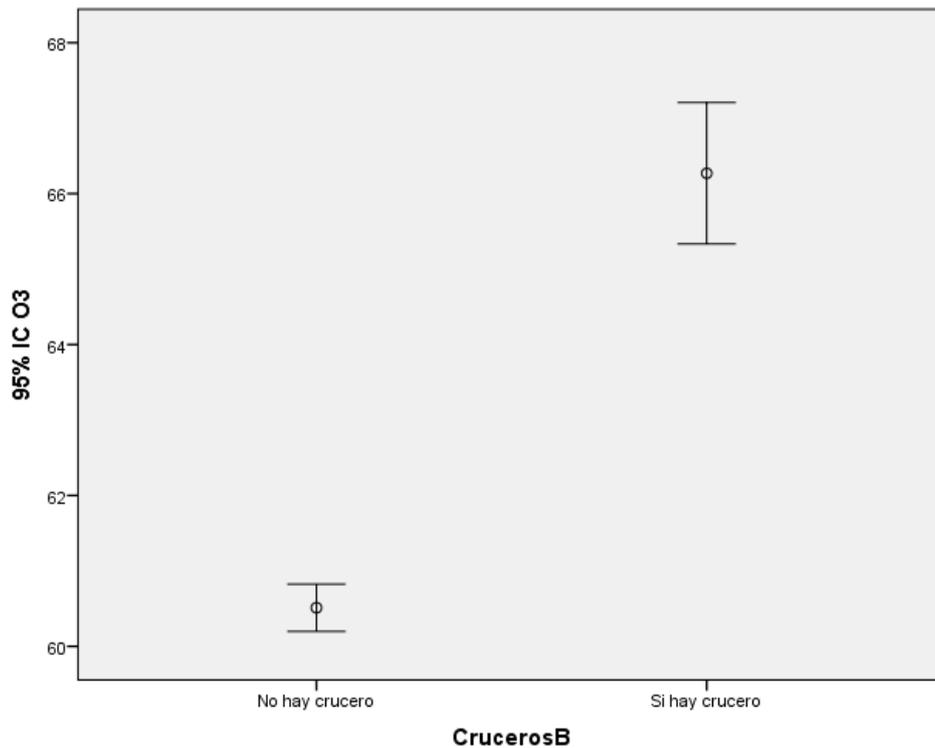


Figura 90. Barras de error del contaminante O₃ según “hay / no hay cruceros”.

Este análisis ha sido realizado tomando todos los datos disponibles de concentración de contaminantes. Sin embargo, este estudio puede verse afectado por una serie de elementos externos como factores meteorológicos o el horario de permanencia de los cruceros.

En secciones posteriores realizaremos el mismo estudio teniendo en cuenta el rango horario de mayor concentración de cruceros, la dirección y velocidad del viento y por último un análisis que considere todas las valoraciones anteriores en su conjunto.

4.8.2 Presencia de cruceros (hay / no hay cruceros) con restricción horaria

Se va a estudiar a continuación la influencia de los cruceros en la concentración de contaminantes teniendo en cuenta aquellos datos obtenidos en el intervalo horario de mayor afluencia de cruceros: desde las 7:00 hasta las 19:00. De esta manera aislaremos el análisis de otros factores que afecten al resultado del estudio.

Tabla 27. Rangos para la prueba U de Mann-Whitney de 7h a 19h según la variable “hay / no hay cruceros”.

Rangos				
CrucerosB	N	Rango promedio	Suma de rangos	
PM ₁₀	No hay crucero	18775	11364,79	213373845,00
	Si hay crucero	4354	12428,35	54113040,00
	Total	23129		
SO ₂	No hay crucero	18648	11482,48	214125208,00
	Si hay crucero	4292	11418,47	49008062,00
	Total	22940		
NO	No hay crucero	18474	10862,44	200672768,50
	Si hay crucero	4209	13446,86	56597817,50
	Total	22683		
NO ₂	No hay crucero	18472	10984,16	202899421,50
	Si hay crucero	4209	12907,06	54325799,50
	Total	22681		
NO _x	No hay crucero	18473	10936,76	202034734,50
	Si hay crucero	4209	13117,88	55213168,50
	Total	22682		
O ₃	No hay crucero	18943	11552,24	218834135,00
	Si hay crucero	4384	12146,90	53251993,00
	Total	23327		

Tabla 28. Estadísticos de contraste para la prueba U de Mann-Whitney de 7h a 19h según la variable “hay / no hay cruceros”.

Estadísticos de contraste ^a						
	PM ₁₀	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	O ₃
U de Mann-Whitney	37114145,000	39795284,000	30019193,500	32282793,500	31399633,500	39406039,000
W de Wilcoxon	213373845,000	49008062,000	200672768,500	202899421,500	202034734,500	218834135,000
Z	-9,473	-,575	-23,212	-17,203	-19,508	-5,269
Sig. asintót. (bilateral)	,000	,565	,000	,000	,000	,000

a. Variable de agrupación: CrucerosB

De nuevo obtenemos un nivel de significación de $0,000 < 0,05$ para todos los contaminantes salvo el SO₂ (nivel de significación de $0,565 > 0,05$), por lo que asumimos con una significación del 95% que existe diferencia significativa entre las clases todos los contaminantes a excepción del SO₂ según la variable “hay / no hay cruceros”.

En las siguientes graficas se muestran las barras de error de cada contaminante desde las 7h hasta las 19h según la agrupación “hay / no hay cruceros”.

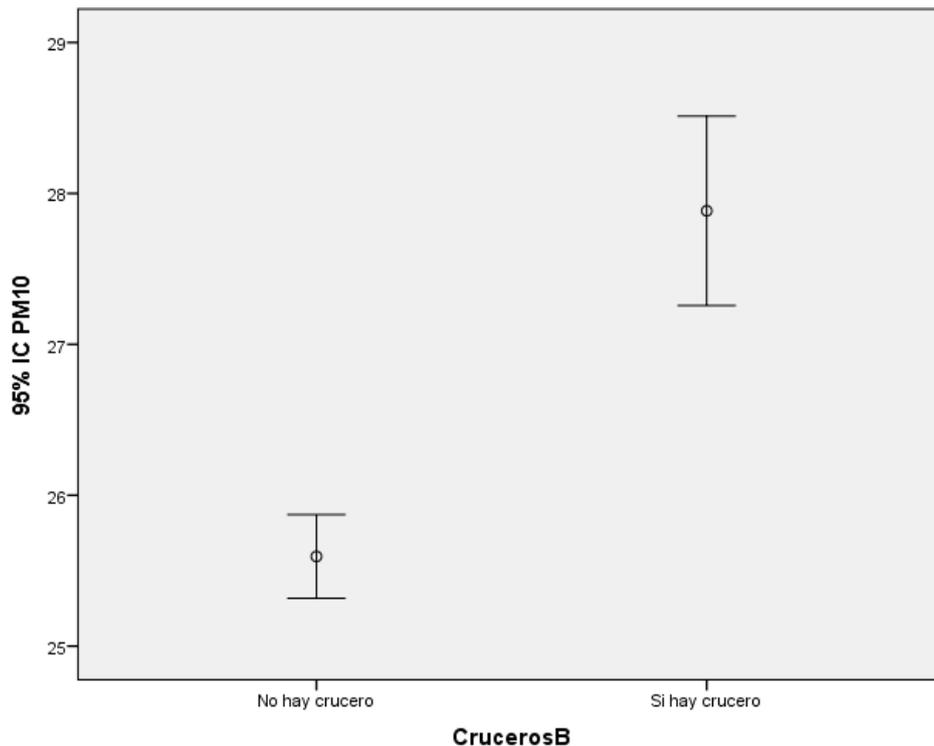


Figura 91. Barras de error del contaminante PM₁₀ de 7h a 19h según “hay / no hay cruceros”.

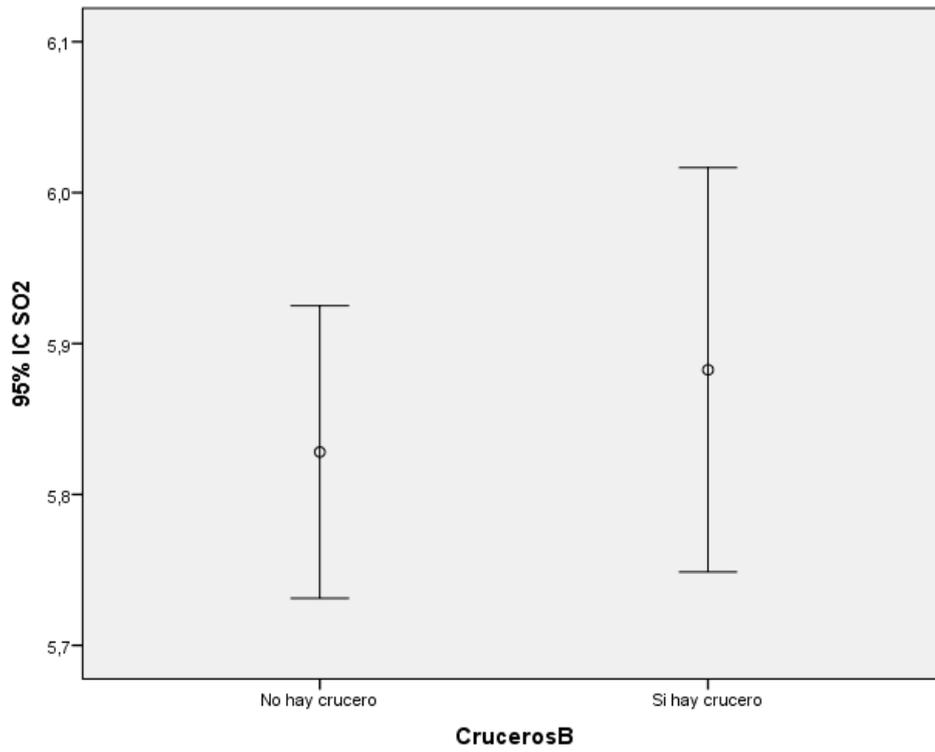


Figura 92. Barras de error del contaminante SO2 de 7h a 19h según "hay / no hay cruceros".

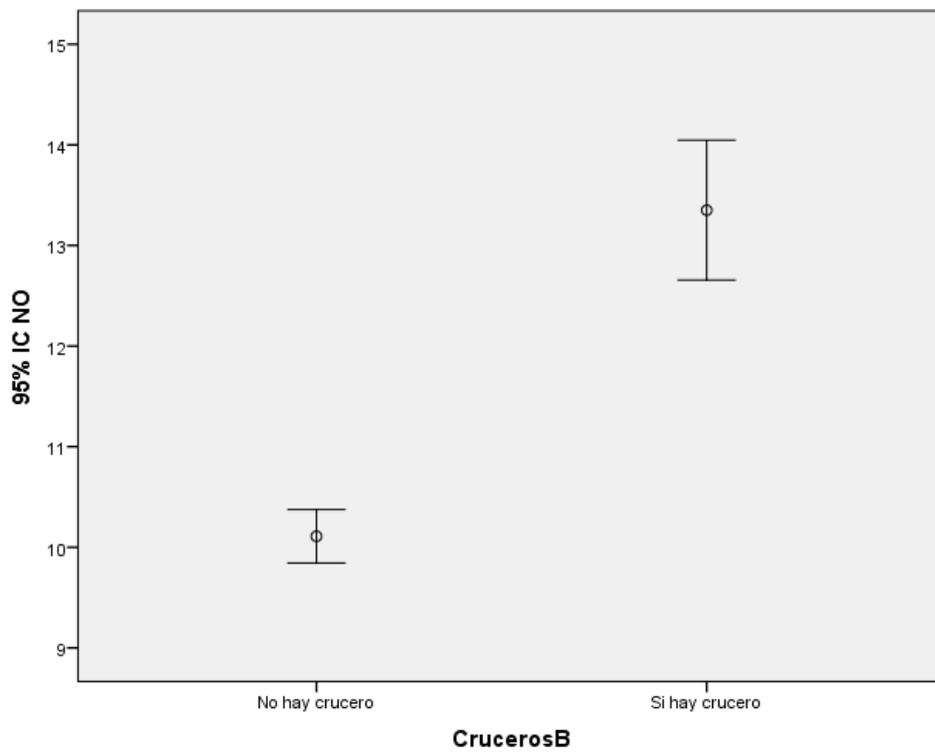


Figura 93. Barras de error del contaminante NO de 7h a 19h según "hay / no hay cruceros".

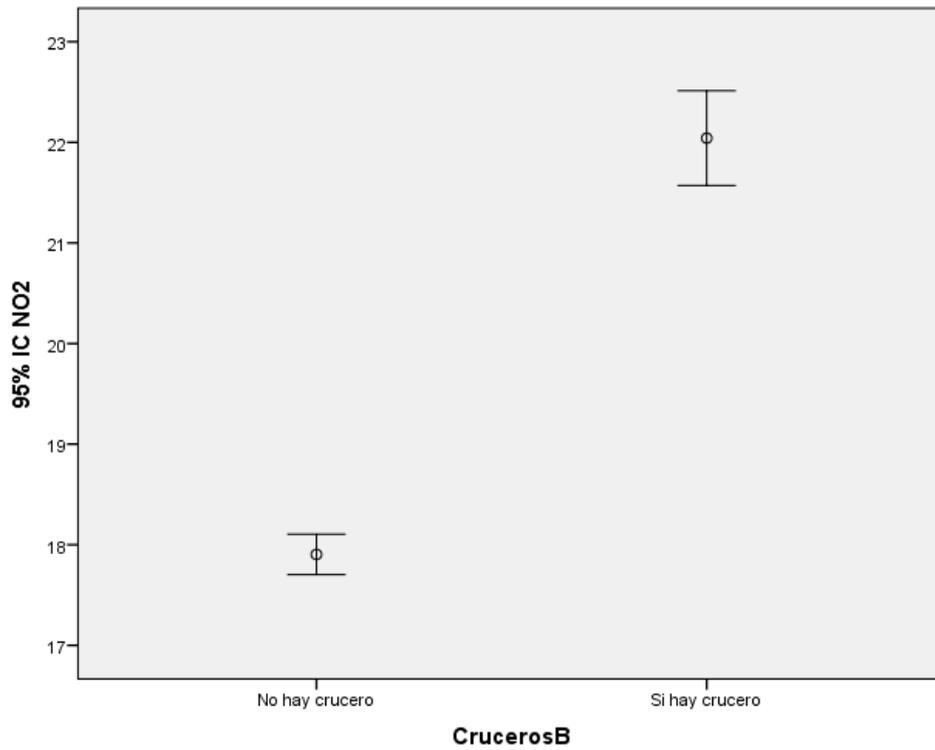


Figura 94. Barras de error del contaminante NO₂ de 7h a 19h según "hay / no hay cruceros".

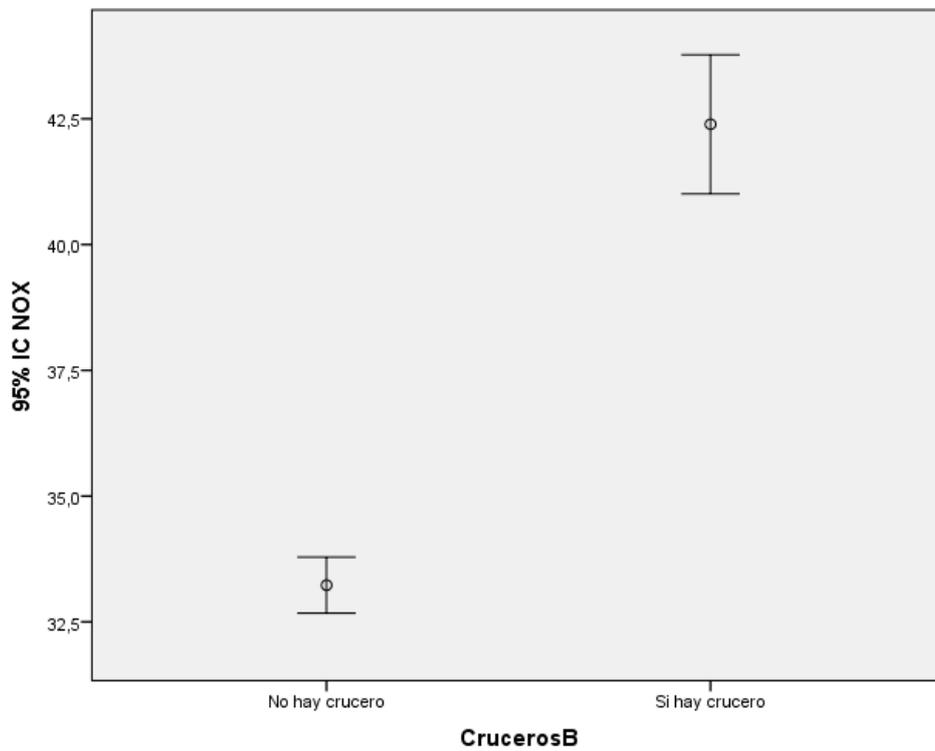


Figura 95. Barras de error del contaminante NO_x de 7h a 19h según "hay / no hay cruceros".

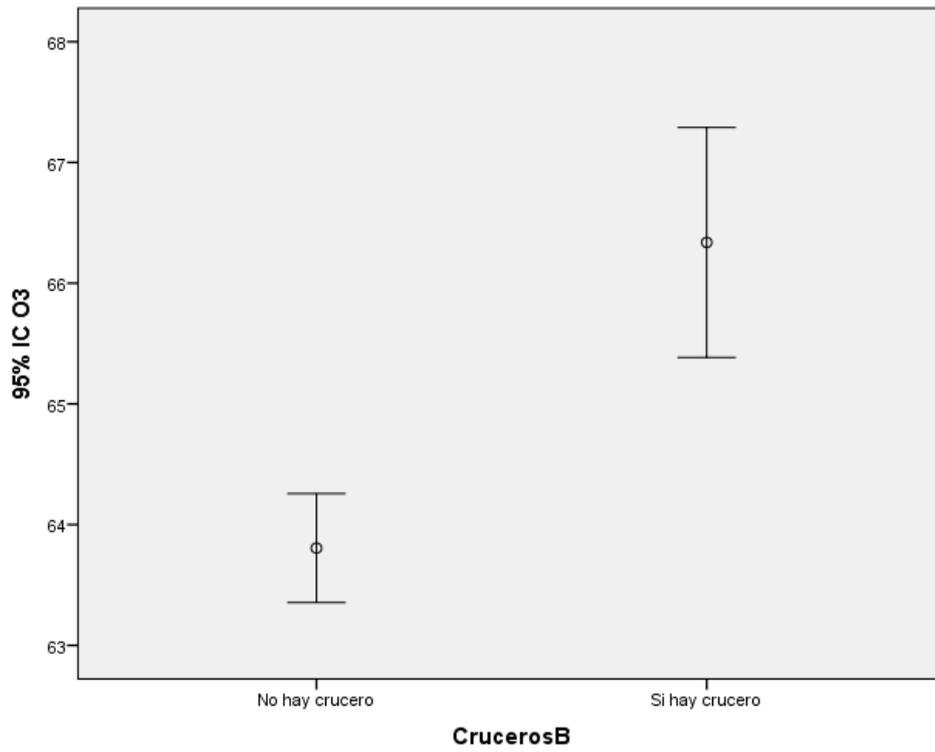


Figura 96. Barras de error del contaminante O₃ de 7h a 19h según "hay / no hay cruceros".

4.8.3 Dispersión de los contaminantes según la dirección del viento

Se procede a estudiar la influencia de los factores meteorológicos en la concentración de los contaminantes. Los análisis que se muestran a partir de ahora son realizados teniendo en cuenta la restricción horaria desde las 7h hasta las 19h.

En las siguientes imágenes se muestran las barras de error de los contaminantes habiendo cruceros o no, según la dirección del viento y considerando todos los años.

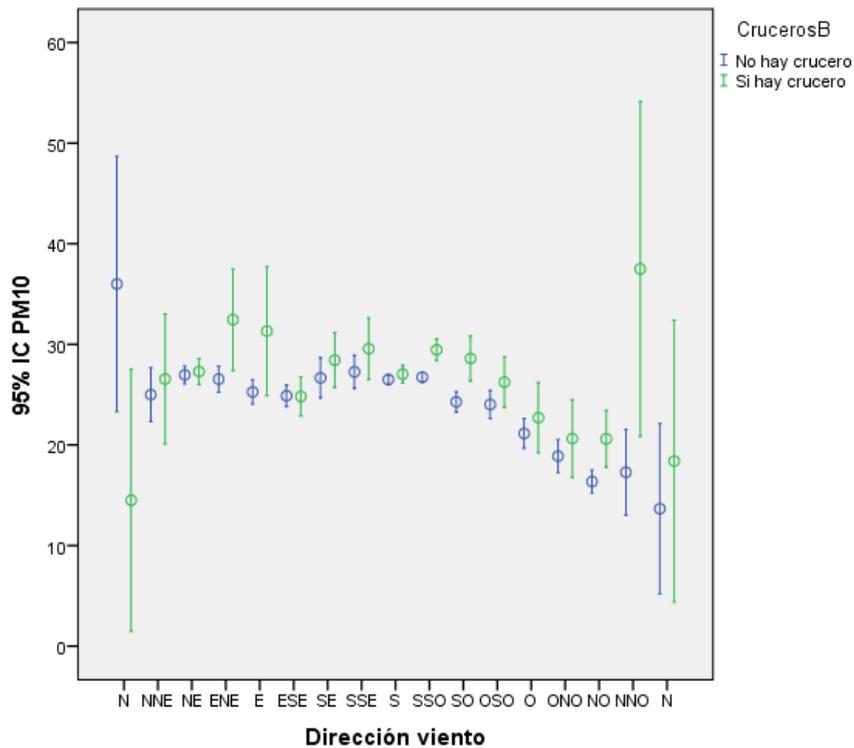


Figura 97. Barras error del contaminante PM₁₀ de 7h a 19h por clases "hay / no hay cruceros" según la dirección del viento.

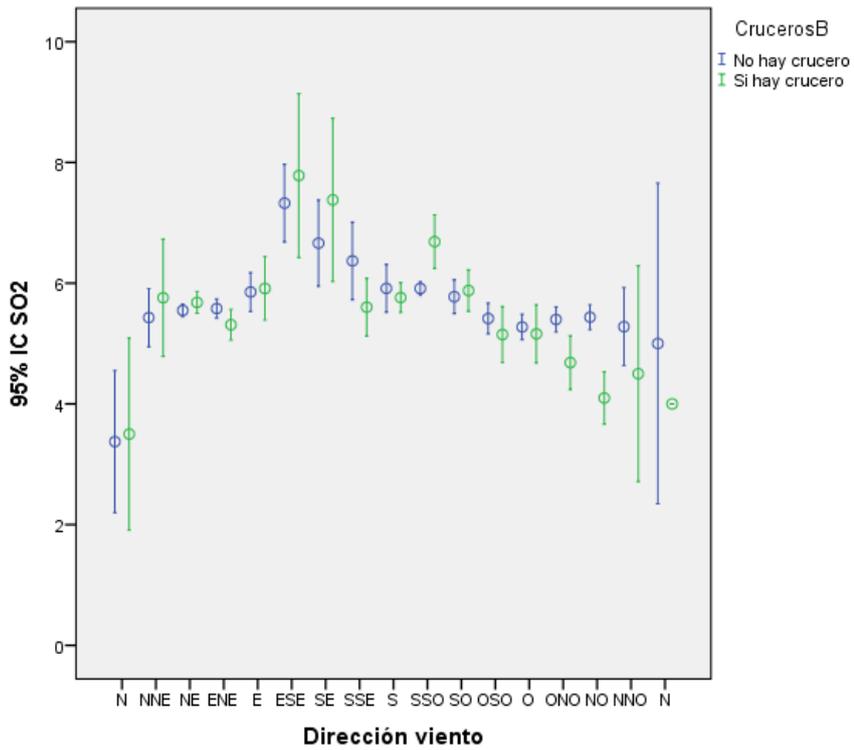


Figura 98. Barras error del contaminante SO₂ de 7h a 19h por clases “hay / no hay cruceros” según la dirección del viento.

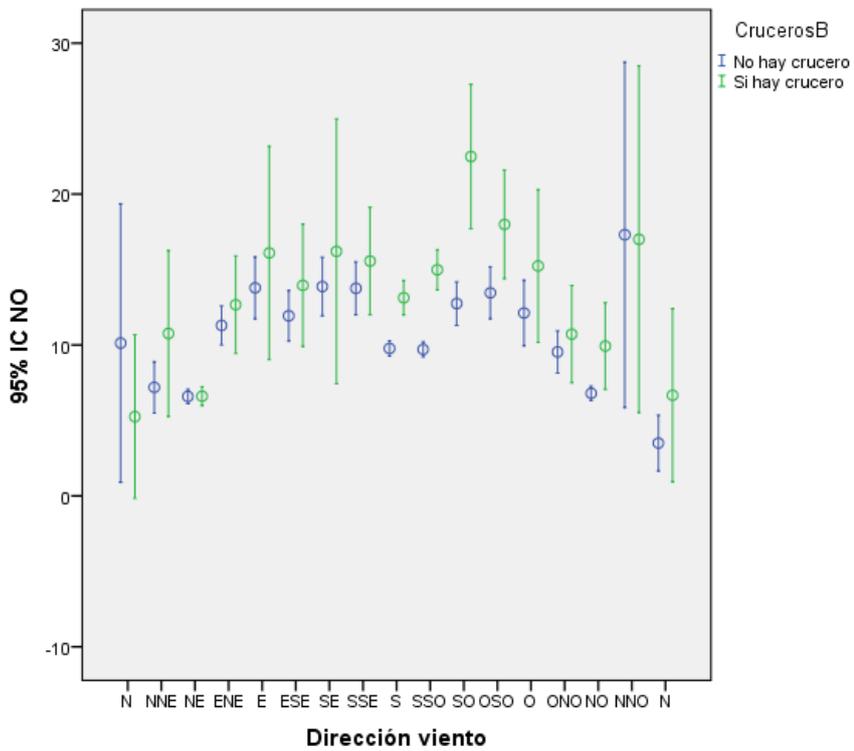


Figura 99. Barras error del contaminante NO de 7h a 19h por clases “hay / no hay cruceros” según la dirección del viento.

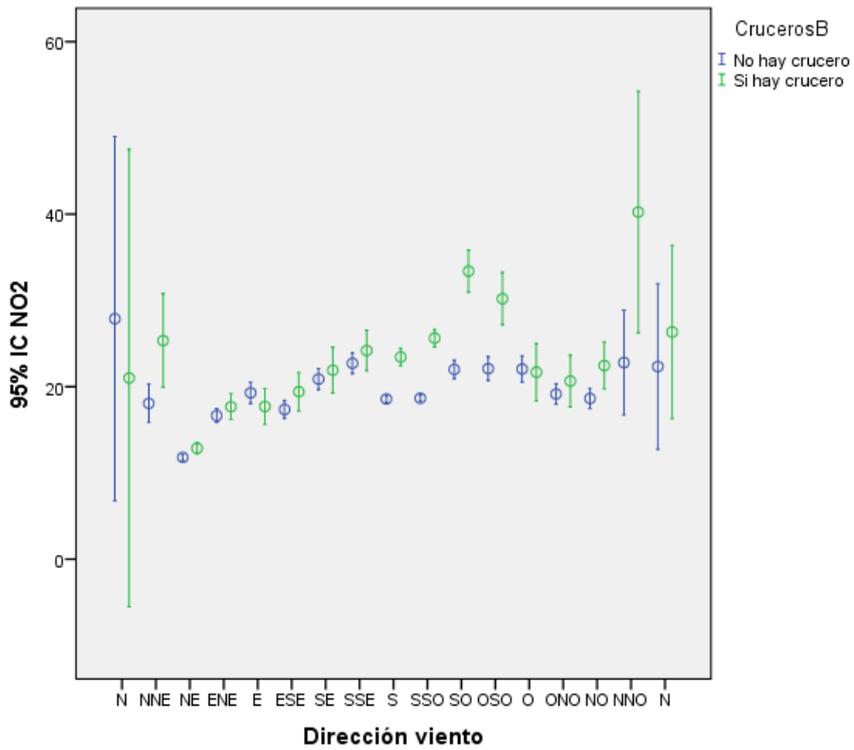


Figura 100. Barras error del contaminante NO₂ de 7h a 19h por clases “hay / no hay cruceros” según la dirección del viento.

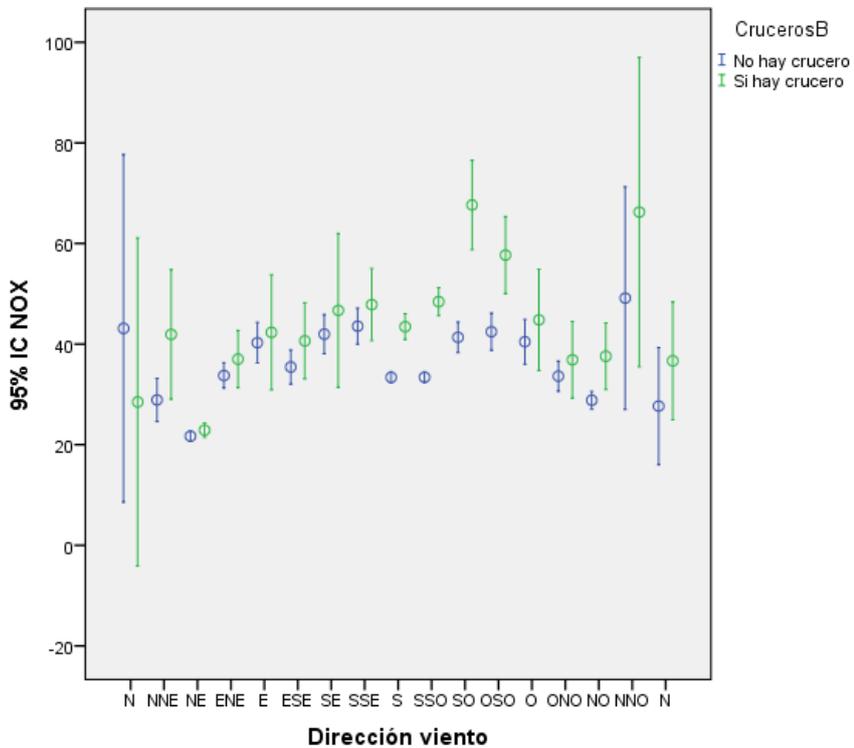


Figura 101. Barras error del contaminante NO_x de 7h a 19h por clases “hay / no hay cruceros” según la dirección del viento.

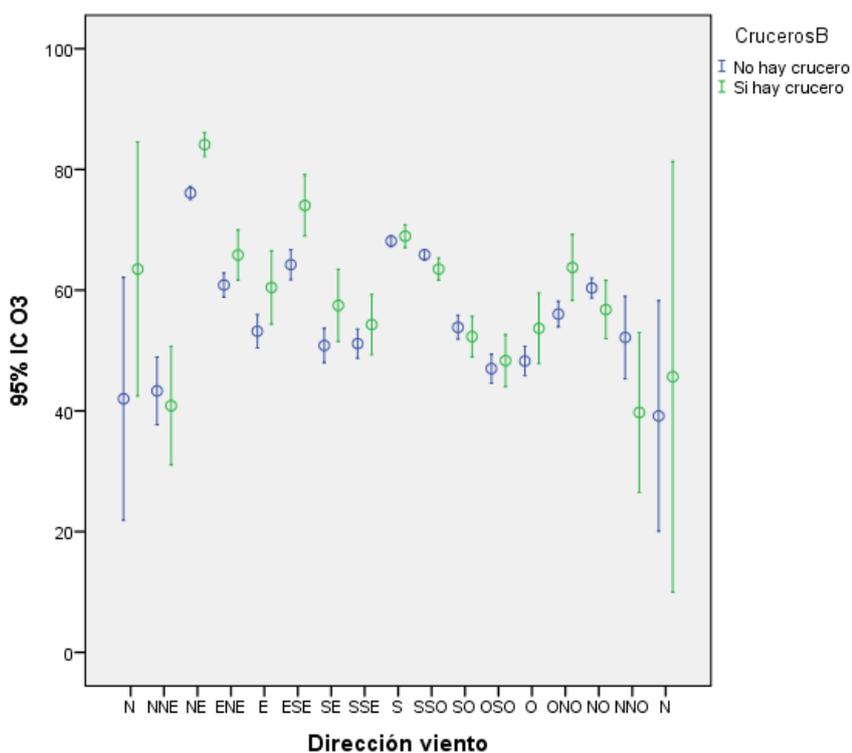


Figura 102. Barras error del contaminante O₃ de 7h a 19h por clases “hay / no hay cruceros” según la dirección del viento.

En la siguiente tabla se muestra el nivel de significación del contraste de hipótesis de cada contaminante realizado mediante la prueba U de Mann-Whitney para cada dirección del viento según si hay o no cruceros.

Tabla 29. Prueba U de Mann-Whitney con restricción horaria por clases “hay / no hay cruceros” según la dirección del viento.

	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO
PM ₁₀	0,050	0,918	0,330	0,030	0,005	0,643	0,016	0,082	0,014	0,000	0,000	0,063	0,490	0,368	0,000	0,003
SO ₂	0,599	0,673	0,114	0,313	0,451	0,745	0,942	0,334	0,890	0,003	0,226	0,143	0,775	0,008	0,000	0,387
NO	0,798	0,093	0,000	0,000	0,038	0,000	0,012	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,179	0,005	0,000	0,004
NO ₂	0,610	0,012	0,000	0,007	0,848	0,015	0,357	0,144	0,000	0,000	0,000	0,000	0,790	0,372	0,000	0,009
NO _x	0,734	0,029	0,000	0,001	0,533	0,000	0,163	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,681	0,219	0,000	0,009
O ₃	0,126	0,776	0,000	0,020	0,019	0,001	0,048	0,240	0,411	0,026	0,544	0,547	0,066	0,007	0,203	0,074

4.8.4 Dispersión de los contaminantes según la velocidad del viento

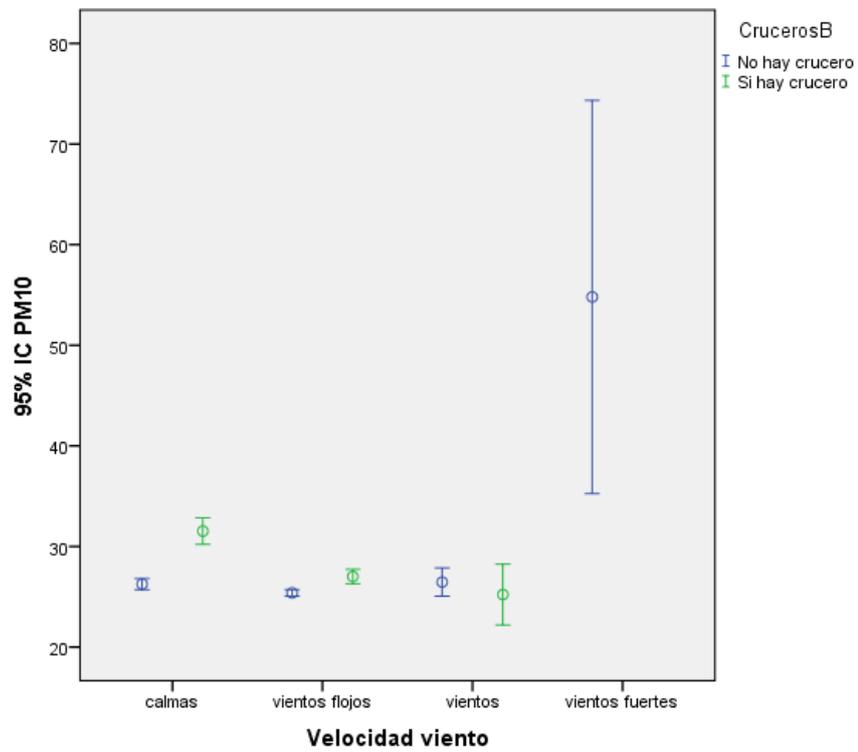


Figura 103. Barras error del contaminante PM₁₀ de 7h a 19h por clases "hay / no hay cruceros" según la velocidad del viento.

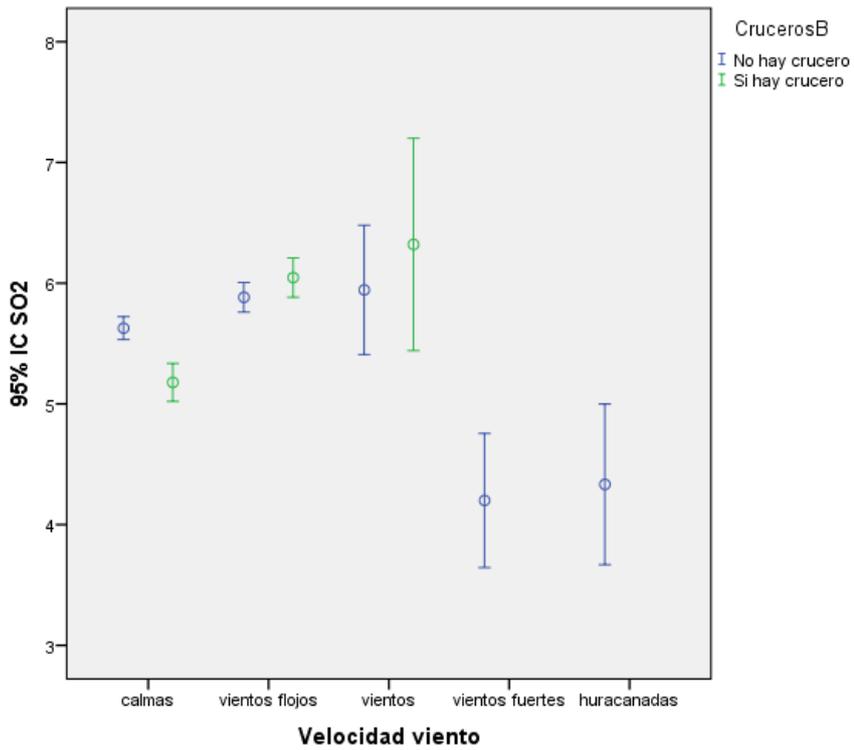


Figura 104. Barras error del contaminante SO₂ de 7h a 19h por clases "hay / no hay cruceros" según la velocidad del viento.

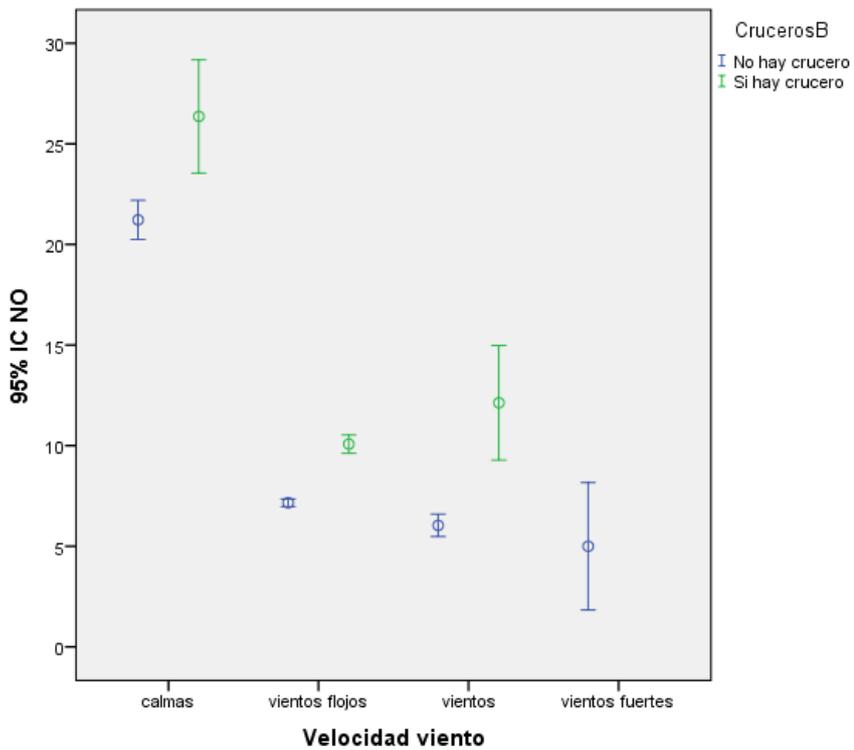


Figura 105. Barras error del contaminante NO de 7h a 19h por clases "hay / no hay cruceros" según la velocidad del viento.

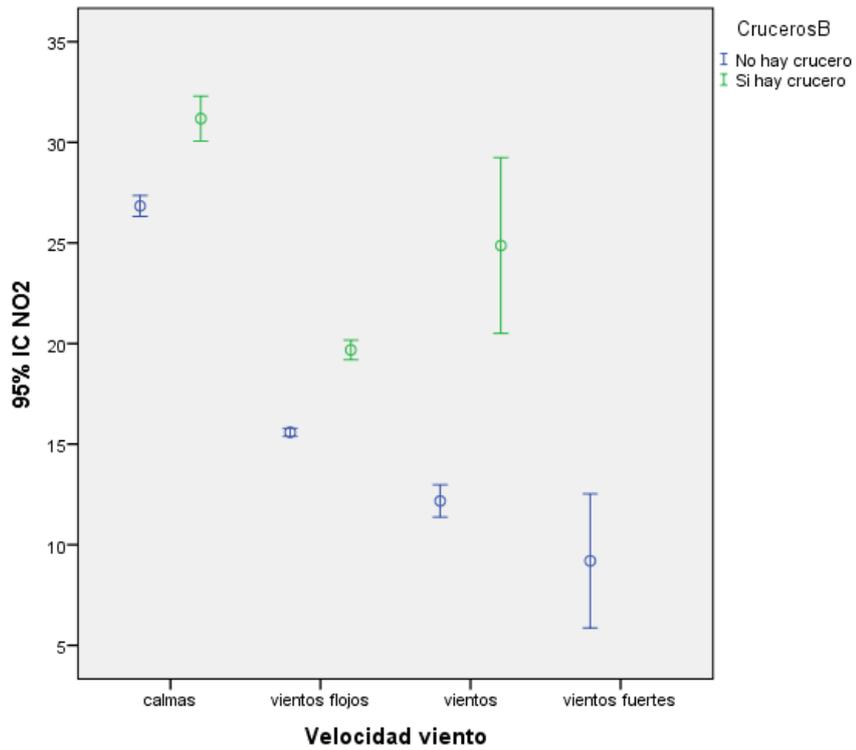


Figura 106. Barras error del contaminante NO₂ de 7h a 19h por clases "V" según la velocidad del viento.

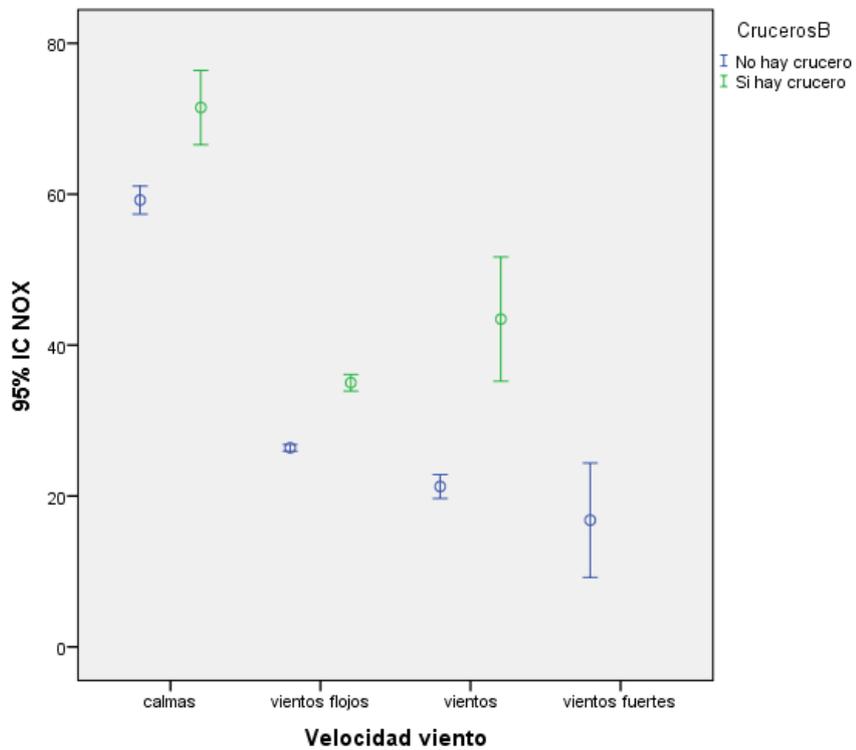


Figura 107. Barras error del contaminante NO_x de 7h a 19h por clases "hay / no hay cruceros" según la velocidad del viento.

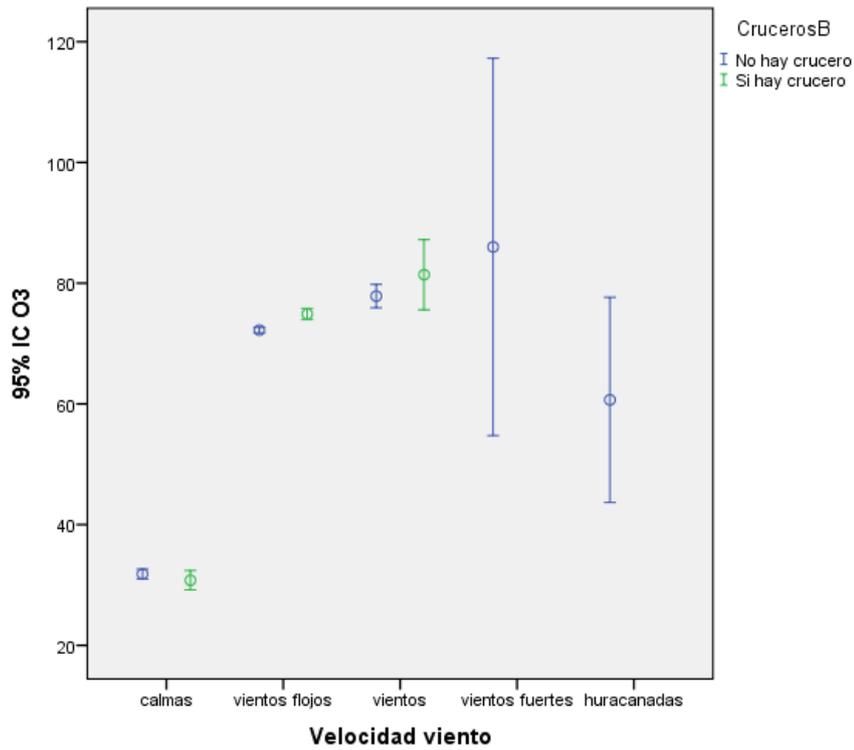


Figura 108. Barras error del contaminante O₃ de 7h a 19h por clases “hay / no hay cruceros” según la velocidad del viento.

Tabla 30. Prueba U de Mann-Whitney con restricción horaria por clases “hay / no hay cruceros” Según la velocidad del viento.

	Calmas	Vientos flojos	Vientos	Vientos fuertes	Vientos muy fuertes	Huracanadas
PM ₁₀	0,000	0,000	0,886	-	-	-
SO ₂	0,000	0,246	0,106	-	-	-
NO	0,000	0,000	0,000	-	-	-
NO ₂	0,000	0,000	0,000	-	-	-
NO _x	0,000	0,000	0,000	-	-	-
O ₃	0,778	0,000	0,131	-	-	-

4.8.5 Presencia de los cruceros (hay / no hay cruceros) con restricción horaria y vientos de NE

Como se puede apreciar en la imagen 10, la estación de Mompeán está ubicada con respecto a la zona de estudio en dirección Nordeste. Según el estudio de la influencia de la actividad de cruceros atendiendo a la dirección del viento que se ha realizado anteriormente, podemos comprobar en la tabla 35 que en las direcciones Nordeste y Estenordeste la presencia de los cruceros influye en la mayoría de los contaminantes de estudio.

A continuación, se muestra el estudio de la influencia de los cruceros en las concentraciones de los contaminantes con restricción horaria y dirección de viento acotada entre Nordeste y Estenordeste, con las respectivas gráficas de error.

Tabla 31. Rangos para la prueba U de Mann-Whitney según la variable “hay / no hay cruceros” con restricción horaria y vientos NE-ENE.

		Rangos		
CrucerosB		N	Rango promedio	Suma de rangos
PM ₁₀	No hay crucero	4766	3000,83	14301935,00
	Si hay crucero	1280	3107,93	3978146,00
	Total	6046		
SO ₂	No hay crucero	4712	2986,73	14073462,00
	Si hay crucero	1279	3030,16	3875574,00
	Total	5991		
NO	No hay crucero	4640	2808,69	13032318,00
	Si hay crucero	1210	3373,44	4081857,00
	Total	5850		
NO ₂	No hay crucero	4639	2851,12	13226348,50
	Si hay crucero	1210	3208,25	3881976,50
	Total	5849		
NO _x	No hay crucero	4639	2834,20	13147863,50
	Si hay crucero	1210	3273,11	3960461,50
	Total	5849		
O ₃	No hay crucero	4787	2939,72	14072448,50
	Si hay crucero	1284	3394,94	4359107,50
	Total	6071		

Tabla 32. Estadísticos de contraste para la prueba U de Mann-Whitney según la variable “hay / no hay cruceros” con restricción horaria y vientos NE-ENE.

Estadísticos de contraste^a

	PM ₁₀	SO ₂	NO	NO ₂	NO _x	O ₃
U de Mann-Whitney	2942174,000	2969634,000	2265198,000	2463868,500	2385383,500	2612370,500
W de Wilcoxon	14301935,000	14073462,000	13032318,000	13226348,500	13147863,500	14072448,500
Z	-1,950	-,803	-10,485	-6,563	-8,061	-8,265
Sig. asintót. (bilateral)	,051	,422	,000	,000	,000	,000

a. Variable de agrupación: CrucerosB

A la vista de los resultados, con un nivel de significación de 95% y p-valor 0,000 < 0,05 rechazamos la hipótesis de que no hay diferencias de clases en los contaminantes NO, NO₂, NO_x y O₃, pero la aceptamos para los contaminantes PM₁₀ (0,051 > 0,05) y SO₂ (0,422 > 0,05).

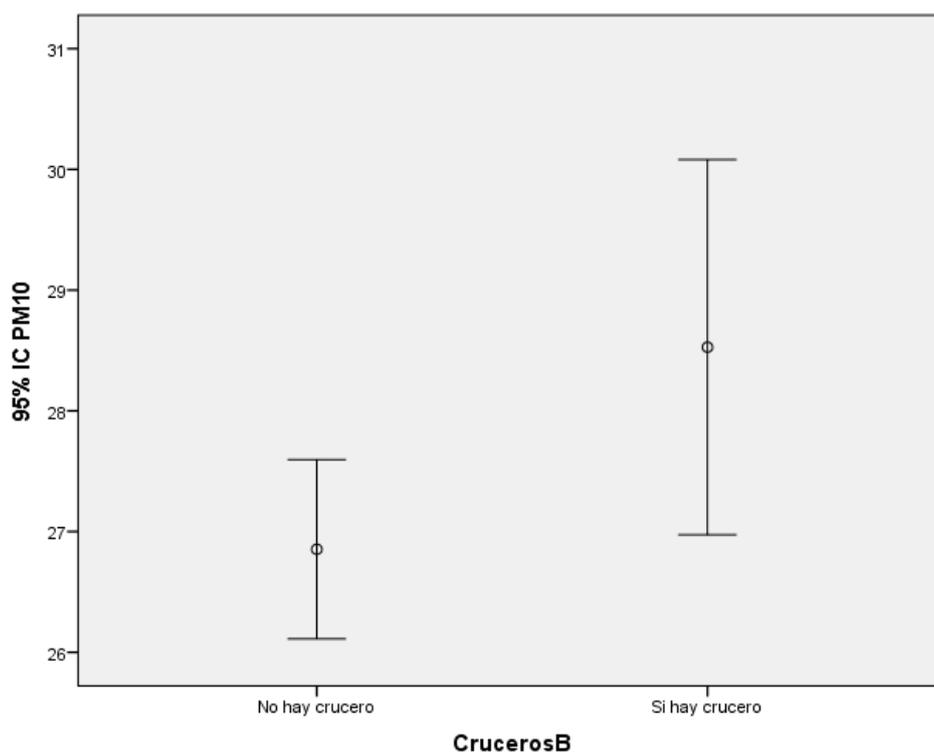


Figura 109. Barras de error del contaminante PM₁₀ de 7h a 19h y viento NE-ENE según “hay / no hay cruceros”.

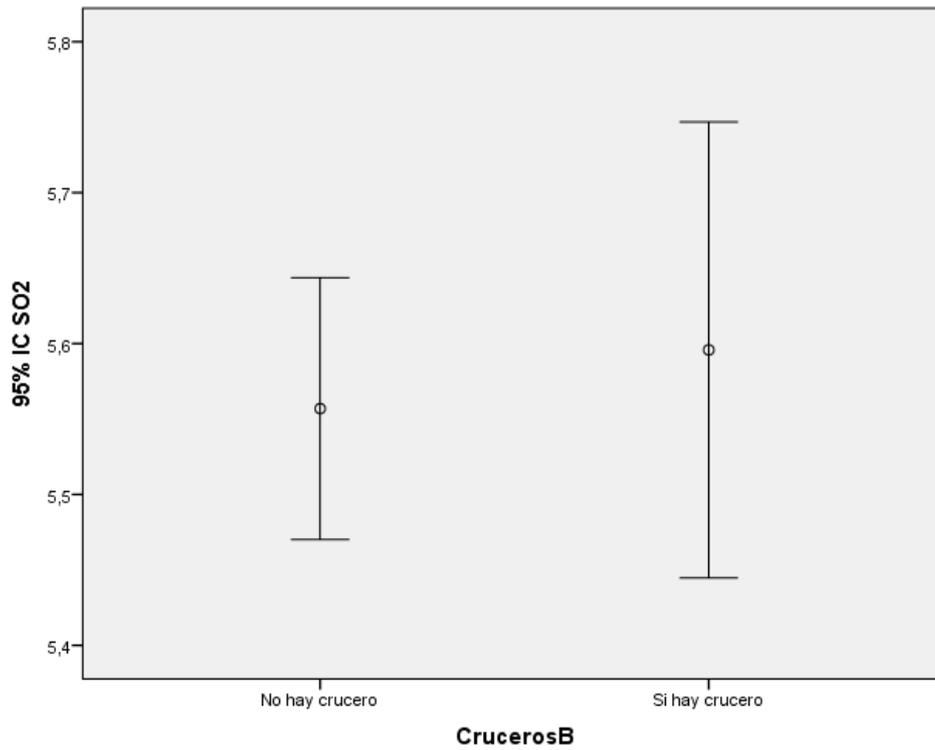


Figura 110. Barras de error del contaminante SO₂ de 7h a 19h y viento NE-ESE según "hay / no hay cruceros".

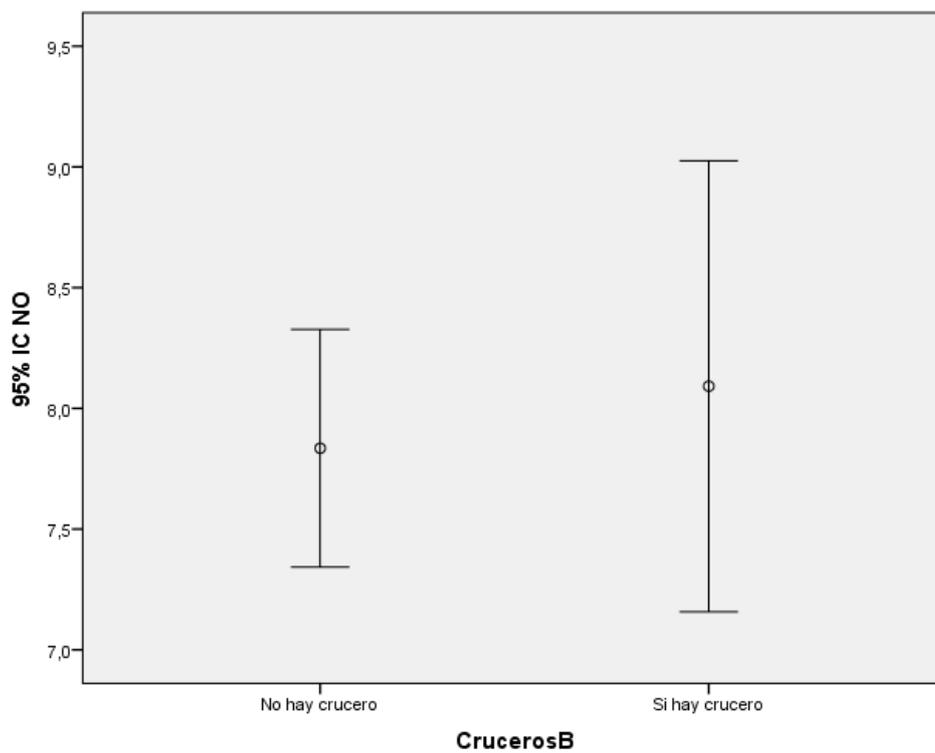


Figura 111. Barras de error del contaminante NO de 7h a 19h y viento NE-ESE según "hay / no hay cruceros".

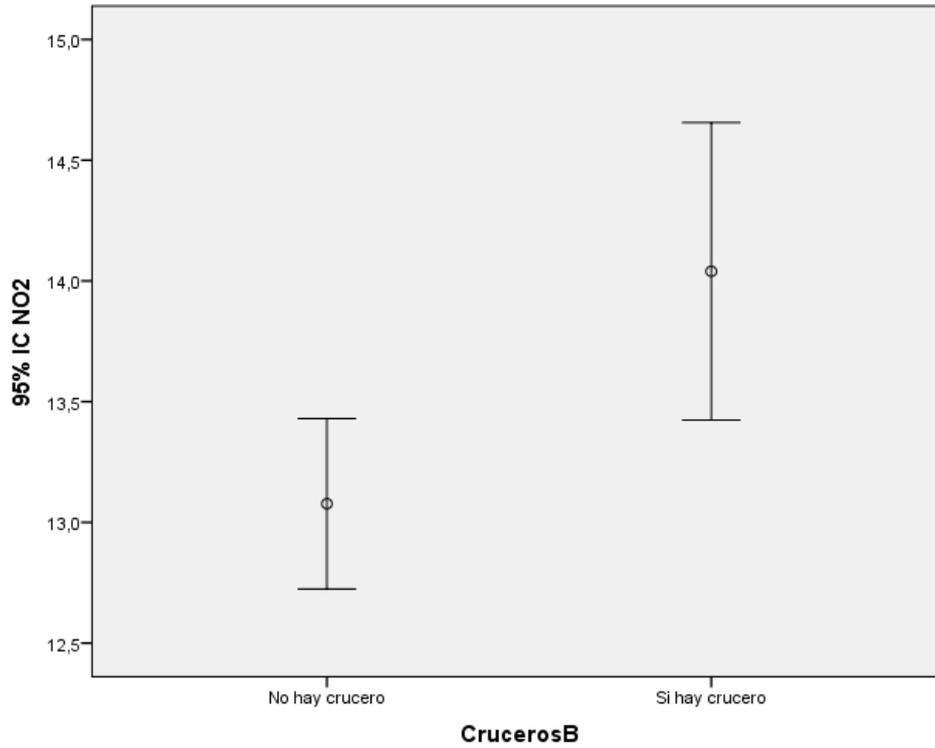


Figura 112. Barras de error del contaminante NO₂ de 7h a 19h y viento NE-ESE según "hay / no hay cruceros".

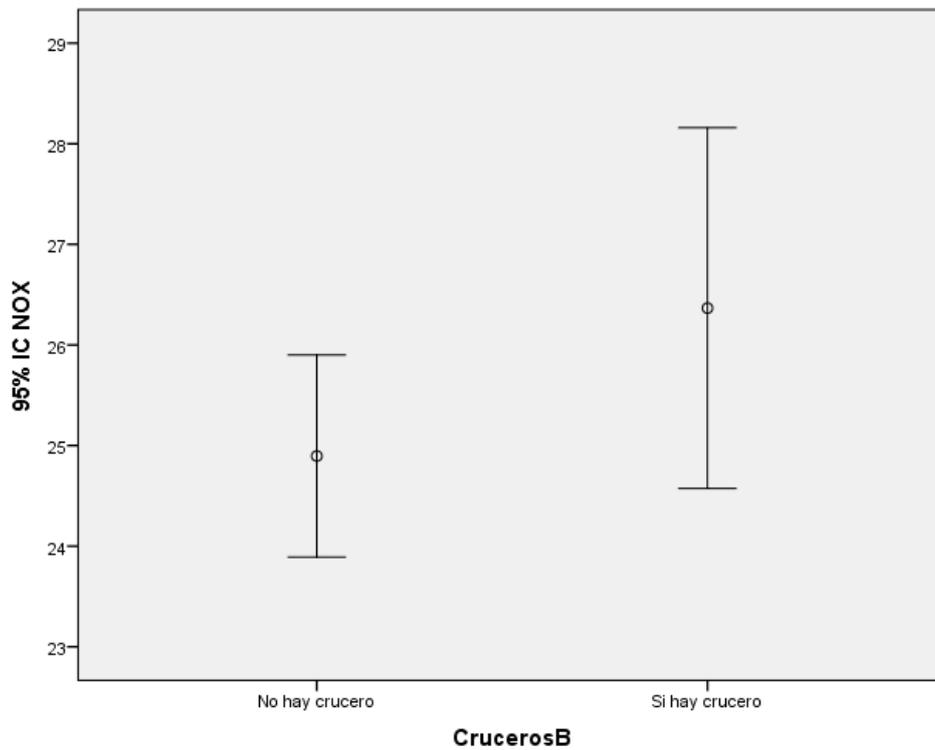


Figura 113. Barras de error del contaminante NO_x de 7h a 19h y viento NE-ESE según "hay / no hay cruceros".

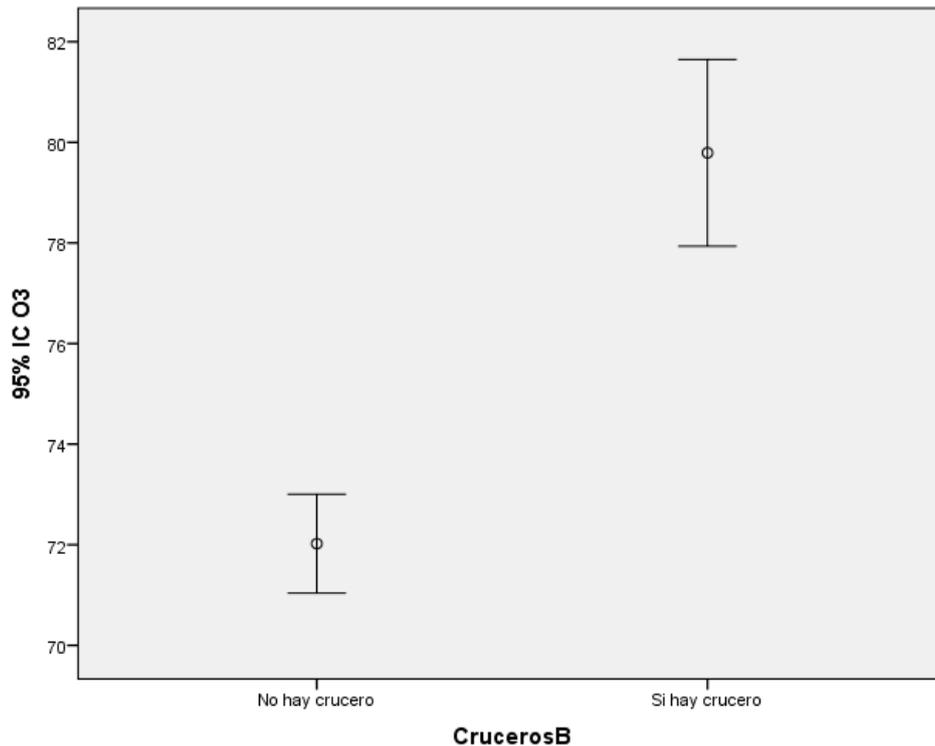


Figura 114. Barras de error del contaminante O₃ de 7h a 19h y viento NE-ESE según “hay / no hay cruceros”.

5 Discusión de resultados obtenidos

Una vez realizado el conjunto de análisis estadístico procedemos a valorar los resultados obtenidos:

1. Según el comportamiento de los cruceros:
 - 1.1. La franja horaria de mayor frecuencia en el estacionamiento de los cruceros es desde las 7h hasta las 19h (figura 13).
 - 1.2. Durante los 5 años el número de estacionamientos ascienden a 597 con mayor frecuencia en los meses de mayo y octubre (Tabla 4).
 - 1.3. El año de mayor afluencia de cruceros fue 2019, con 158 estacionamientos, como se muestra en la tabla 4.
 - 1.4. En los cinco años un total de 127 buques distintos han visitado la ciudad, de los cuales el 24,4% han estacionado 6 ocasiones o más y el 8,66% han estacionado más de 10 veces (Figura 14 y figura 15).
 - 1.5. En los cinco años de estudio el 99,5% de los cruceros permanecieron menos de 24h estacionados.
 - 1.6. Del total de estacionamientos ocurridos en los años de estudio, el 25% corresponde a estacionamientos de dos o más cruceros de forma simultánea (Tabla 6).

2. Acorde con el *Real Decreto 102/2011*:
 - 2.1. La concentración media anual de los PM₁₀ durante los cinco años no supera el límite anual marcado en 40 µg/m³, pero si se ha superado el límite diario de 50 µg/m³ en más de tres ocasiones por año civil en los años 2016, 2017 y 2020.
 - 2.2. La concentración media anual de los óxidos de nitrógeno (NO, NO₂) de los cinco años no supera el límite anual marcado en 40 µg/m³.
 - 2.3. La concentración media diaria del SO₂ sobrepasó de forma puntual y aislada el límite diario permitido en los años 2017, 2019 y 2020, superando los 125 µg/m³; y el límite horario permitido en el año 2019, superando los 500 µg/m³.
 - 2.4. La concentración media octohoraria de ozono de los cinco años de estudio no supera el valor límite octohorario fijado en 240 µg/m³.
3. Los datos de concentración de los contaminantes PM₁₀, SO₂, NO, NO₂, NO_x y O₃ presentan diferencias estadísticas entre sus valores centrales de cada año, así como en sus variabilidades.
4. Los contaminantes no presentan una distribución normal ni log-normal, ni tampoco existe homogeneidad de varianzas, concluyendo que los datos no son paramétricos (Tabla 18 y tabla 38).
5. En cuanto a factores meteorológicos, las direcciones predominantes del viento son en la dirección Sursuroeste y Noreste, predominando los vientos de velocidad baja.

Analizando los resultados para cada uno de los contaminantes estudiados se han obtenido los siguientes resultados:

Materia particulada PM₁₀

1. Los resultados obtenidos por factores distintos del tráfico de cruceros son:
 - 1.1. Según el día, la mayor concentración del contaminante ocurre de lunes a viernes y disminuye significativamente en el fin de semana (figura 59).
 - 1.2. Según la hora del día, a partir de las 5h comienza a aumentar el nivel de concentración del contaminante hasta alcanzar el máximo a las 10h y posteriormente desciende hasta las 16h donde los niveles de concentración se estabilizan hasta las 22h y desciende hasta el valor mínimo de concentración a las 5h (Figura 65).
 - 1.3. En cuanto a la dirección del viento, se aprecia un aumento en la concentración con los vientos en las direcciones comprendidas entre Sur y Suroeste (Figura 72).
 - 1.4. Con respecto a la velocidad del viento, la mayor concentración del contaminante se da con vientos fuertes, siendo la concentración baja en las calmas, vientos flojos y medios (Figura 78).
2. Los resultados obtenidos según la presencia de cruceros son:
 - 2.1. Existen diferencias estadísticamente significativas de la influencia de los cruceros en la concentración de la materia particulada PM₁₀. Aplicando la restricción horaria en la franja de mayor actividad de los cruceros (desde las 7h hasta las 19h) permanece la influencia de estos en la concentración de la materia particulada PM₁₀.
 - 2.2. Manteniendo la restricción horaria podemos ver que la presencia de cruceros influye estadísticamente en la concentración de los PM₁₀ en presencia de vientos en las direcciones Norte a Noroeste, Este a Estenordeste y Sur a suroeste principalmente (Tabla 29).
 - 2.3. Continuando con la restricción horaria aplicada, existen diferencias estadísticamente significativas de que la actividad de los cruceros influye en el aumento de la concentración de la materia particulada PM₁₀ cuando hay vientos en calma y flojos (Tabla30).
 - 2.4. Por último, manteniendo la restricción horaria y considerando únicamente vientos en la dirección NE-ENE Podemos afirmar con un p-valor de $0,051 \approx 0,05$ con una significación de 95% que no existen diferencias estadísticamente significativas del aumento de la concentración del PM₁₀ cuando hay crucero y cuando no (Tabla 32). Sin embargo, considerando el hecho de que se ha evaluado la influencia de la emisión de PM₁₀ a partir de la inmisión (que es contribuida por un gran número de fuentes de emisión de contaminantes) podría considerarse que la estancia de los cruceros si influye en el aumento de la concentración de PM₁₀.

Dióxido de azufre SO₂

1. Los resultados obtenidos por factores distintos del tráfico de cruceros son:
 - 1.1. Según el día, la mayor concentración del contaminante ocurre el lunes y decrece hasta el domingo (figura 60).
 - 1.2. Según la hora del día, a partir de las 6h comienza a aumentar el nivel de concentración del contaminante hasta alcanzar el máximo a las 17h y posteriormente desciende de nuevo hasta el mínimo en las 6h (Figura 66).
 - 1.3. En cuanto a la dirección del viento, se aprecia un máximo en la concentración del SO₂ con los vientos en la dirección Estesudeste (Figura 73).
 - 1.4. Con respecto a la velocidad del viento, la mayor concentración del contaminante se da con vientos en calma, flojos y de velocidad media, siendo la concentración baja con los vientos fuertes y las huracanadas (Figura 79).
2. Los resultados obtenidos según la presencia de cruceros son:
 - 2.1. A priori existen diferencias estadísticamente significativas de la influencia de los cruceros en la concentración del dióxido de azufre. Sin embargo, aplicando la restricción horaria en la franja de mayor actividad de los cruceros (desde las 7h hasta las 19h), la actividad de los cruceros no influye estadísticamente en la concentración del dióxido de azufre.
 - 2.2. Manteniendo la restricción horaria podemos ver que la presencia de cruceros influye estadísticamente en la concentración de los SO₂ en presencia de vientos en las direcciones Noroeste a Oeste noroeste y Sursuroeste principalmente (Tabla 29).
 - 2.3. Continuando con la restricción horaria aplicada, existen diferencias estadísticamente significativas de que la actividad de los cruceros influye en el aumento de la concentración de los SO₂ cuando hay vientos en calma (Tabla30).
 - 2.4. Por último, manteniendo la restricción horaria y considerando únicamente vientos en la dirección NE-ENE Podemos afirmar con un p-valor de $0,422 > 0,05$ con una significación de 95% que no existen diferencias estadísticamente significativas del aumento de la concentración del SO₂ cuando hay crucero y cuando no (Tabla 32).

Óxidos de nitrógeno NO_x

1. Los resultados obtenidos por factores distintos del tráfico de cruceros son:
 - 1.1. Según el día, la mayor concentración del contaminante ocurre de lunes a viernes y disminuye significativamente en el fin de semana (Figura 63).
 - 1.2. Según la hora del día, a partir de las 5h comienza a aumentar el nivel de concentración del contaminante hasta alcanzar el máximo a las 9h y posteriormente desciende hasta un nuevo mínimo a las 16h. a partir de esa hora el nivel de concentración aumenta levemente hasta llegar a un nuevo máximo a las 23h, menor que el máximo de las 9h, y luego descender a lo largo de la madrugada hasta el mínimo nivel de concentración a las 5h (Figura 69).
 - 1.3. En cuanto a la dirección del viento, se aprecia un aumento en la concentración con los vientos en las direcciones comprendidas entre Estenordeste y Sursureste (Figura 76).
 - 1.4. Con respecto a la velocidad del viento, la mayor concentración del contaminante se da en las horas con vientos en calma y decrece la concentración conforme aumenta la velocidad del viento (Figura 82).
2. Los resultados obtenidos según la presencia de cruceros son:
 - 2.1. Existen diferencias estadísticamente significativas de la influencia de los cruceros en la concentración de los óxidos de nitrógeno. Aplicando la restricción horaria en la franja de mayor actividad de los cruceros (desde las 7h hasta las 19h) permanece la influencia de estos en la concentración de los óxidos de nitrógeno.
 - 2.2. Manteniendo la restricción horaria podemos ver que la presencia de cruceros influye estadísticamente en la concentración de los NO_x en presencia de vientos en las direcciones Nornordeste a Estenordeste y Sursureste a Oeste suroeste y principalmente (Tabla 29).
 - 2.3. De nuevo, con la restricción horaria aplicada, existen diferencias estadísticamente significativas de que la actividad de los cruceros influye en el aumento de la concentración de los NO_x cuando hay vientos en calma, flojos y medios (Tabla30).
 - 2.4. Por último, manteniendo la restricción horaria y considerando únicamente vientos en la dirección NE-ENE Podemos afirmar con un p-valor de $0,000 < 0,05$ con una significación de 95% que existen diferencias estadísticamente significativas del aumento de la concentración del NO_x cuando hay crucero y cuando no (Tabla 32).

Ozono O₃

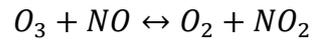
1. Los resultados obtenidos por factores distintos del tráfico de cruceros son:
 - 1.1. Según el día, la mayor concentración del contaminante ocurre el sábado y el domingo y disminuye significativamente durante los días laborales (Figura 64).
 - 1.2. Según la hora del día, a partir de las 9h comienza a aumentar el nivel de concentración del contaminante significativamente hasta alcanzar el máximo a las 17h y posteriormente los niveles de concentración pasan a decrecer de nuevo hasta el valor mínimo de concentración a las 9h (Figura 70).
 - 1.3. En cuanto a la dirección del viento, no se aprecia una tendencia clara salvo dos máximos de concentración de O₃ según las direcciones Nordeste y Sur (Figura 77).
 - 1.4. Con respecto a la velocidad del viento, la mayor concentración del contaminante se da con vientos flojos, medios y fuertes, siendo la concentración baja en las calmas y huracanadas.
2. Los resultados obtenidos según la presencia de cruceros son:
 - 2.1. Existen diferencias estadísticamente significativas de la influencia de los cruceros en la concentración del ozono. Aplicando la restricción horaria en la franja de mayor actividad de los cruceros (desde las 7h hasta las 19h) permanece la influencia de estos en la concentración de los óxidos de nitrógeno.
 - 2.2. Manteniendo la restricción horaria podemos ver que la presencia de cruceros influye estadísticamente en la concentración de los O₃ en presencia de vientos en las direcciones Nordeste a Sudeste principalmente, y puntualmente en las direcciones Sursuroeste y Oeste noroeste (Tabla 29).
 - 2.3. Continuando con la restricción horaria aplicada, existen diferencias estadísticamente significativas de que la actividad de los cruceros influye en el aumento de la concentración de los O₃ cuando hay vientos flojos (Tabla 30).
 - 2.4. Manteniendo la restricción horaria y considerando únicamente vientos en la dirección NE-ENE podemos afirmar con un p-valor de $0,000 < 0,05$ con una significación de 95% que existen diferencias estadísticamente significativas del aumento de la concentración del O₃ cuando hay crucero y cuando no (Tabla 32).
 - 2.5. Por último, cabe mencionar que, al ser el ozono un contaminante secundario y tener interacción con el monóxido de nitrógeno, los resultados obtenidos pueden ser similares en resultado a los de los NO_x debido a dicha interacción, dificultando su estudio de forma aislada. Dicha interacción se explica más adelante en las conclusiones.

6 Conclusiones

Acorde con los datos obtenidos a partir de la bibliografía acerca de la contaminación medioambiental (concretamente la contaminación atmosférica) y con el estudio estadístico realizado a partir de los datos de concentración de contaminantes y los datos meteorológicos se ha llegado a las siguientes conclusiones:

1. La actividad de los cruceros ha seguido un crecimiento paulatino año por año. Sin embargo, con la aparición del virus SARS CoV-2 en el año 2020 y su consiguiente declaración de pandemia mundial, el turismo de cruceros se ha visto reducido y prácticamente detenido durante dicho año al igual que otros sectores del transporte. El crecimiento del turismo de cruceros trae consigo un crecimiento económico, pero existen consecuencias adversas en la salud de las personas y plantas a causa de la disminución de la calidad del aire.
2. Debido a la tecnología actual aplicada a la propulsión de buques de cruceros, la preocupación por regular las prácticas de estos ha aumentado, provocando el endurecimiento de las normas que permiten su actividad para desplazarse y atracar en puertos. Tal es la preocupación ambiental que se han estudiado métodos de propulsión basados en combustibles de mayor refinamiento como el gas natural licuado (GNL).
3. Los contaminantes SO_2 , NO, NO_2 , NO_x y O_3 cumplen con los límites establecidos en el *Real Decreto 201/2021*.
4. Debido a la alta actividad industrial y urbana en la zona de estudio, los factores que afectan a la calidad del aire son diversos. Entre ellos se destaca la industria en el Valle de Escombreras, el tráfico rodado en la ciudad o los barcos de uso mercantil y militar.
5. Del estudio estadístico en base a los datos de concentración de contaminantes desde 2016 hasta 2020 se han obtenido los siguientes resultados referentes a la actividad de los cruceros:
 - 5.1. Existen diferencias estadísticamente significativas de la influencia de los cruceros en el aumento de la concentración de los óxidos de nitrógeno, el ozono y posiblemente de las partículas PM_{10} . En el caso del SO_2 no hay evidencia concluyente de que la estancia de los cruceros aumente su concentración. Por último, con un nivel de significación de $0,051 > 0,05$ se rechaza por poco la hipótesis de que la estancia de los cruceros influye en el aumento de la concentración del contaminante PM_{10} , pero teniendo en cuenta las otras muchas fuentes de emisión de contaminación podría considerarse la influencia de los cruceros en el aumento de su concentración.
6. El mayor registro de contaminación en todos los contaminantes ocurre en los días laborales y disminuye en el fin de semana, al contrario que para el ozono, cuyos valores máximos de concentración ocurren en fin de semana ya que sus niveles de concentración siguen un patrón opuesto al de los NO_x .
7. La concentración de SO_2 es mayor cuando no hay crucero para una dirección del viento proveniente del cuarto cuadrante.

8. El contaminante O_3 presenta una distribución de datos complementaria al de los NO_x , concretamente al NO_2 . Esto se debe a la reacción reversible:



Sin embargo, dicha reacción no explica la razón del aumento de la concentración del O_3 en presencia de cruceros, teniendo en cuenta que el ozono no se encuentra dentro de los productos obtenidos de la combustión del fuel oil (Al ser un contaminante secundario no procede directamente de la fuente emisora de contaminación, sino como resultado de la interacción de otros contaminantes primarios).

9. La actividad de los cruceros una vez estacionados en la dársena de Cartagena contribuyen de forma directa en el aumento de la concentración de los principales contaminantes en el aire (PM_{10} , NO_x y O_3).
10. Para finalizar, se concluye que, durante el año 2020, debido a las medidas preventivas y de confinamiento establecidas por los gobiernos a causa de la pandemia por SARS CoV-2 se ha detectado una disminución en el valor medio anual de la concentración de los contaminantes NO_x y O_3 (Tabla 11).

7 Bibliografía

AMAT-GADEA Arquitectos (2021) *Climatología de Cartagena*. Available at: https://urbanismo.cartagena.es/ExtDoc/PLDOC/2003-0002/Memoria_informativa.pdf (Accessed: 9 June 2021).

Armellini, A. *et al.* (2018) 'Evaluation of gas turbines as alternative energy production systems for a large cruise ship to meet new maritime regulations', *Applied Energy*, 211, pp. 306–317. doi:10.1016/j.apenergy.2017.11.057.

Autoridad Portuaria de Cartagena (2021) *Estadísticas*. Available at: <http://www.apc.es/webapc/actAPC/estadisticas> (Accessed: 20 February 2021).

Ayuntamiento de Cartagena (2021) *Población | Cartagena en cifras | Portal de Transparencia, Ayuntamiento de Cartagena*. Available at: <https://www.cartagena.es/poblacion.asp?idPaginaOriginal=1325> (Accessed: 9 September 2021).

barcovikingo (2021) 'barco Vikingo drakkar', *Barco Vikingo*. Available at: <https://barcovikingo.com/barco-vikingo/> (Accessed: 9 September 2021).

BOE, B. (2020) *BOE.es - Documento BOE-A-2020-4379*. Available at: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2020-4379> (Accessed: 20 February 2021).

CARM (2021) *Calidad del Aire de la Región de Murcia*. Available at: <https://sinqlair.carm.es/calidadaire/> (Accessed: 9 September 2021).

Cruise Market Watch (2021) 'Crecimiento | Observación del mercado de cruceros'. Available at: <https://cruisemarketwatch.com/growth/> (Accessed: 20 February 2021).

De La Llana, M. (2011) *Sistemas de propulsión naval.pdf*. Available at: <https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/12273/DeLaLlanaMartinez.pdf?sequence=1> (Accessed: 29 April 2021).

Documento BOE-A-2011-1645 (2011) *BOE.es - BOE-A-2011-1645 Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire*. Available at: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2011-1645> (Accessed: 1 April 2021).

EDICIONES PLAZA, S.L. (2019) *Cruceros, el floreciente negocio que llega del mar, Murciaplaza*. Available at: <https://murciaplaza.com/cruceros-el-floreciente-negocio-que-llega-del-mar> (Accessed: 23 April 2021).

Gallego Humanes, D. (2015) *Turismo de cruceros.pdf*. Available at: https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/46508/file_1.pdf?sequence=1 (Accessed: 25 April 2021).

Kampa, M. and Castanas, E. (2008) 'Human health effects of air pollution', *Environmental Pollution*, 151(2), pp. 362–367. doi:10.1016/j.envpol.2007.06.012.

Marine Traffic (2021) *MarineTraffic: Global Ship Tracking Intelligence | AIS Marine Traffic*. Available at: <https://www.marinetraffic.com/es/ais/home/centerx:-1.1/centery:37.4/zoom:11> (Accessed: 20 February 2021).

Murcianatural (2004) *Murcianatural - Clima*. Available at: <https://murcianatural.carm.es/web/guest/clima> (Accessed: 9 June 2021).

Oltra, C. and Sala, R. (2015) 'Percepción Pública de la Contaminación Atmosférica Urbana en Cuatro Ciudades Españolas'. Available at: <http://documenta.ciemat.es/handle/123456789/255> (Accessed: 21 February 2021).

Región de Murcia Digital (2004a) *Historia de Cartagena- Prehistoria - Región de Murcia Digital*. Available at: https://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=a,75,c,373,m,1871&r=ReP-7507-DETALLE_REPORTAJESPADRE (Accessed: 9 June 2021).

Región de Murcia Digital (2004b) *Pedanías de Cartagena - Región de Murcia Digital*. Available at: <https://www.regmurcia.com/servlet/s.SI?sit=a,75,c,567,m,2140> (Accessed: 9 June 2021).

Rengel Ortiz, J. (2018) *¿Cuál fue el primer Barco de Vapor? ¿Quién lo inventó y cuándo?, Terránea*. Available at: <https://blog.terranea.es/primer-barco-de-vapor-historia/> (Accessed: 29 April 2021).

Transport & Environment (2021a) *Cruceros | Transporte y medio ambiente*. Available at: <https://www.transportenvironment.org/what-we-do/shipping-and-environment/cruise-ships> (Accessed: 4 March 2021).

Transport & Environment (2021b) *La contaminación y los daños de las 'ciudades flotantes' están creando conflictos | Transporte y medio ambiente*. Available at: <https://www.transportenvironment.org/news/pollution-and-damage-%E2%80%98floating-cities%E2%80%99-are-creating-conflict> (Accessed: 4 March 2021).

Villa Caro, R. (2017) 'BUQUES IMPULSADOS POR GAS NATURAL LICUADO. ENTRADA EN VIGOR DEL CÓDIGO IGF', p. 16.

WHO (2021a) *Cómo la contaminación del aire está destruyendo nuestra salud*. Available at: <https://www.who.int/es/news-room/spotlight/how-air-pollution-is-destroying-our-health> (Accessed: 31 March 2021).

WHO (2021b) *Coronavirus*. Available at: <https://www.who.int/es/activities/preventing-noncommunicable-diseases/coronavirus> (Accessed: 9 September 2021).

WHO (2021c) *WHO | CLEAN AIR FOR HEALTH: Geneva Action Agenda*, WHO. World Health Organization. Available at: <http://www.who.int/phe/news/clean-air-for-health/en/> (Accessed: 31 March 2021).

8 Anexo

Se muestra a continuación el conjunto de tablas y graficas no incluidas en secciones anteriores y que complementan el estudio realizado.

8.1 Estudio de log-normalidad de los contaminantes

En este apartados se procede al estudio de la log-normalidad de los contaminantes. Para ello se ha realizado sobre los datos de los contaminantes el logaritmo decimal y se les ha realizado la prueba de Kolmogorov-Smirnov.

8.1.1 Año 2016

Tabla 33. Prueba de log normalidad Kolmogorov-Smirnov de los contaminantes (2016).

2016		log_PM ₁₀	log_SO ₂	log_NO	log_NO ₂	log_NO _x	log_O ₃
N		8525	8025	8336	8336	8336	8546
Parámetros normales ^{b,c}	Media	1,3225	,8141	,7345	1,2535	1,4393	1,6931
	Desviación típica	,26251	,10567	,41164	,26115	,31174	,34503
Diferencias más extremas	Absoluta	,067	,178	,164	,035	,072	,179
	Positiva	,049	,155	,164	,035	,072	,126
	Negativa	-,067	-,178	-,141	-,022	-,048	-,179
Z de Kolmogorov-Smirnov		6,211	15,954	14,937	3,203	6,528	16,548
Sig. asintót. (bilateral)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

En el año 2016 con un nivel de significación de 95% y p-valor $0,000 < 0,05$ en todos los contaminantes, se rechaza la hipótesis de log-normalidad, por lo que no siguen una distribución log-normal.

Se muestran a continuación los histogramas que muestran la distribución de los contaminantes en los que se incluye la curva normal ajustada.

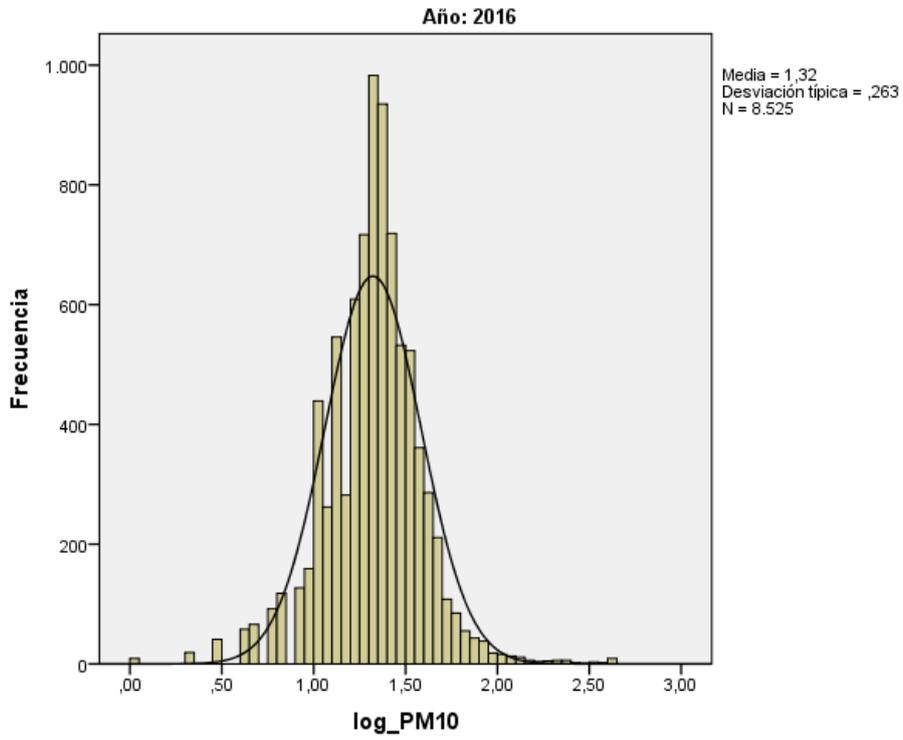


Figura 115. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante PM₁₀ (2016).

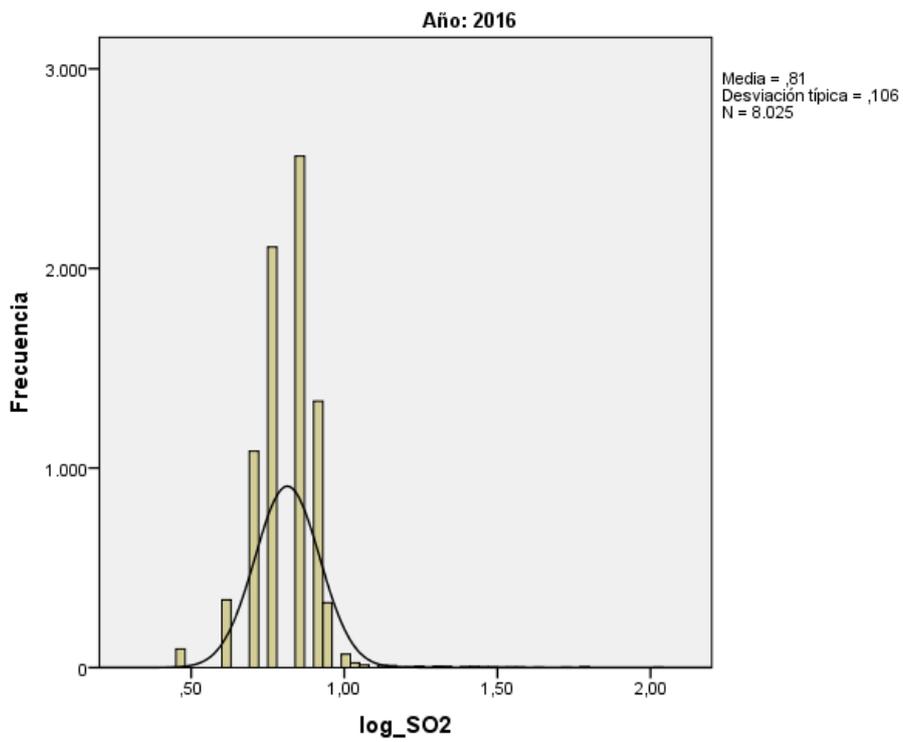


Figura 116. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante SO₂ (2016).

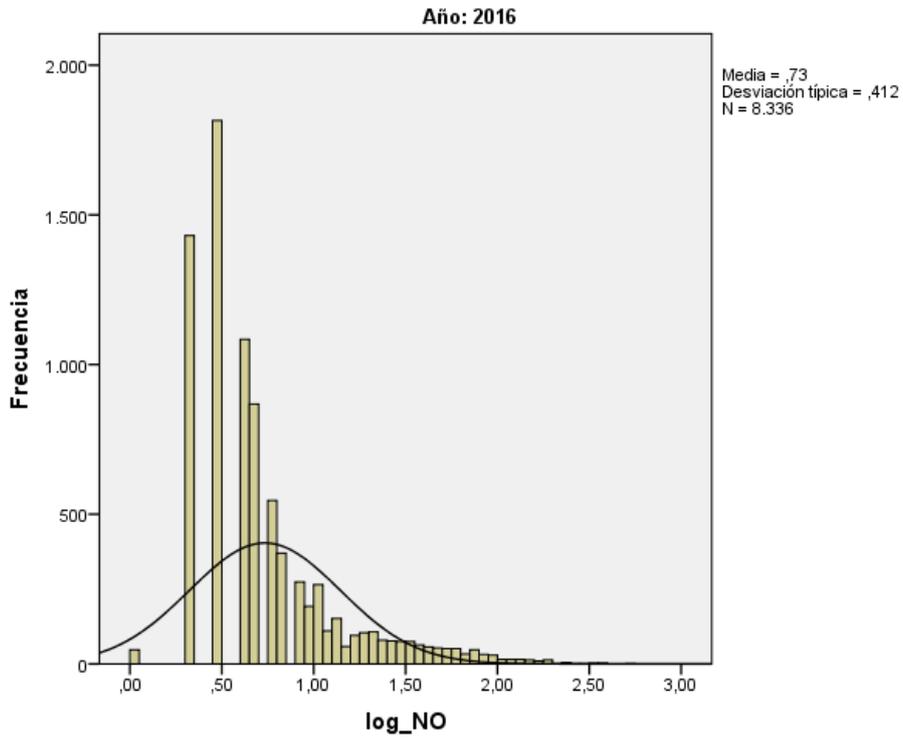


Figura 117. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante NO (2016).

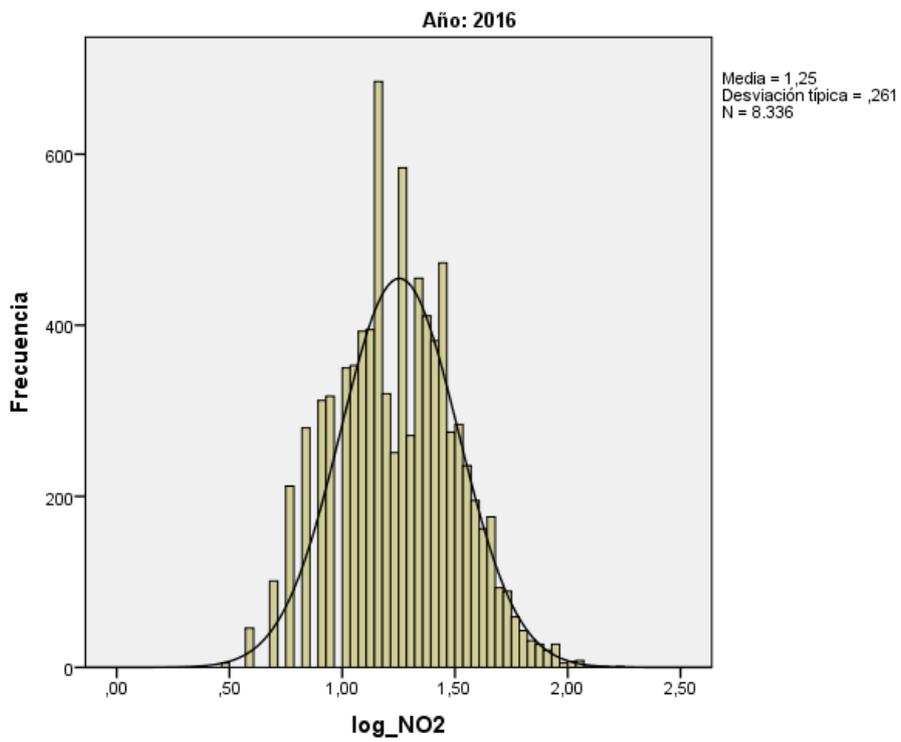


Figura 118. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante NO₂ (2016).

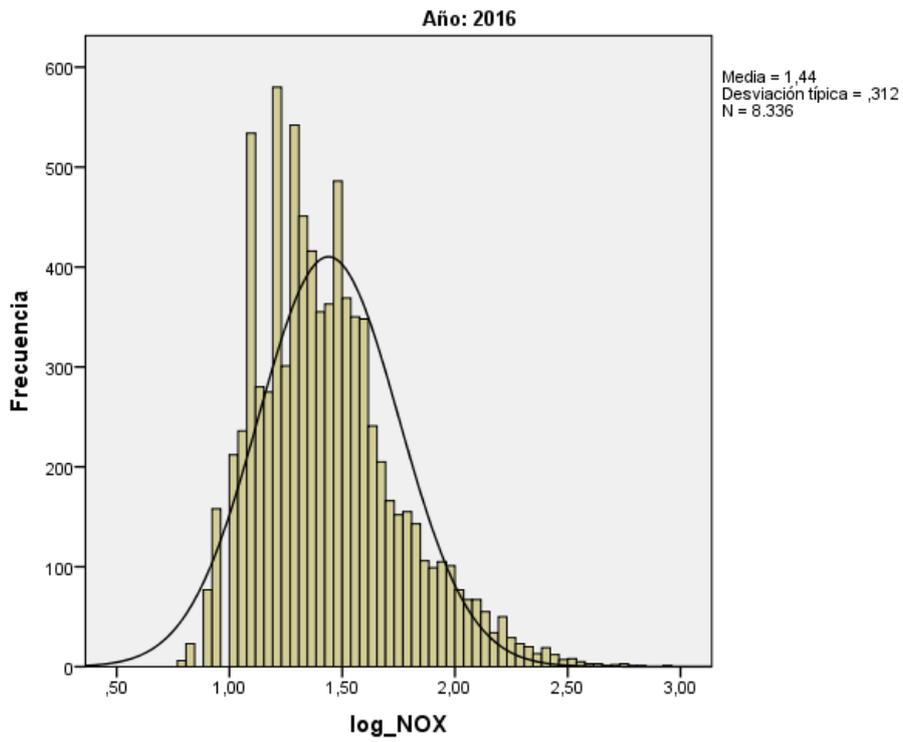


Figura 119. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante NO_x (2016).

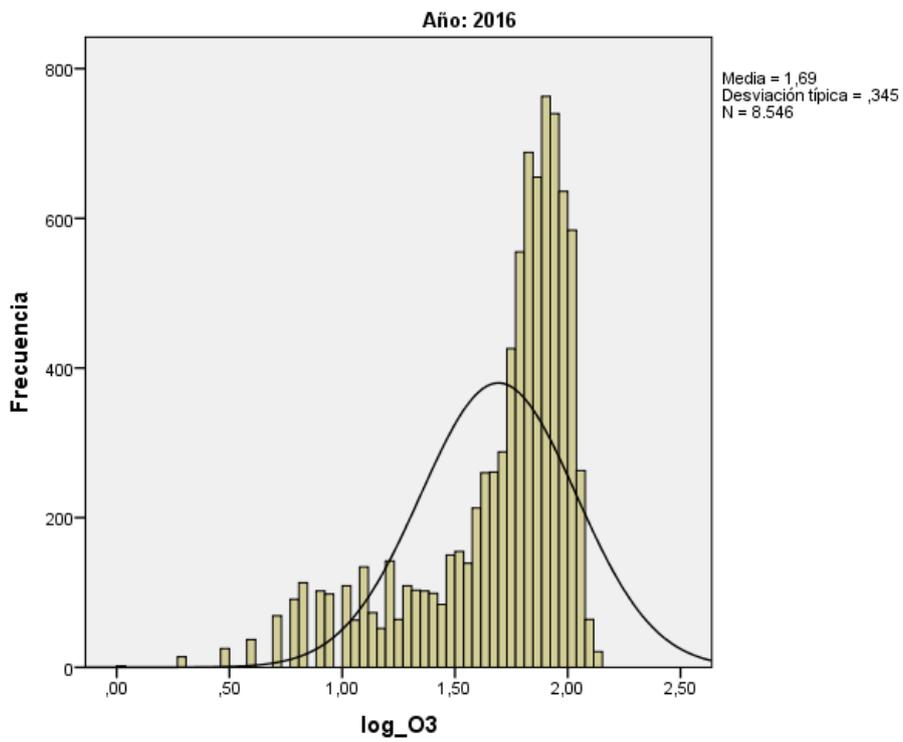


Figura 120. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante O₃ (2016).

8.1.2 Año 2017

Tabla 34. Prueba de log normalidad Kolmogorov-Smirnov de los contaminantes (2017).

2017		log_PM ₁₀	log_SO ₂	log_NO	log_NO ₂	log_NO _x	log_O ₃
N		8709	8714	8571	8571	8571	8716
Parámetros normales ^{b,c}	Media	1,3058	,8147	,8120	1,2448	1,4506	1,7184
	Desviación típica	,26475	,20302	,32814	,28725	,29343	,34837
Diferencias más extremas	Absoluta	,073	,220	,188	,038	,073	,177
	Positiva	,026	,172	,188	,038	,073	,127
	Negativa	-,073	-,220	-,154	-,021	-,059	-,177
Z de Kolmogorov-Smirnov		6,844	20,534	17,411	3,533	6,779	16,560
Sig. asintót. (bilateral)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

En el año 2017 con un nivel de significación de 95% y p-valor $0,000 < 0,05$ en todos los contaminantes, se rechaza la hipótesis de log-normalidad, por lo que no siguen una distribución log-normal.

Se muestran a continuación los histogramas que muestran la distribución de los contaminantes en los que se incluye la curva normal ajustada.

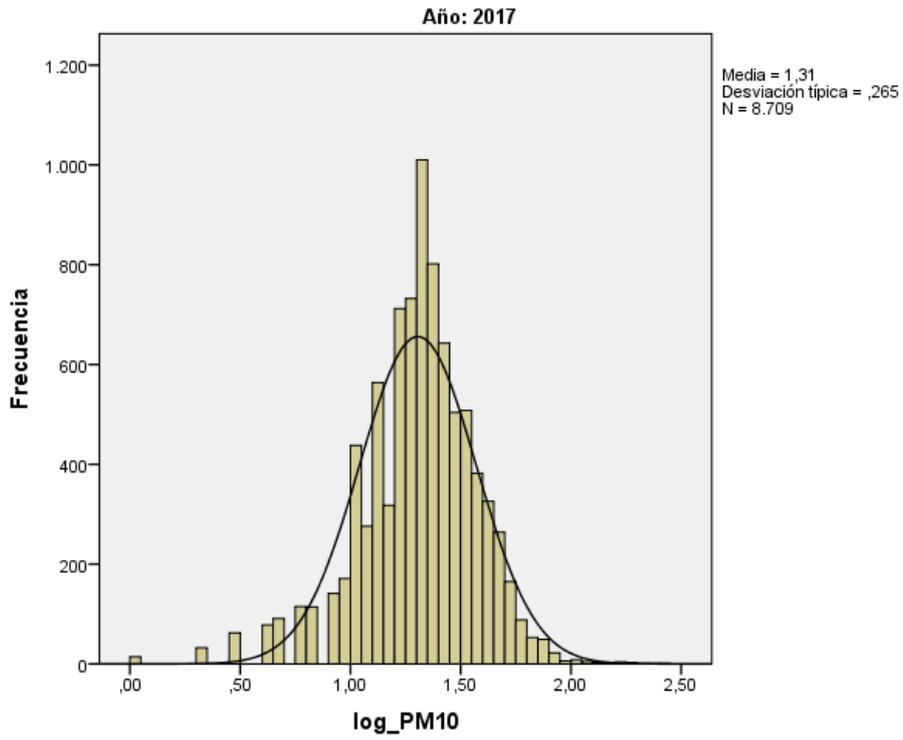


Figura 121. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante PM₁₀ (2017).

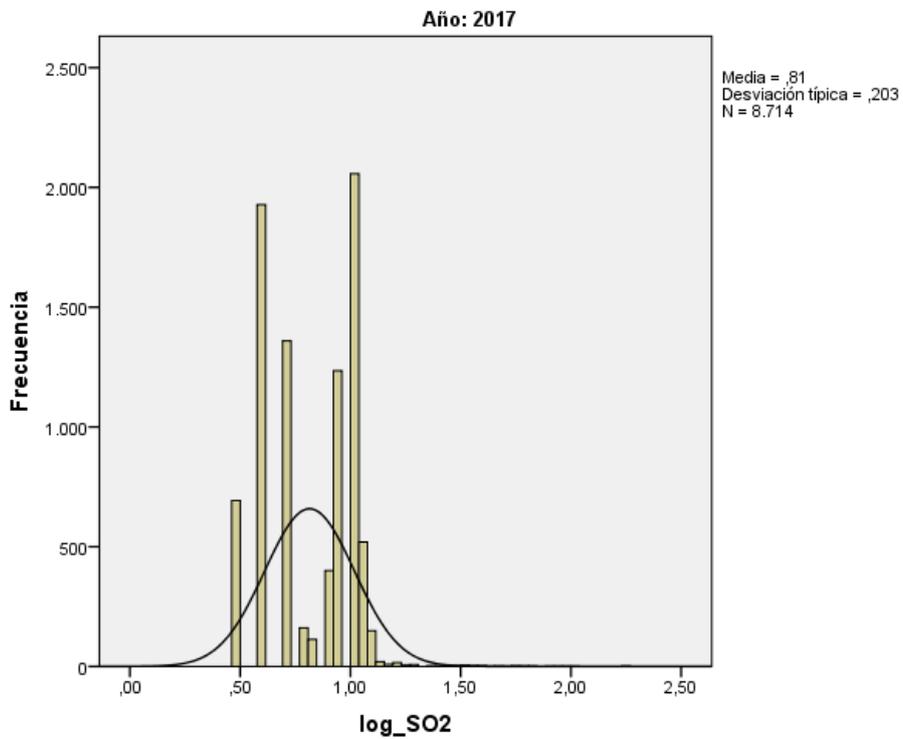


Figura 122. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante SO₂ (2017).

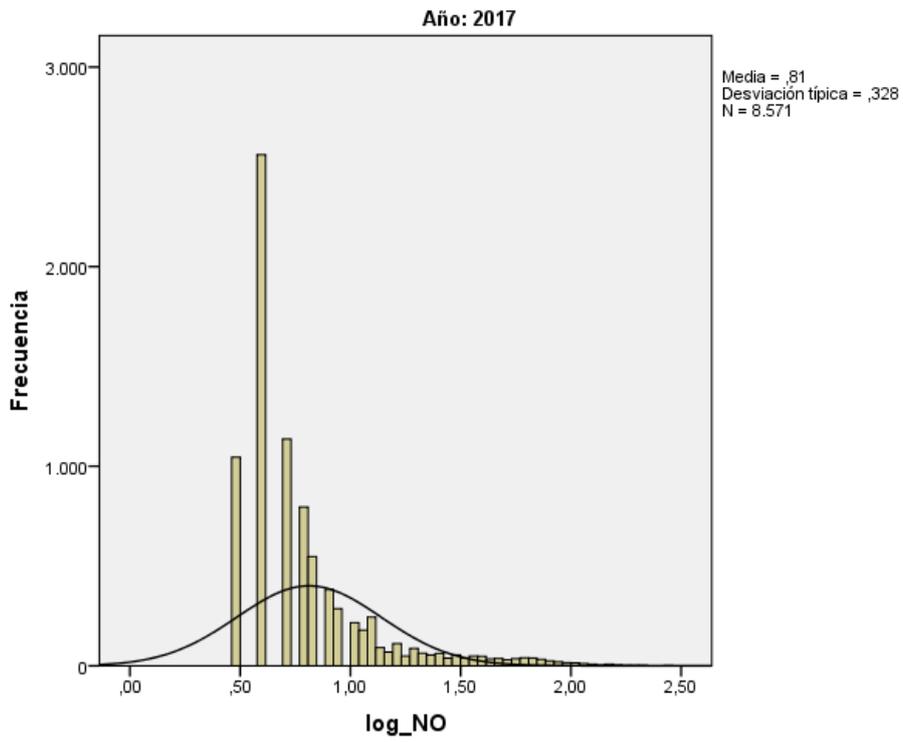


Figura 123.Histograma de la distribución logarítmica del contaminante NO (2017).

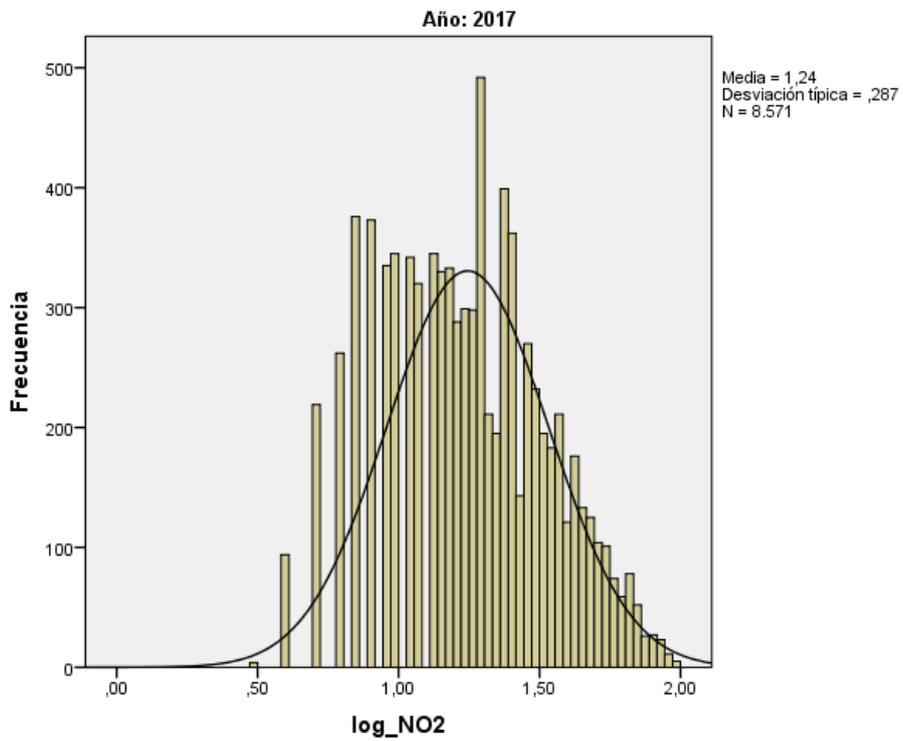


Figura 124.Histograma de la distribución logarítmica del contaminante NO₂ (2017).

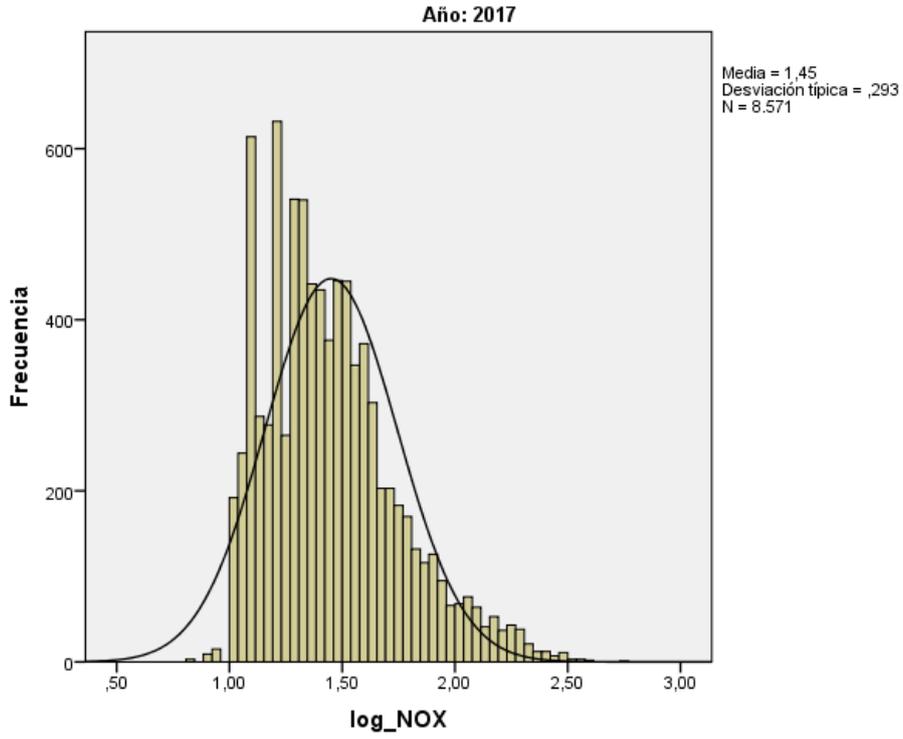


Figura 125.Histograma de la distribución logarítmica del contaminante NO_x (2017).

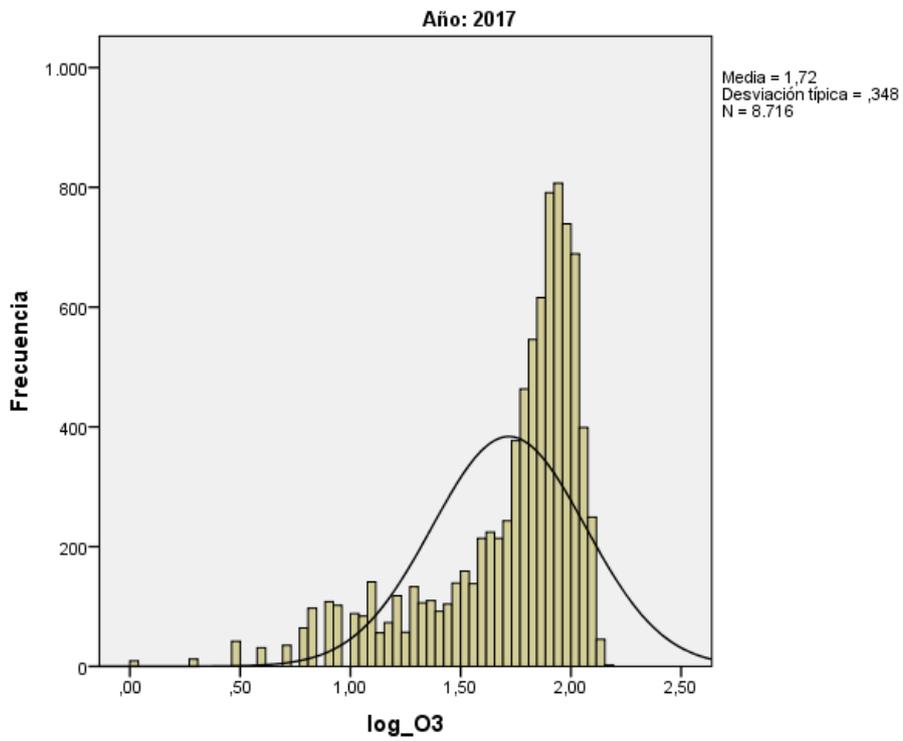


Figura 126.Histograma de la distribución logarítmica del contaminante O₃ (2017).

8.1.3 Año 2018

Tabla 35. Prueba de log normalidad Kolmogorov-Smirnov de los contaminantes (2018).

2018	log_PM ₁₀	log_SO ₂	log_NO	log_NO ₂	log_NO _x	log_O ₃	
N	8240	8461	7751	7751	7751	8663	
Parámetros normales ^{b,c}	Media	1,2679	,6262	,8579	1,1789	1,4360	1,7386
	Desviación típica	,26959	,20959	,30937	,33013	,28823	,32786
Diferencias más extremas	Absoluta	,086	,153	,148	,068	,065	,188
	Positiva	,040	,081	,148	,027	,065	,138
	Negativa	-,086	-,153	-,123	-,068	-,047	-,188
Z de Kolmogorov-Smirnov	7,828	14,108	13,011	5,945	5,718	17,478	
Sig. asintót. (bilateral)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	

En el año 2018 con un nivel de significación de 95% y p-valor $0,000 < 0,05$ en todos los contaminantes, se rechaza la hipótesis de log-normalidad, por lo que no siguen una distribución log-normal.

Se muestran a continuación los histogramas que muestran la distribución de los contaminantes en los que se incluye la curva normal ajustada.

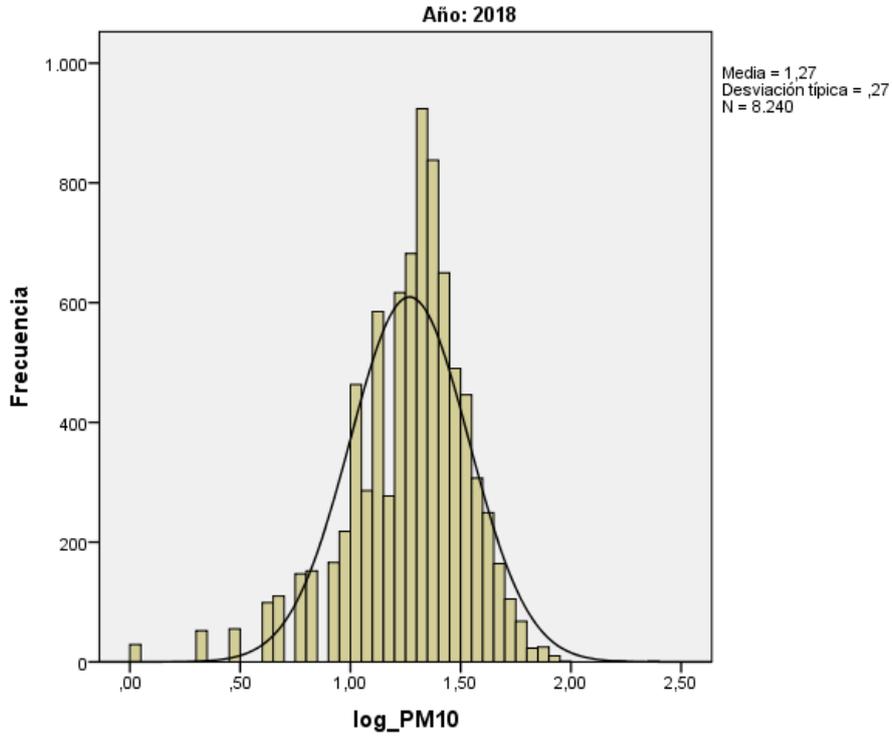


Figura 127. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante PM₁₀ (2018).

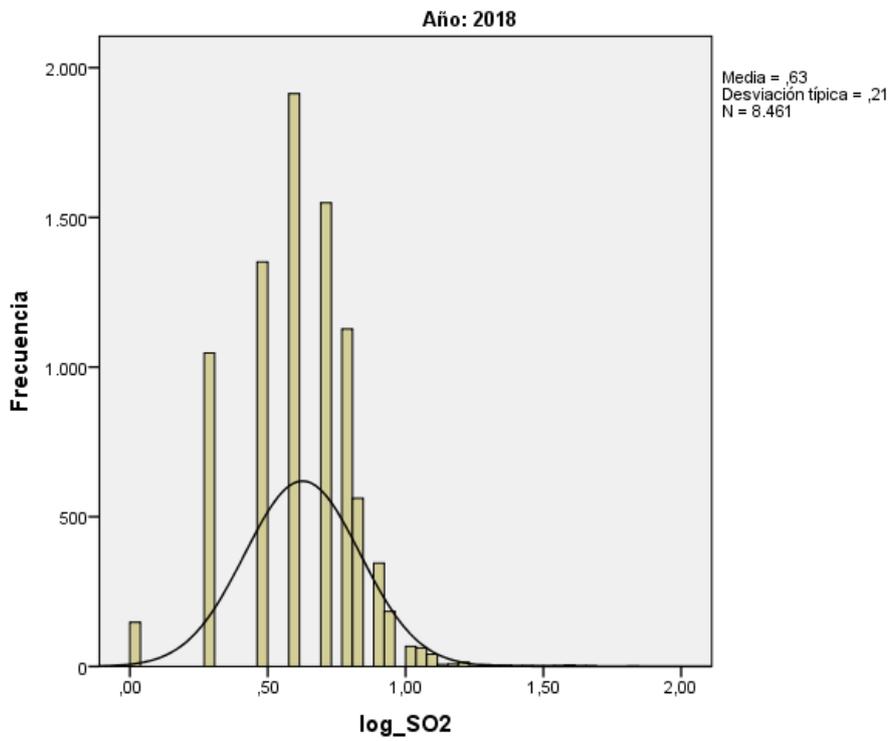


Figura 128. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante SO₂ (2018).

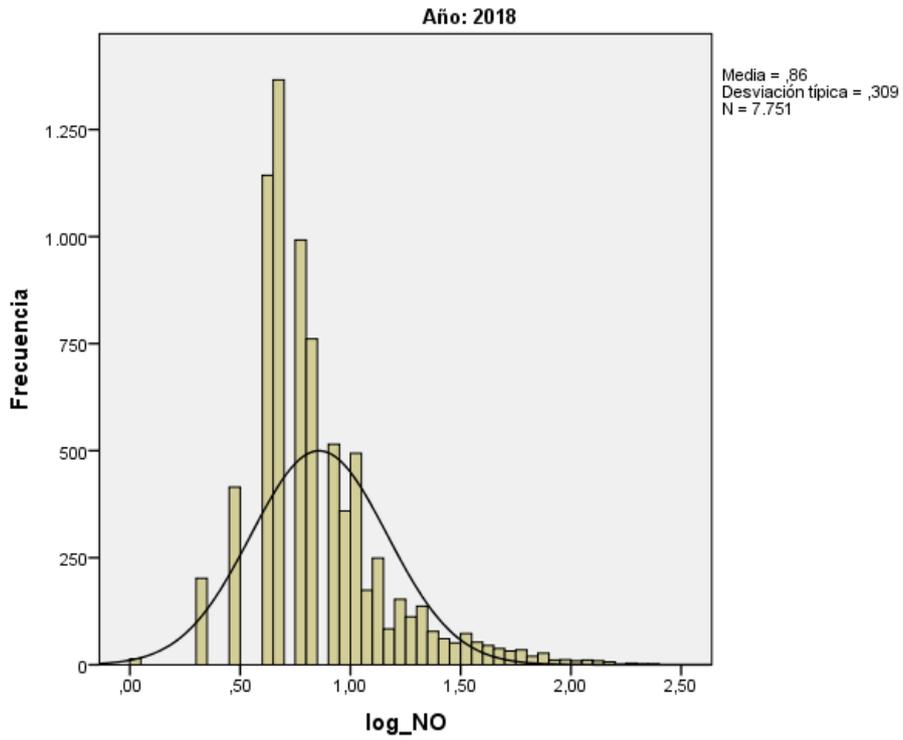


Figura 129. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante NO (2018).

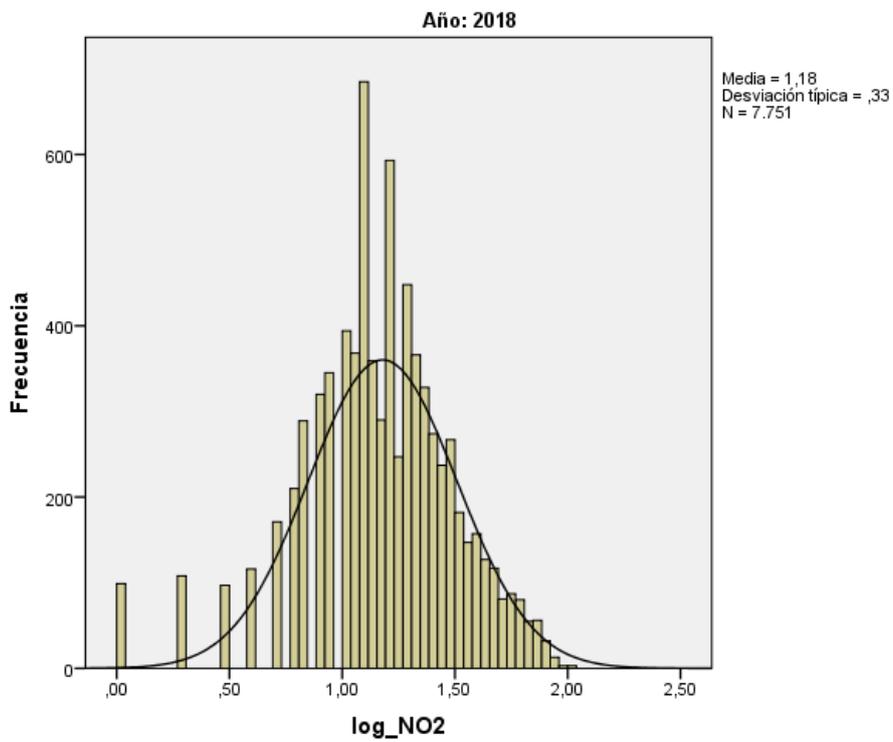


Figura 130. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante NO₂ (2018).

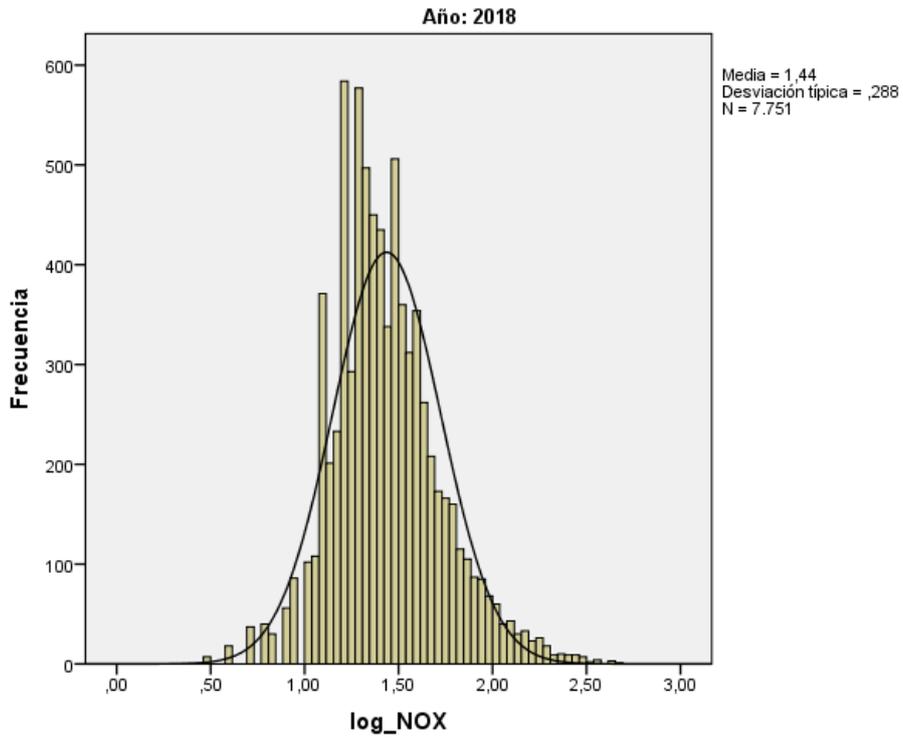


Figura 131. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante NO_x (2018).

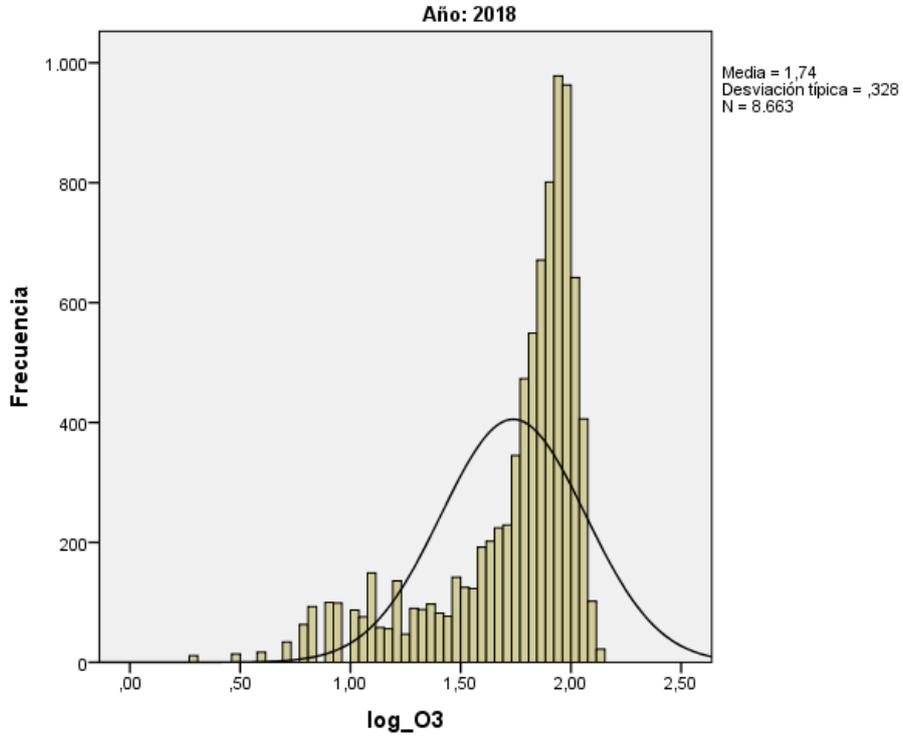


Figura 132. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante O₃ (2018).

8.1.4 Año 2019

Tabla 36. Prueba de log normalidad Kolmogorov-Smirnov de los contaminantes (2019).

2019		log_PM ₁₀	log_SO ₂	log_NO	log_NO ₂	log_NO _x	log_O ₃
N		8678	8542	8658	8638	8655	8533
Parámetros normales ^{b,c}	Media	1,3244	,5827	,7513	1,1077	1,3424	1,7146
	Desviación típica	,24524	,23487	,32994	,30545	,30518	,31866
Diferencias más extremas	Absoluta	,069	,119	,199	,060	,104	,164
	Positiva	,032	,092	,174	,060	,090	,117
	Negativa	-,069	-,119	-,199	-,058	-,104	-,164
Z de Kolmogorov-Smirnov		6,383	11,037	18,505	5,545	9,705	15,162
Sig. asintót. (bilateral)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

En el año 2019 con un nivel de significación de 95% y p-valor $0,000 < 0,05$ en todos los contaminantes, se rechaza la hipótesis de log-normalidad, por lo que no siguen una distribución log-normal.

Se muestran a continuación los histogramas que muestran la distribución de los contaminantes en los que se incluye la curva normal ajustada.

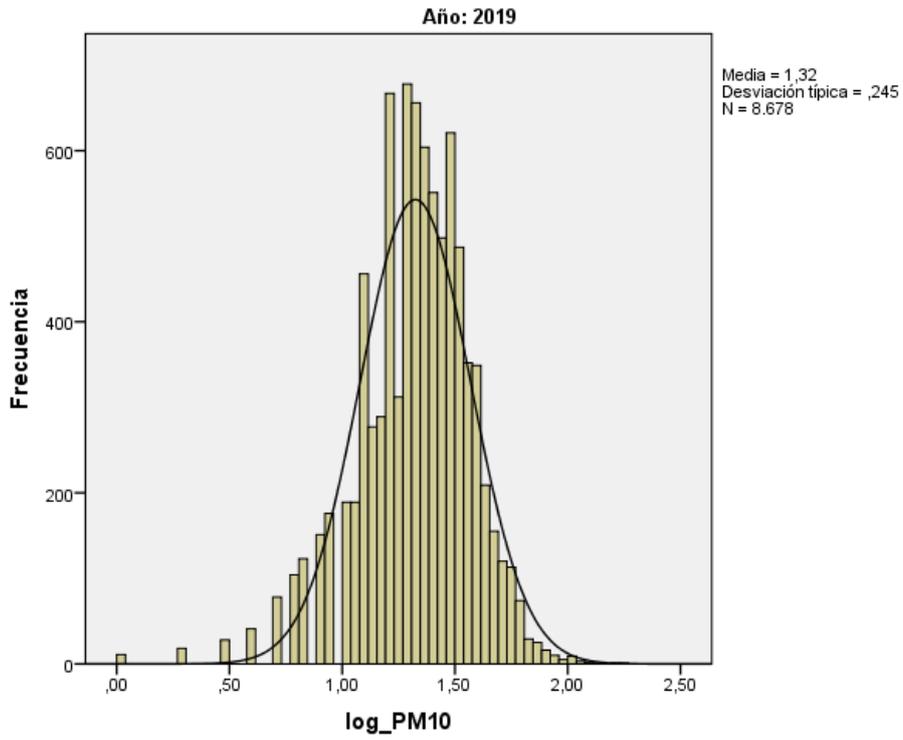


Figura 133. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante PM₁₀ (2019).

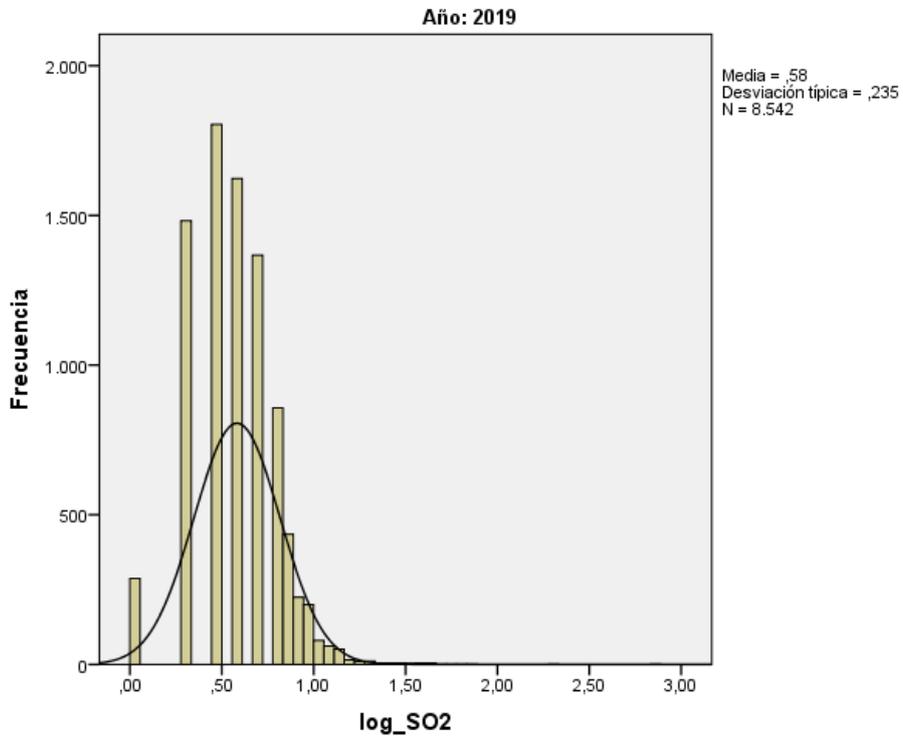


Figura 134. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante SO₂ (2019).

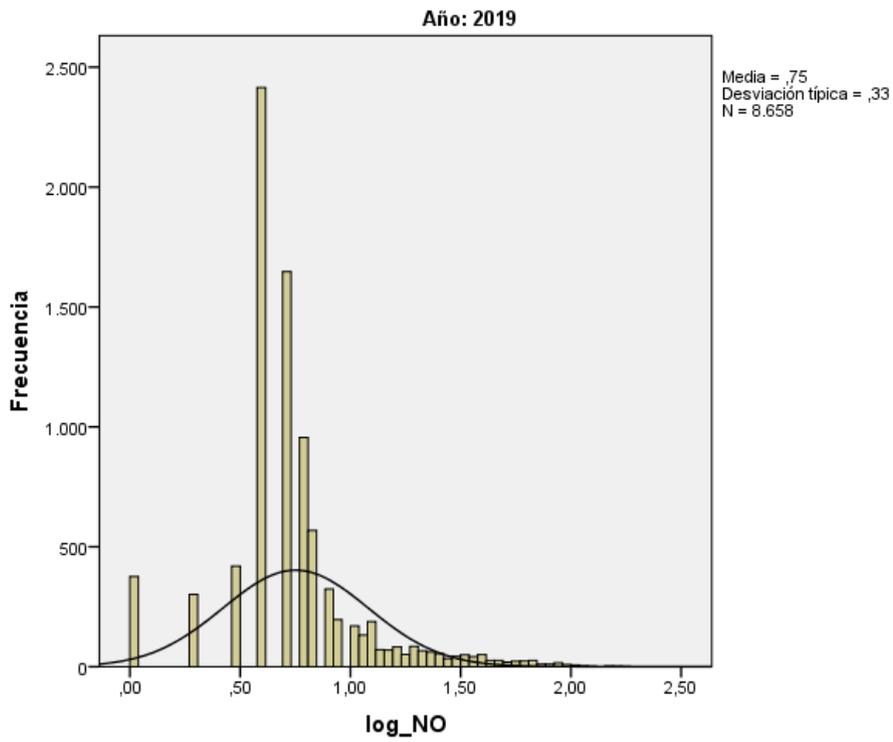


Figura 135. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante NO (2019).

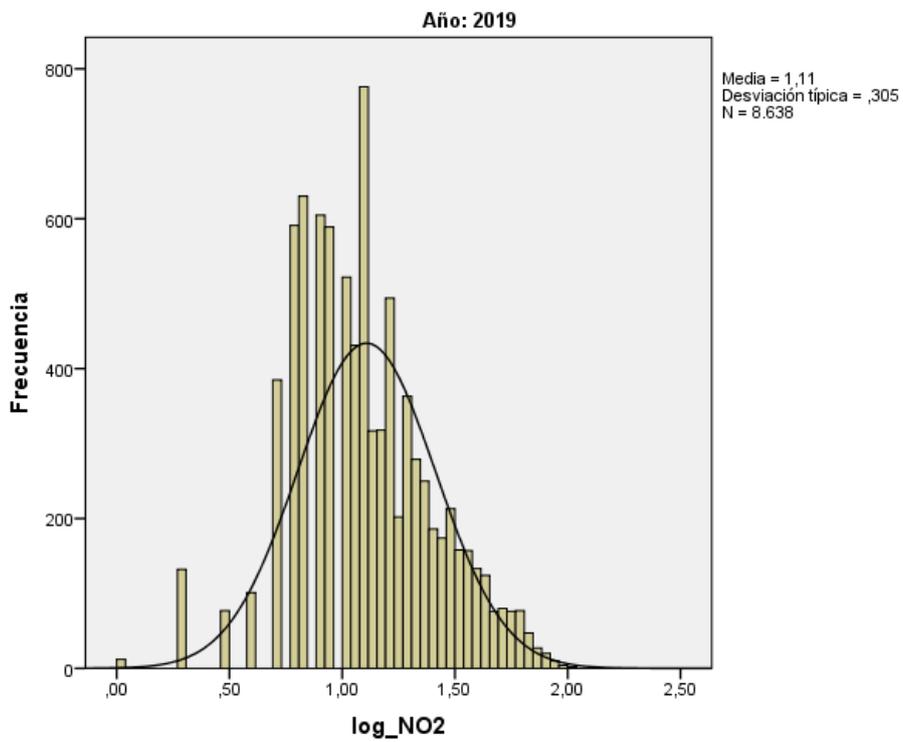


Figura 136. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante NO₂ (2019).

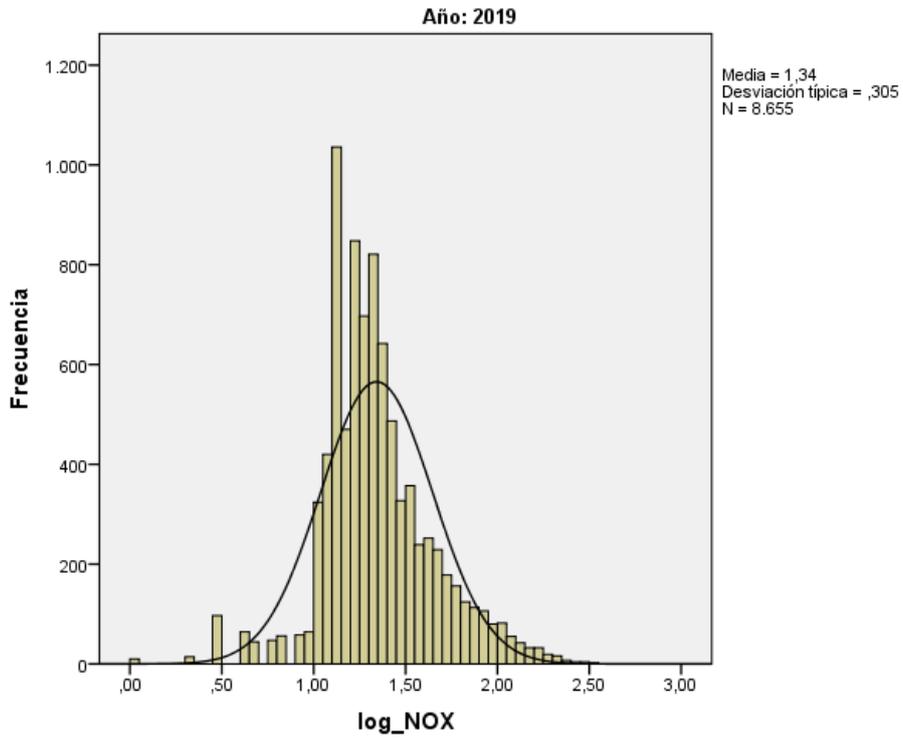


Figura 137. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante NO_x (2019).

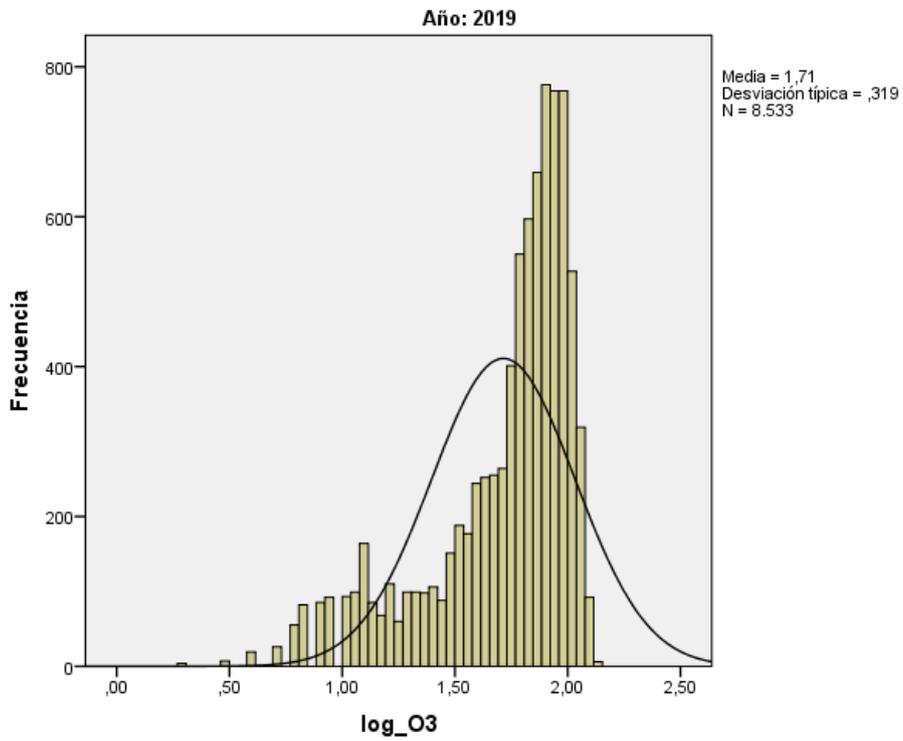


Figura 138. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante O₃ (2019).

8.1.5 Año 2020

Tabla 37. Prueba de log normalidad Kolmogorov-Smirnov de los contaminantes (2020).

2020	log_PM ₁₀	log_SO ₂	log_NO	log_NO ₂	log_NO _x	log_O ₃	
N	8569	8642	8593	8592	8592	8635	
Parámetros normales ^{b,c}	Media	1,3167	,6225	,4002	,8719	1,0496	1,5541
	Desviación típica	,24553	,23343	,41708	,45717	,44889	,43084
Diferencias más extremas	Absoluta	,060	,170	,188	,133	,101	,193
	Positiva	,047	,091	,188	,133	,093	,145
	Negativa	-,060	-,170	-,169	-,106	-,101	-,193
Z de Kolmogorov-Smirnov	5,588	15,775	17,444	12,300	9,369	17,915	
Sig. asintót. (bilateral)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	

En el año 2020 con un nivel de significación de 95% y p-valor $0,000 < 0,05$ en todos los contaminantes, se rechaza la hipótesis de log-normalidad, por lo que no siguen una distribución log-normal.

Se muestran a continuación los histogramas que muestran la distribución de los contaminantes en los que se incluye la curva normal ajustada.

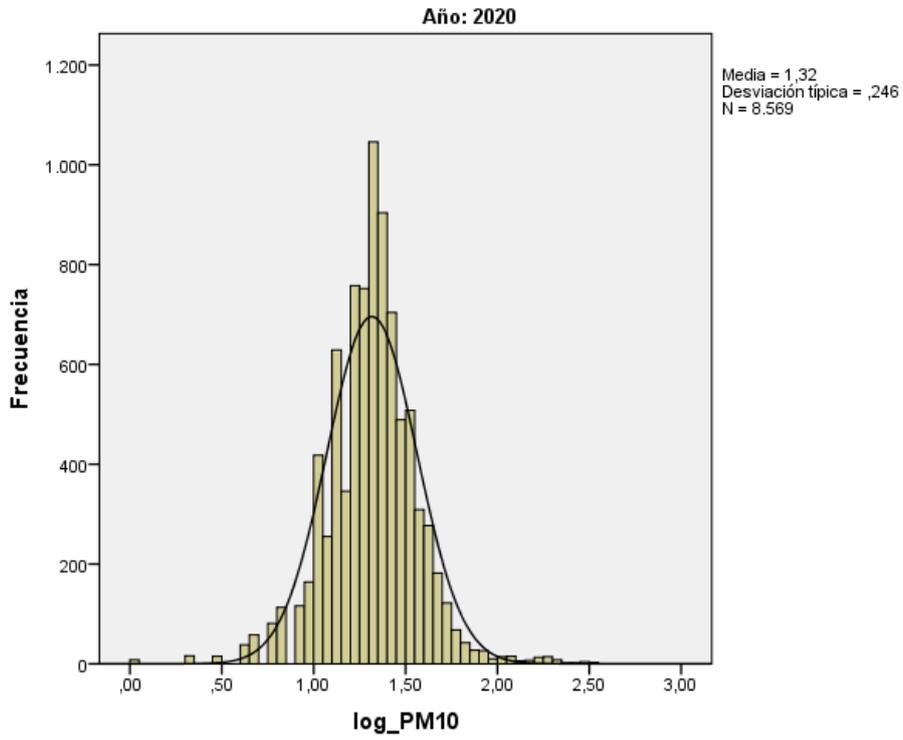


Figura 139. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante PM₁₀ (2020).

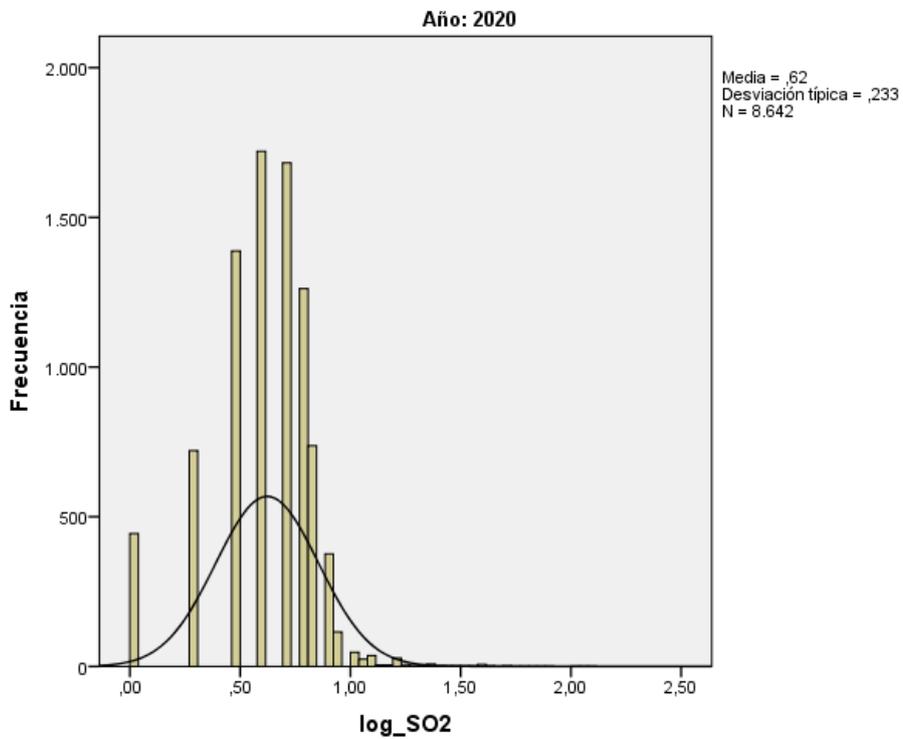


Figura 140. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante SO₂ (2020).

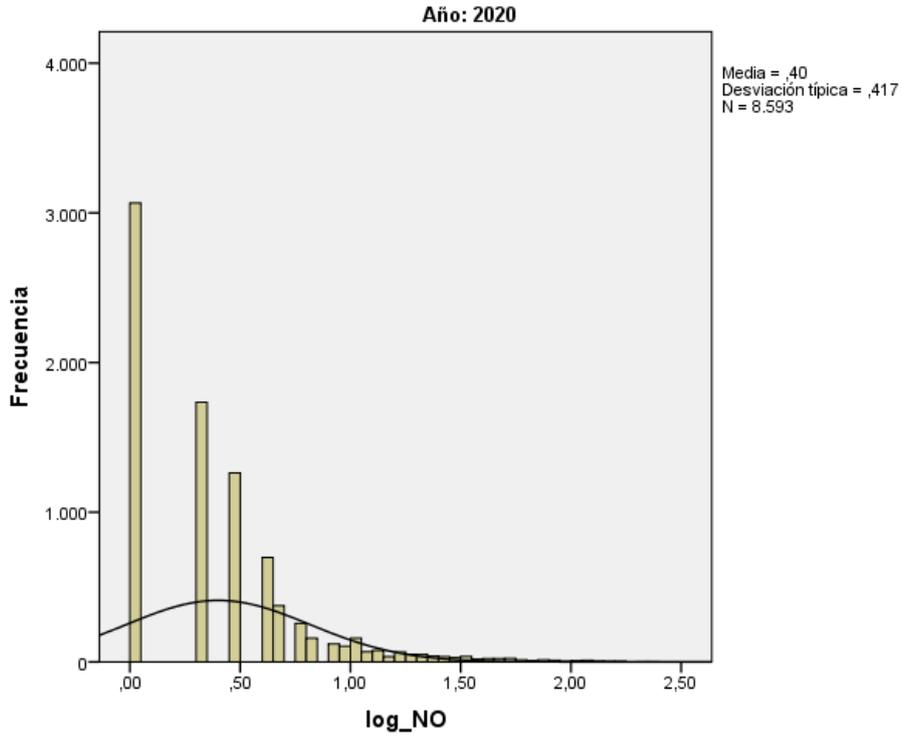


Figura 141. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante NO (2020).

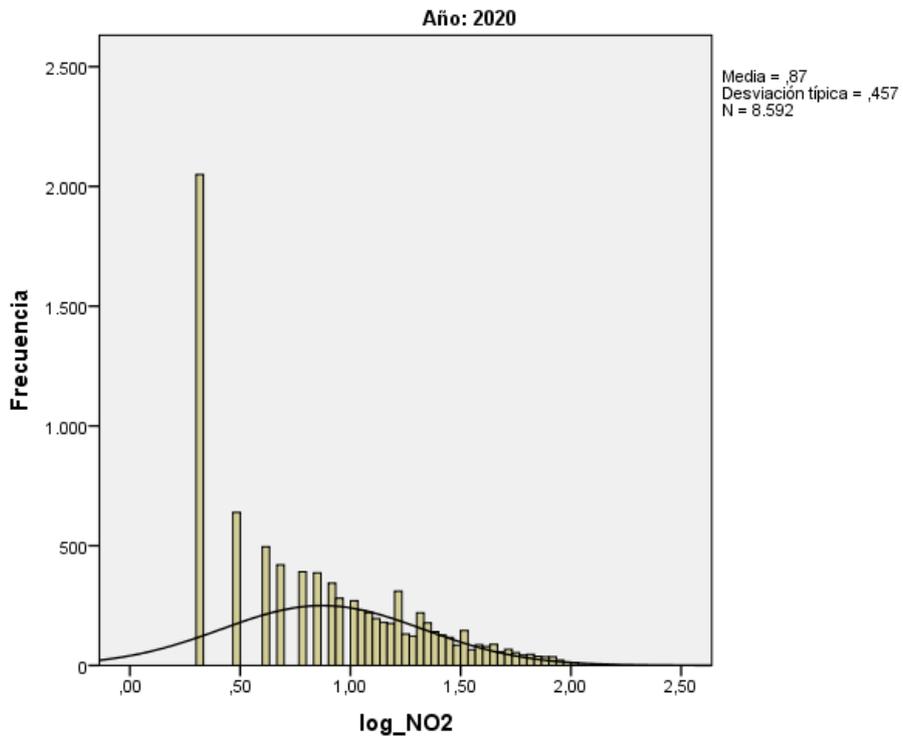


Figura 142. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante NO₂ (2020).

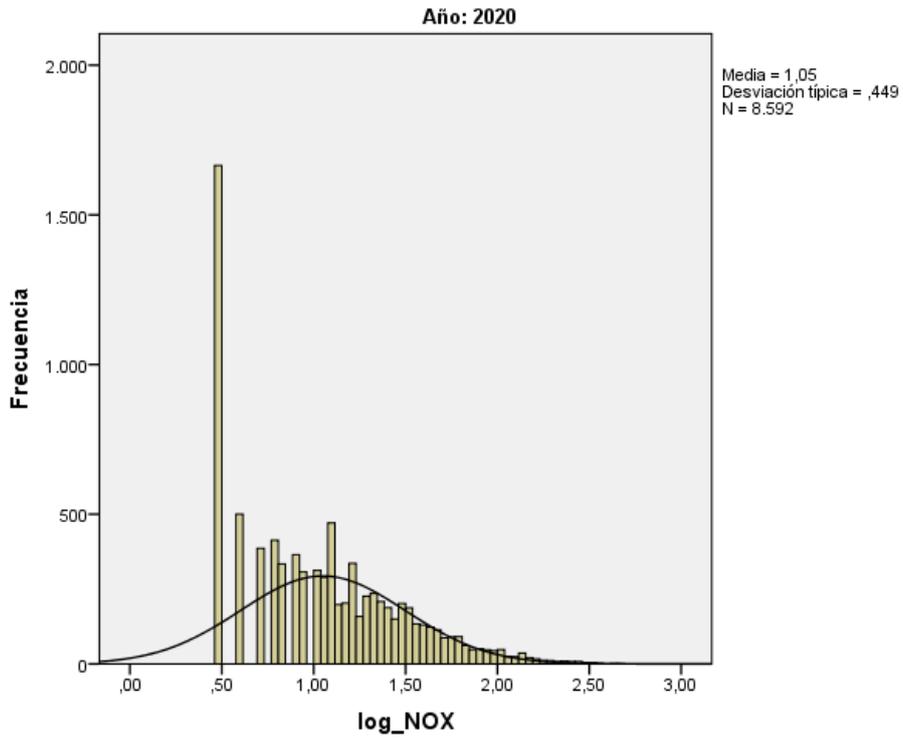


Figura 143. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante NO_x (2020).

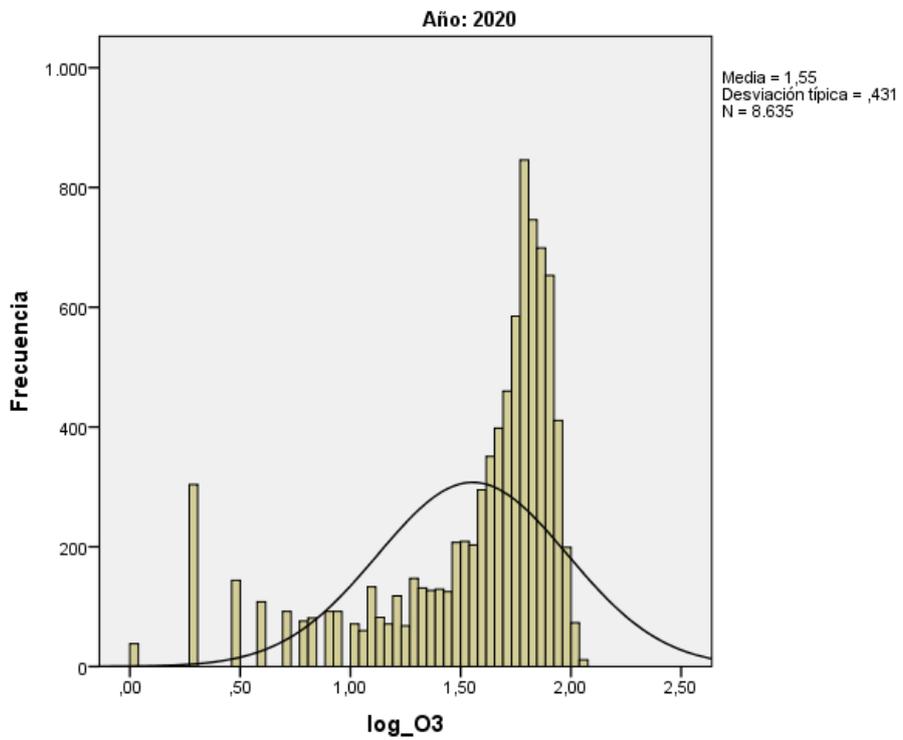


Figura 144. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante O₃ (2020).

8.1.6 Totales

Tabla 38. Prueba de log normalidad Kolmogorov-Smirnov de los contaminantes.

TOTALES	log_PM ₁₀	log_SO ₂	log_NO	log_NO ₂	log_NO _x	log_O ₃
N	42721	42384	41909	41888	41905	43093
Parámetros normales ^{a,b}						
Media	1,3078	,6910	,7081	1,1296	1,3411	1,6838
Desviación típica	,25843	,22750	,39736	,36424	,36919	,36259
Diferencias más extremas						
Absoluta	,071	,125	,121	,055	,072	,175
Positiva	,037	,054	,121	,046	,041	,126
Negativa	-,071	-,125	-,109	-,055	-,072	-,175
Z de Kolmogorov-Smirnov	14,730	25,689	24,821	11,257	14,697	36,237
Sig. asintót. (bilateral)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Con un nivel de significación de $0,000 < 0,05$ en todos los contaminantes durante todos los años en su conjunto, se rechaza la hipótesis de log-normalidad, por lo que no siguen una distribución log-normal.

Se muestran a continuación los histogramas que muestran la distribución de los contaminantes en los que se incluye la curva normal ajustada.

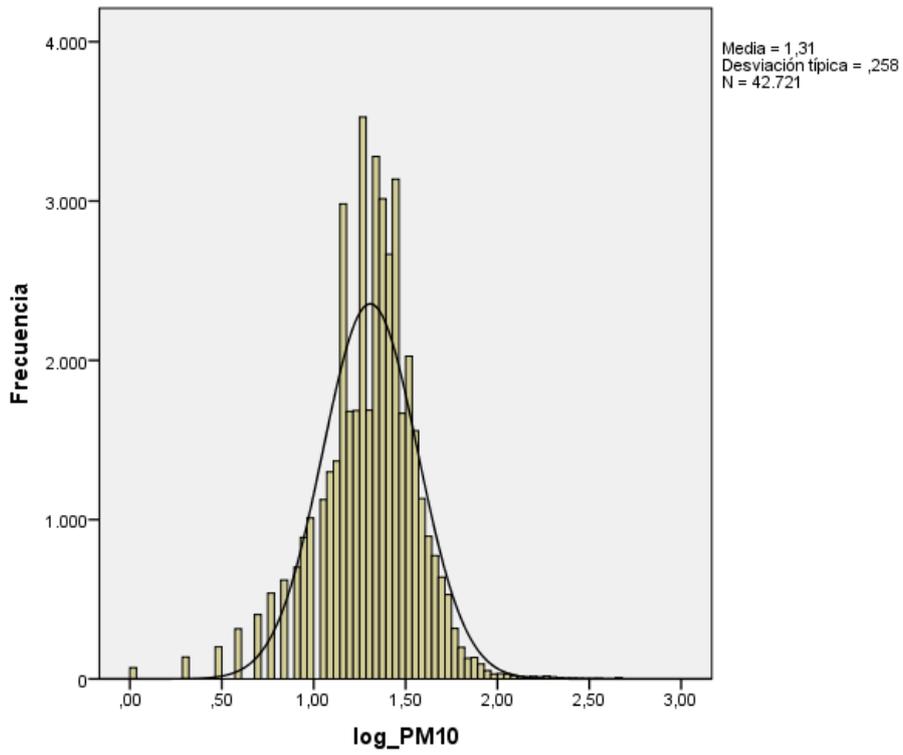


Figura 145. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante PM₁₀.

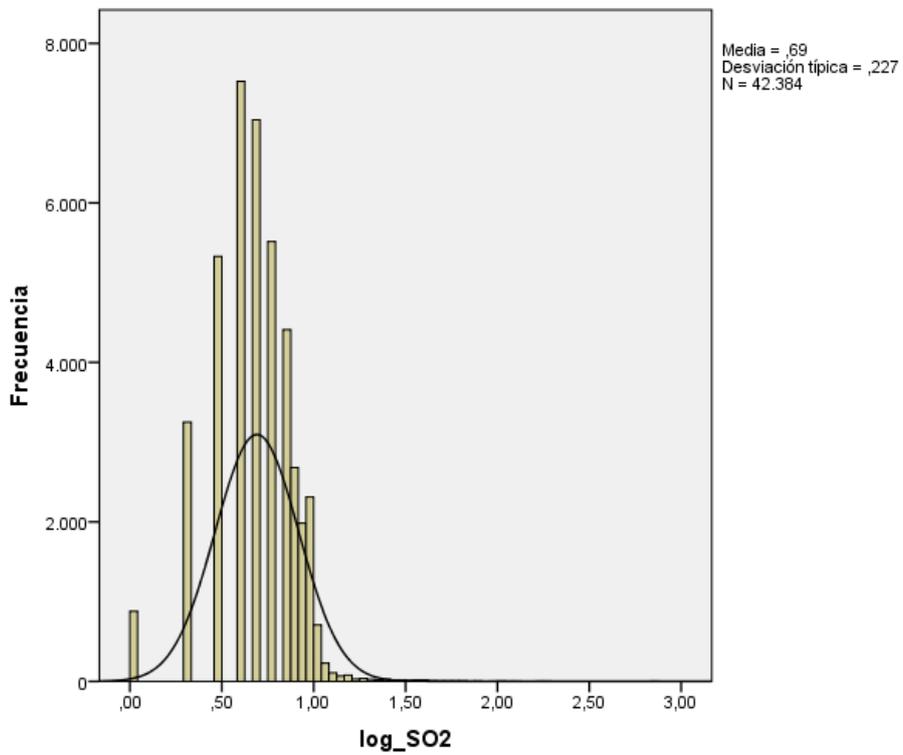


Figura 146. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante SO₂.

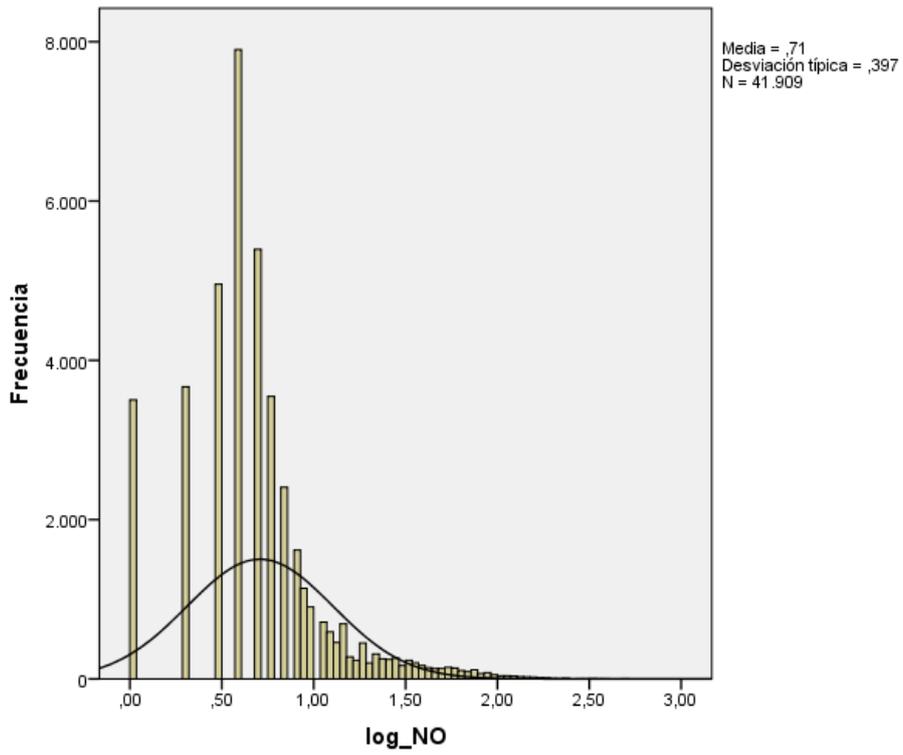


Figura 147. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante NO.

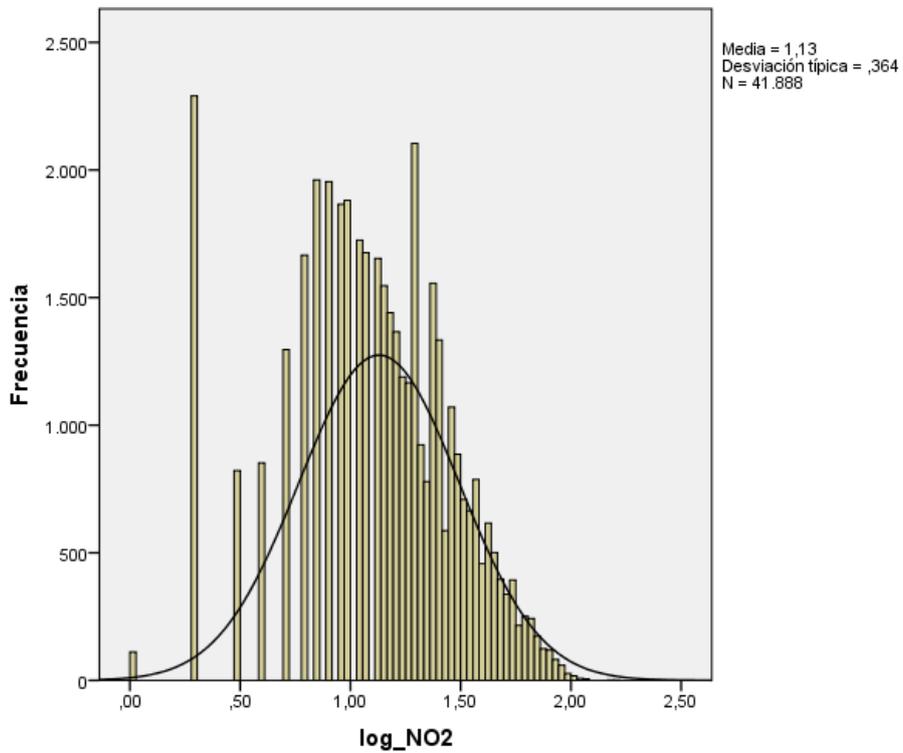


Figura 148. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante NO₂.

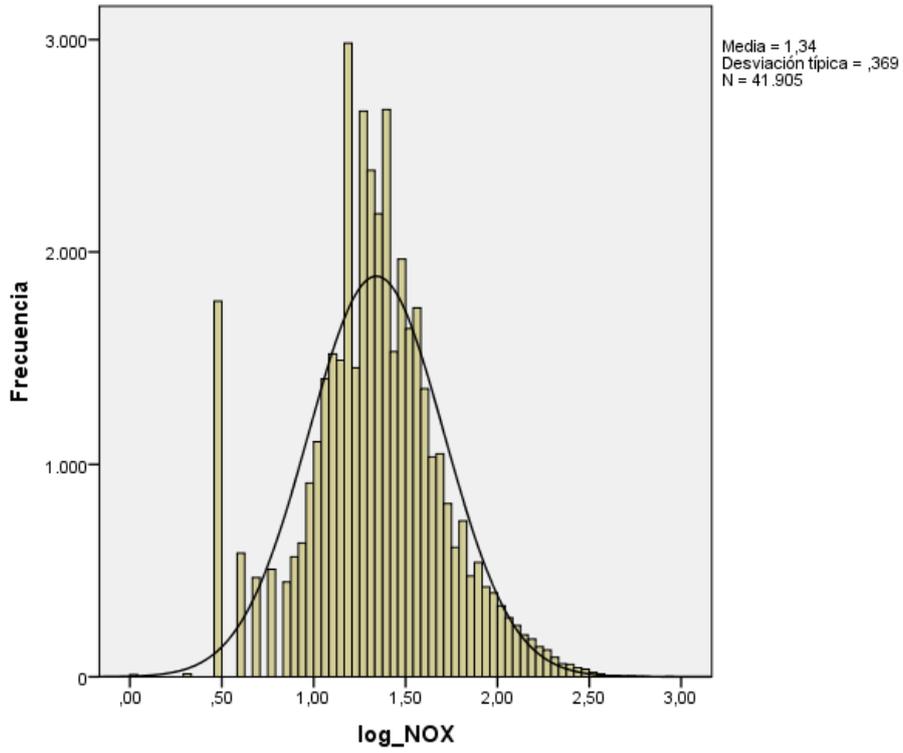


Figura 149. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante NO_x.

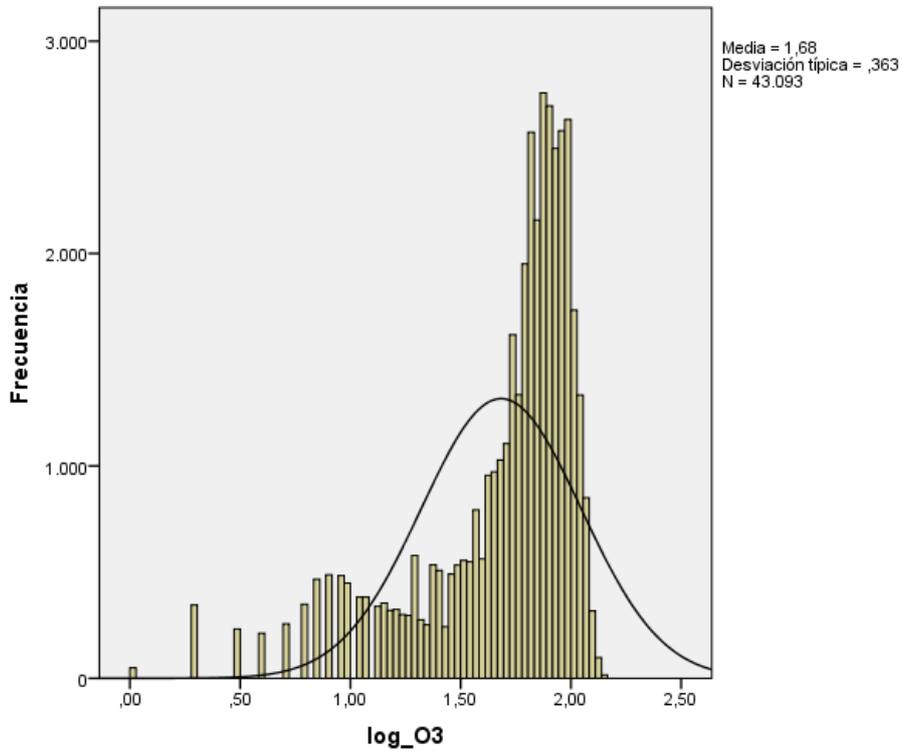


Figura 150. Histograma de la distribución logarítmica del contaminante O₃.

8.2 Gráficas de error diarias de los contaminantes según el año

A continuación, se muestran las graficas de barras de error diarias de cada contaminante según el año de estudio.

8.2.1 Año 2016

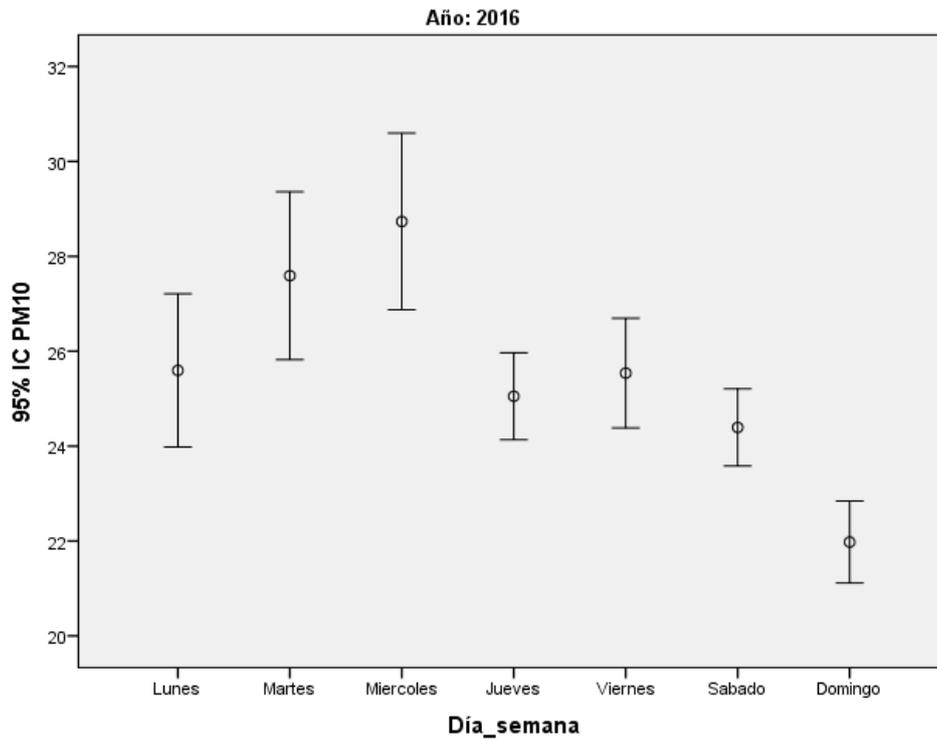


Figura 151. Barras de error diarias del contaminante PM₁₀ (2016).

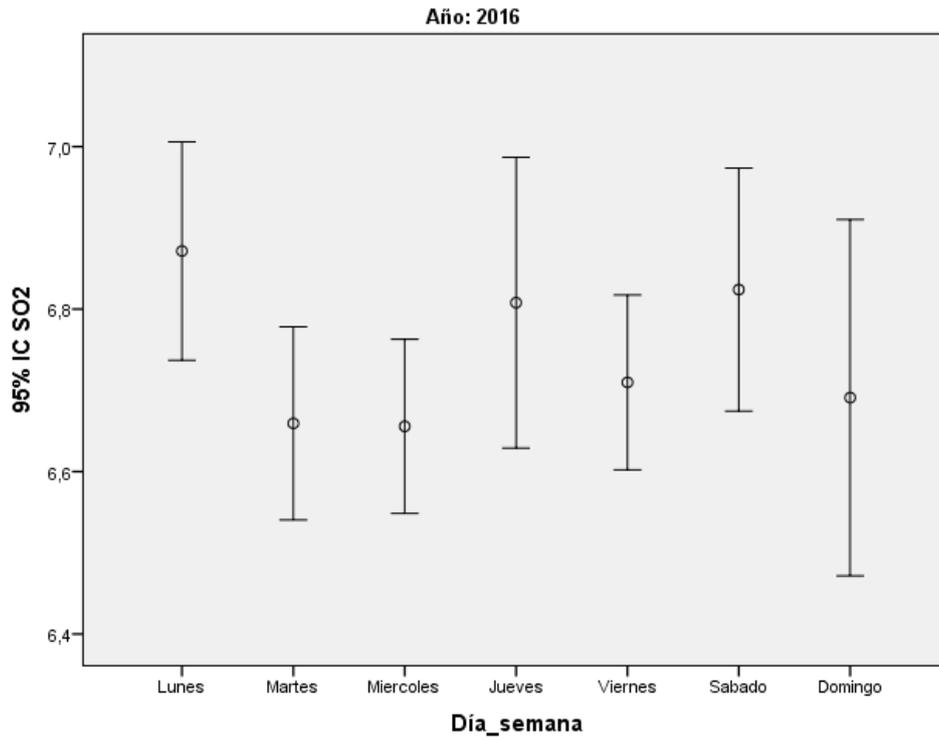


Figura 152. Barras de error diarias del contaminante SO₂ (2016).

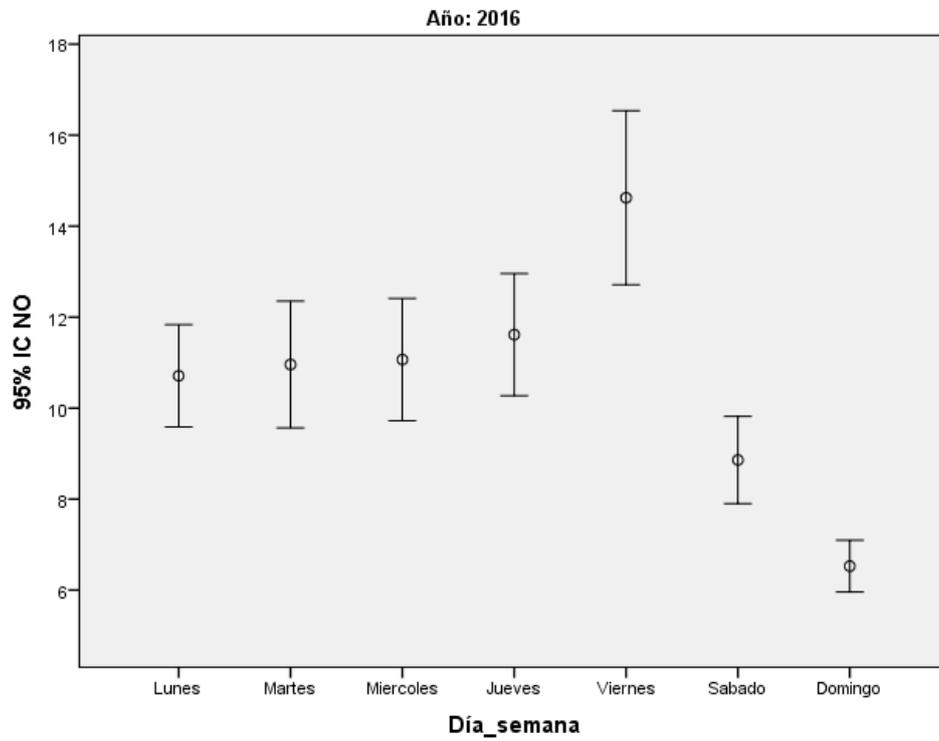


Figura 153. Barras de error diarias del contaminante NO (2016).

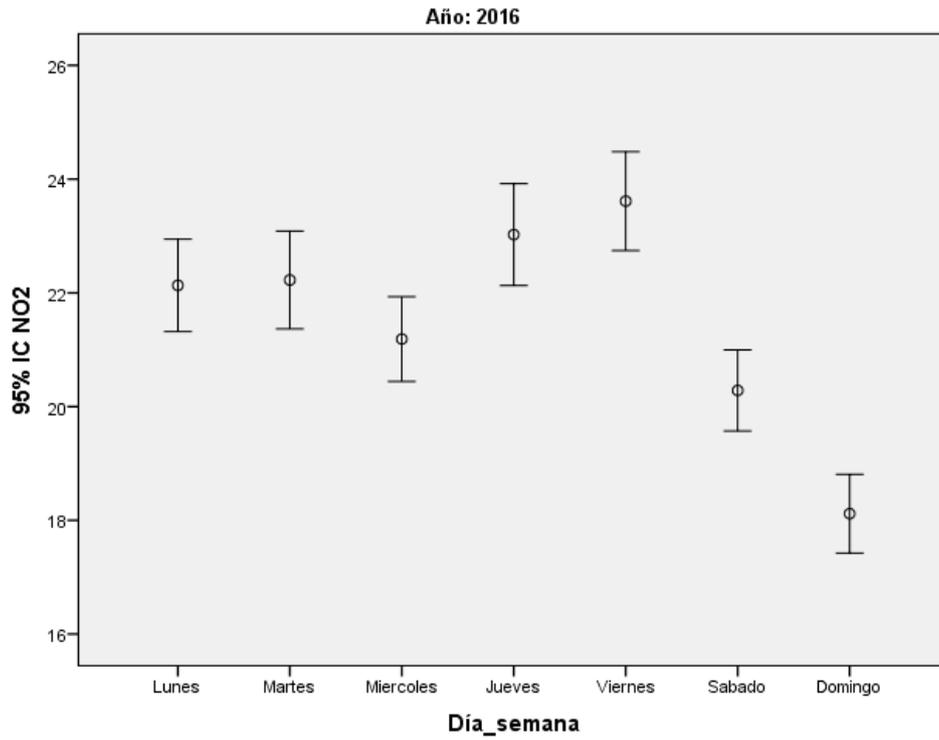


Figura 155. Barras de error diarias del contaminante NO₂ (2016).

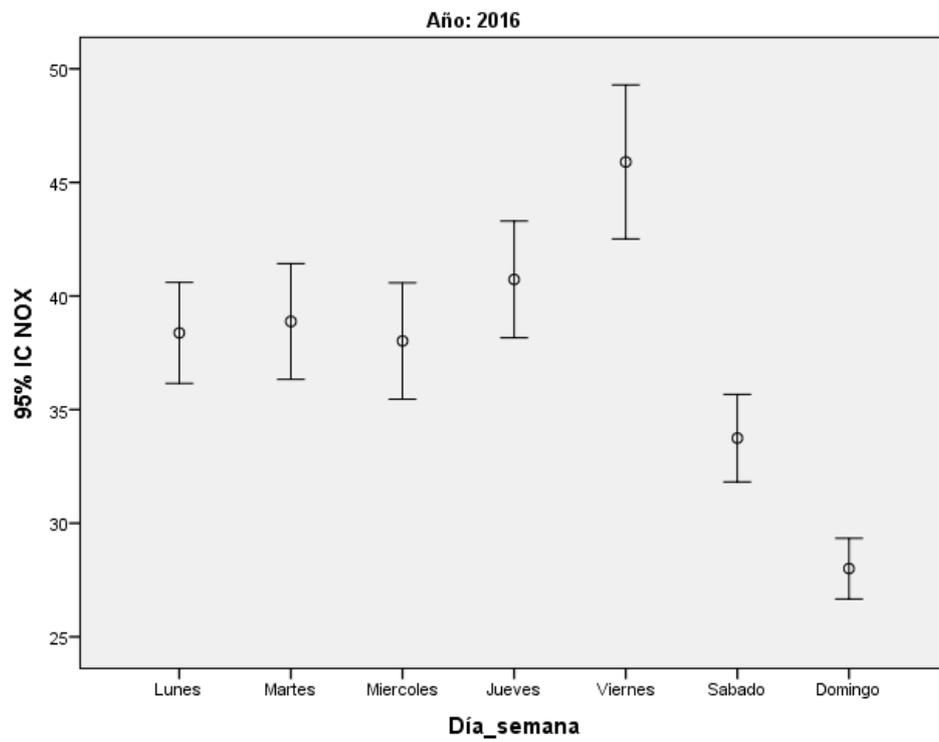


Figura 156. Barras de error diarias del contaminante NO_x (2016).

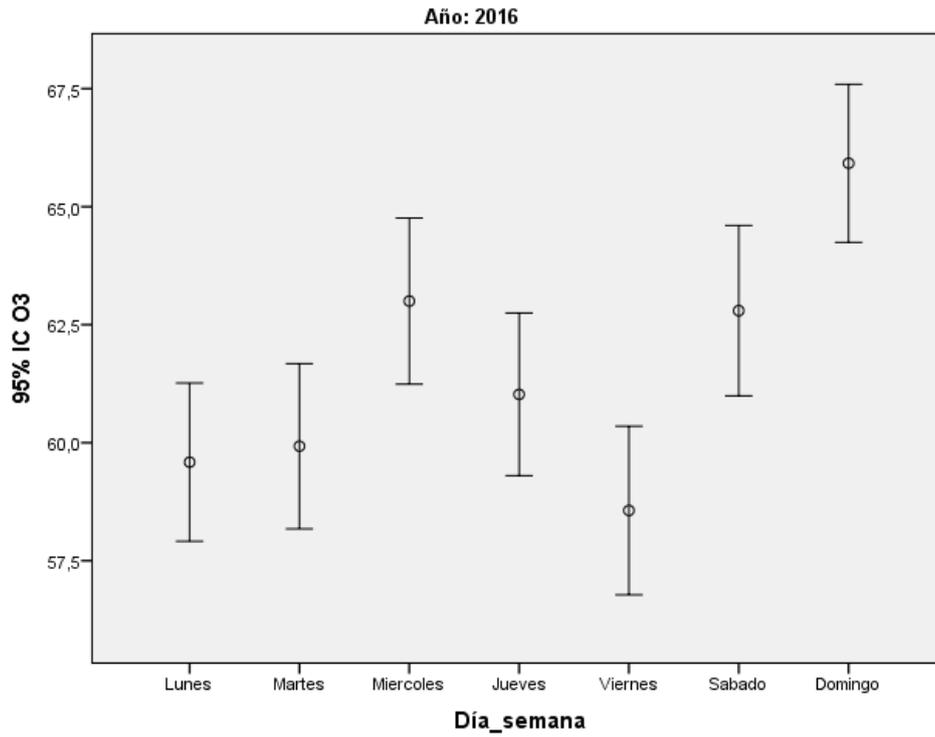


Figura 157. Barras de error diarias del contaminante O₃ (2016).

8.2.2 Año 2017

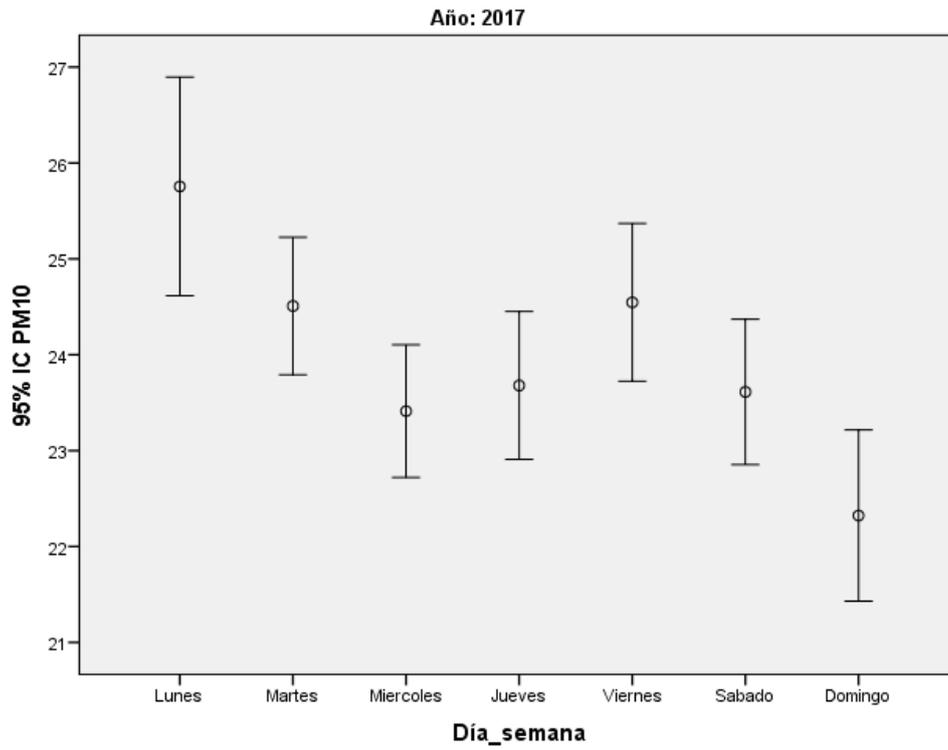


Figura 158. Barras de error diarias del contaminante PM₁₀ (2017).

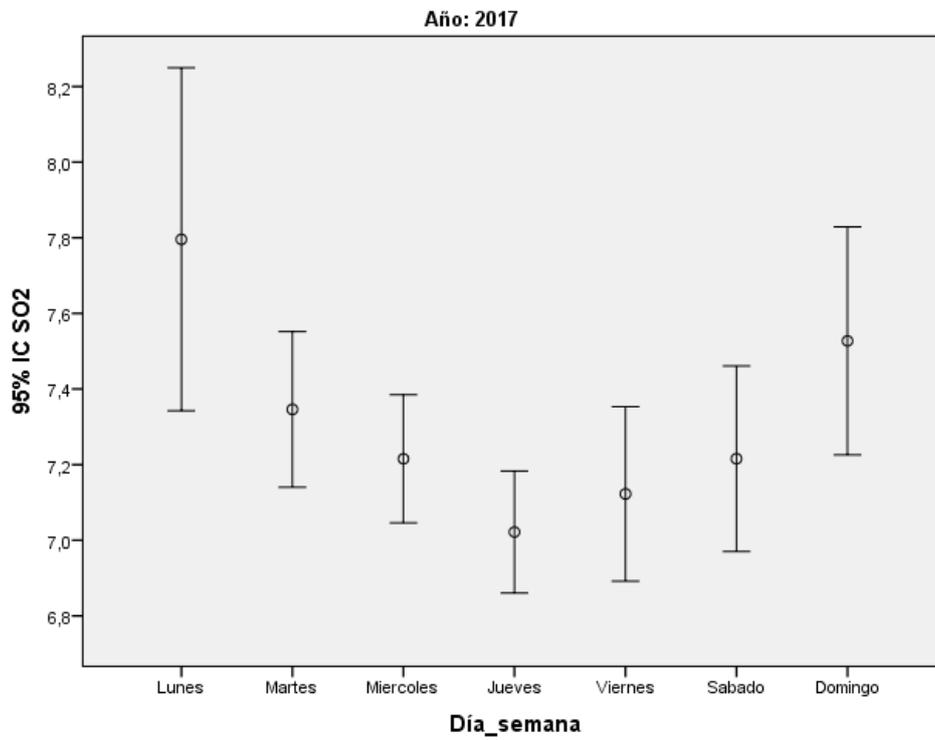


Figura 159. Barras de error diarias del contaminante SO₂ (2017).

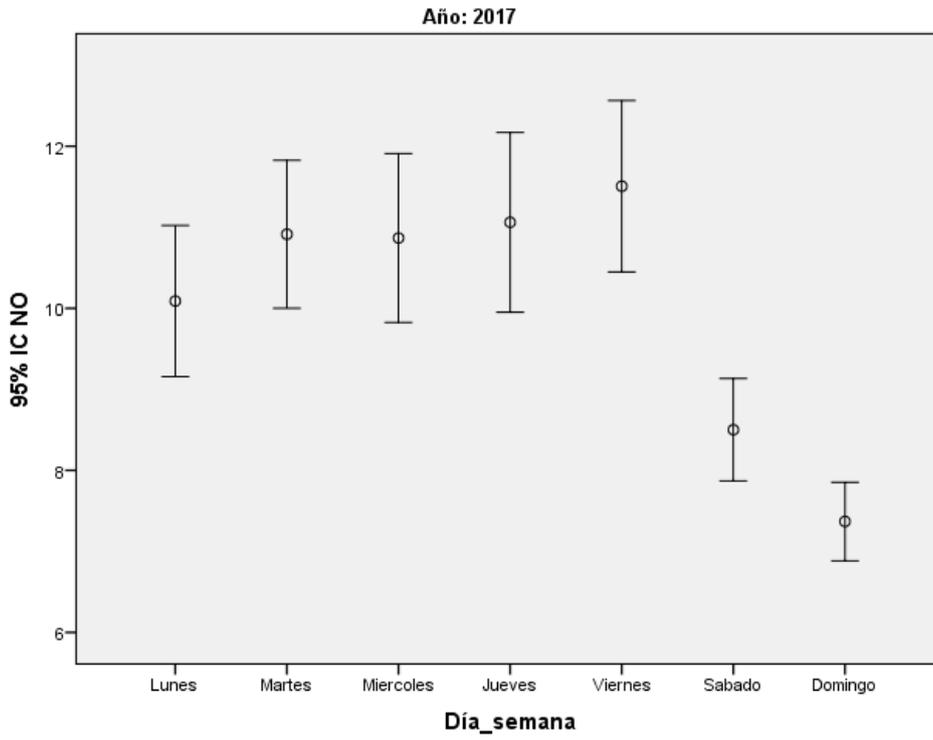


Figura 160. Barras de error diarias del contaminante NO (2017).

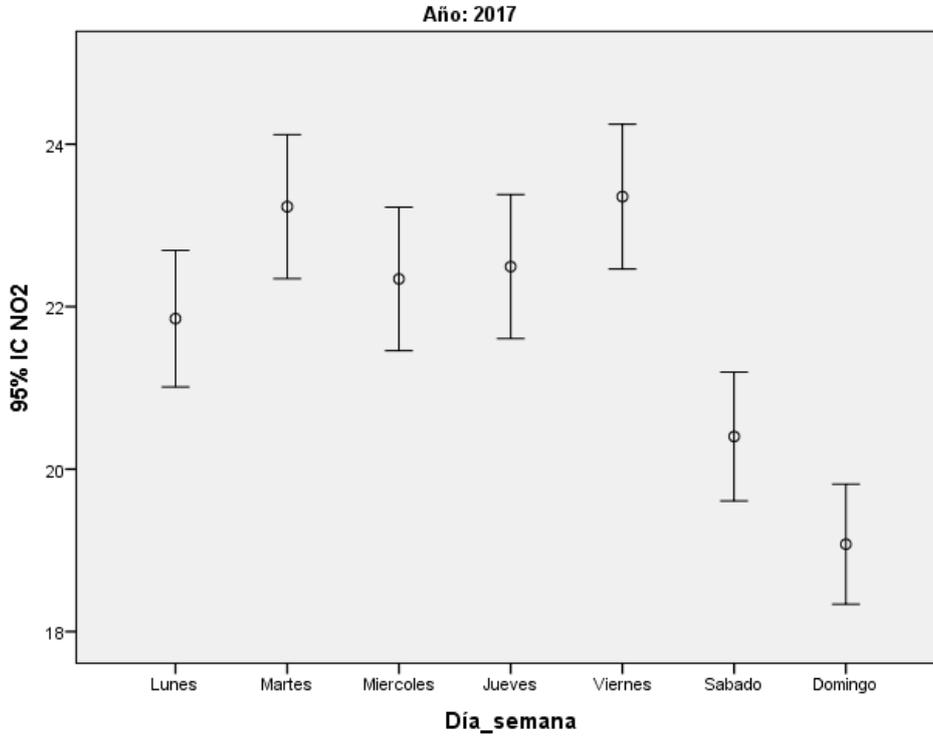


Figura 161. Barras de error diarias del contaminante NO₂ (2017).

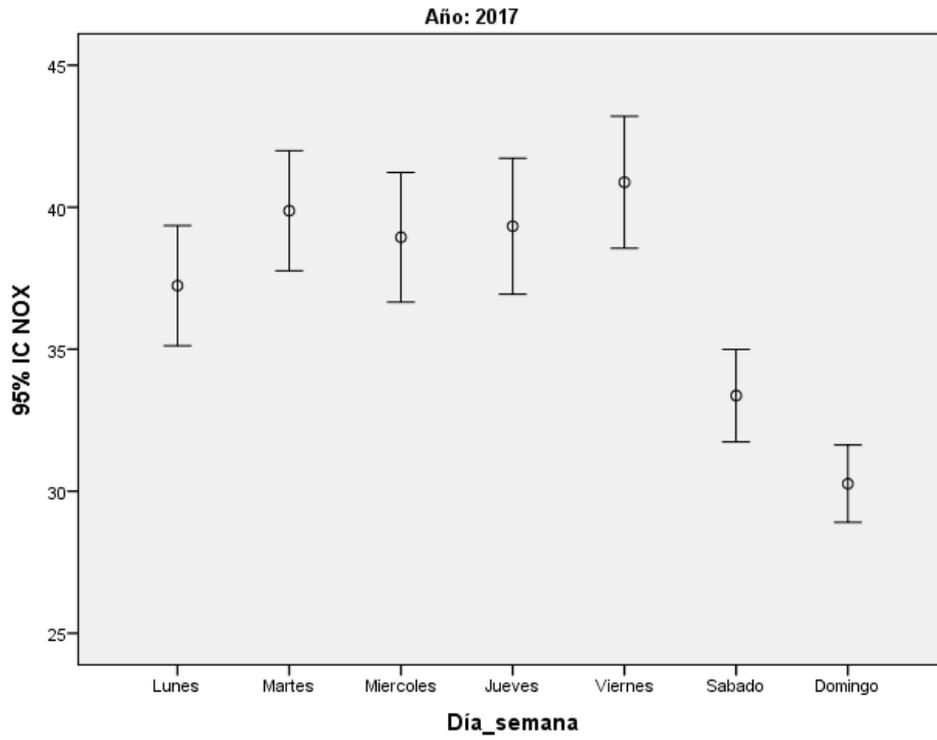


Figura 162. Barras de error diarias del contaminante NO_x (2017).

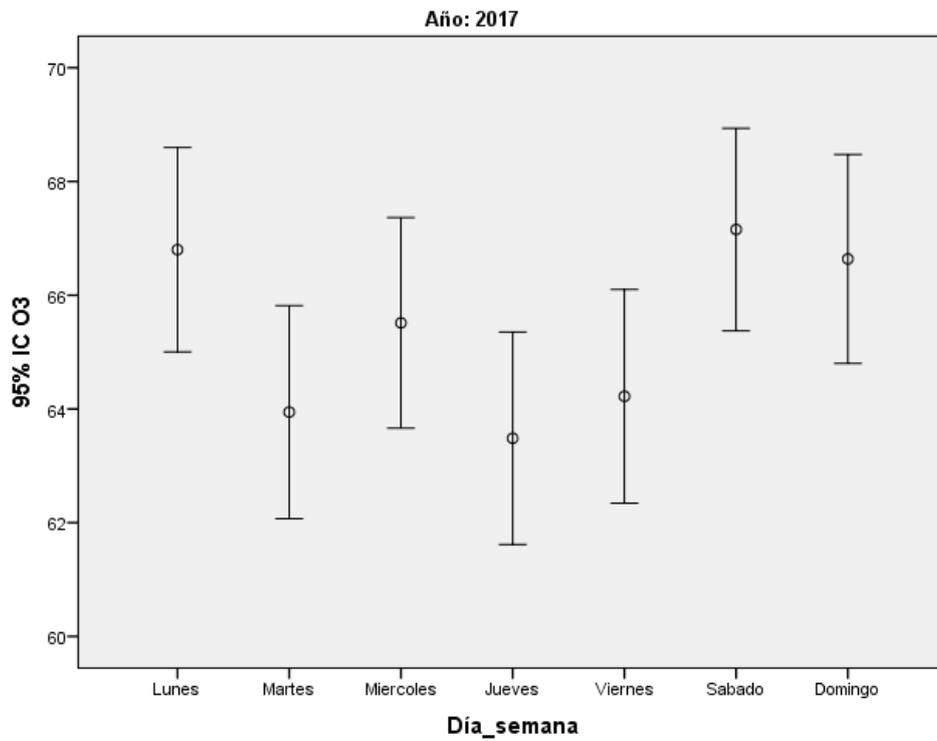


Figura 163. Barras de error diarias del contaminante O₃ (2017).

8.2.3 Año 2018

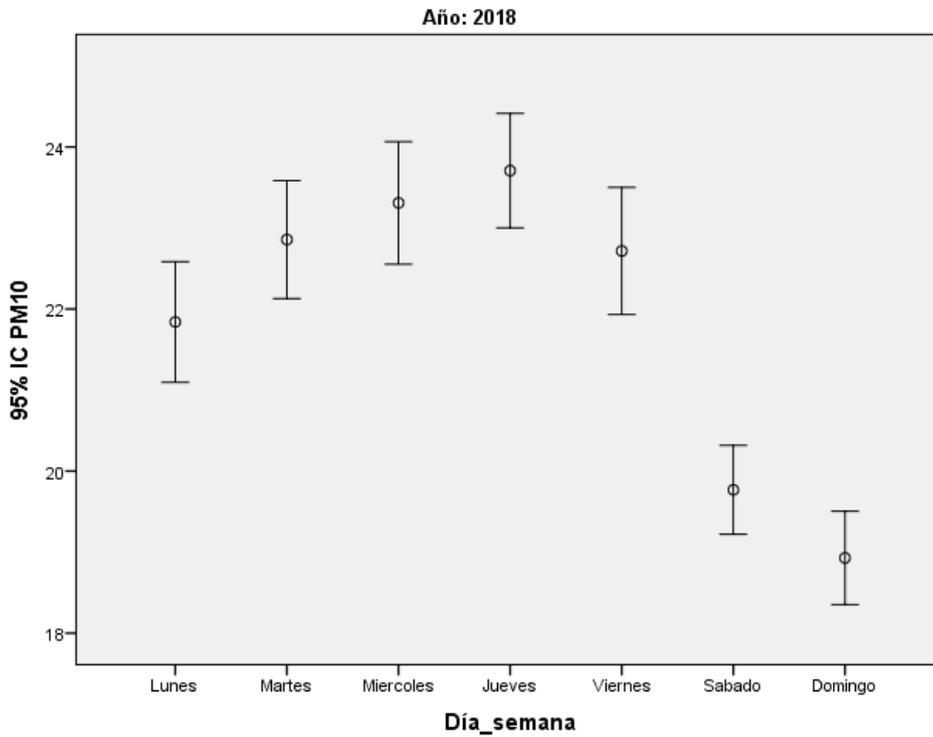


Figura 164. Barras de error diarias del contaminante PM₁₀ (2018).

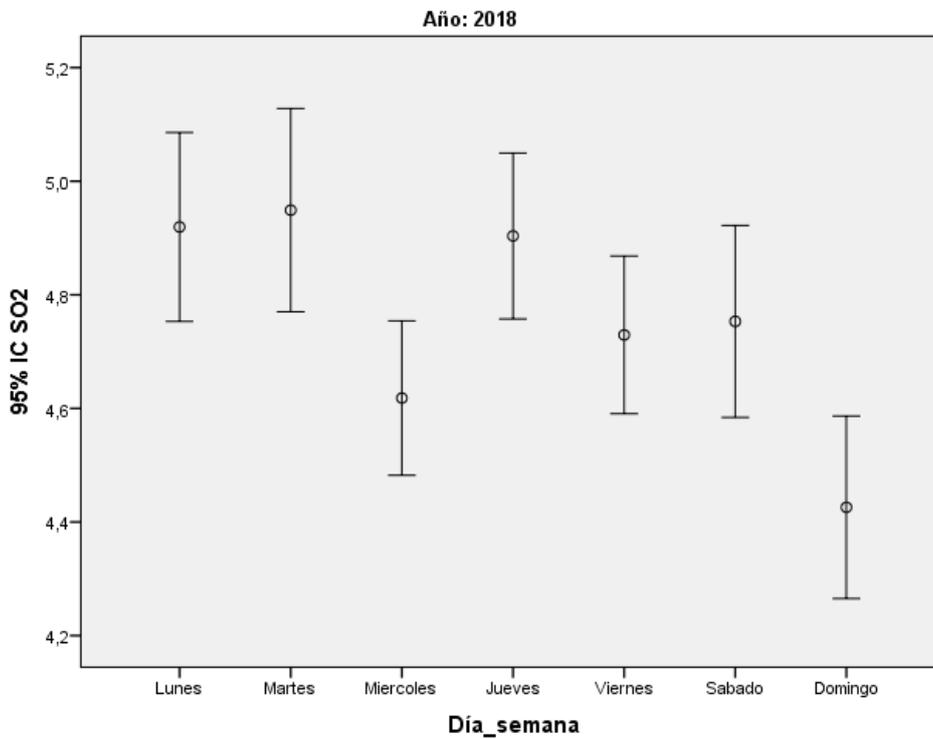


Figura 165. Barras de error diarias del contaminante SO₂ (2018).

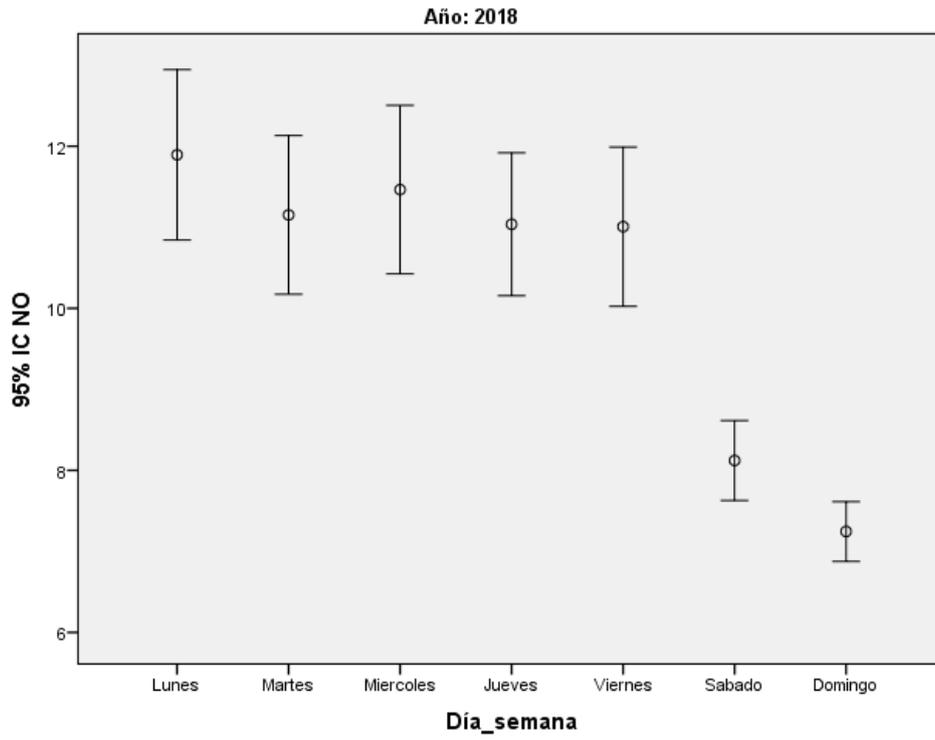


Figura 166. Barras de error diarias del contaminante NO (2018).

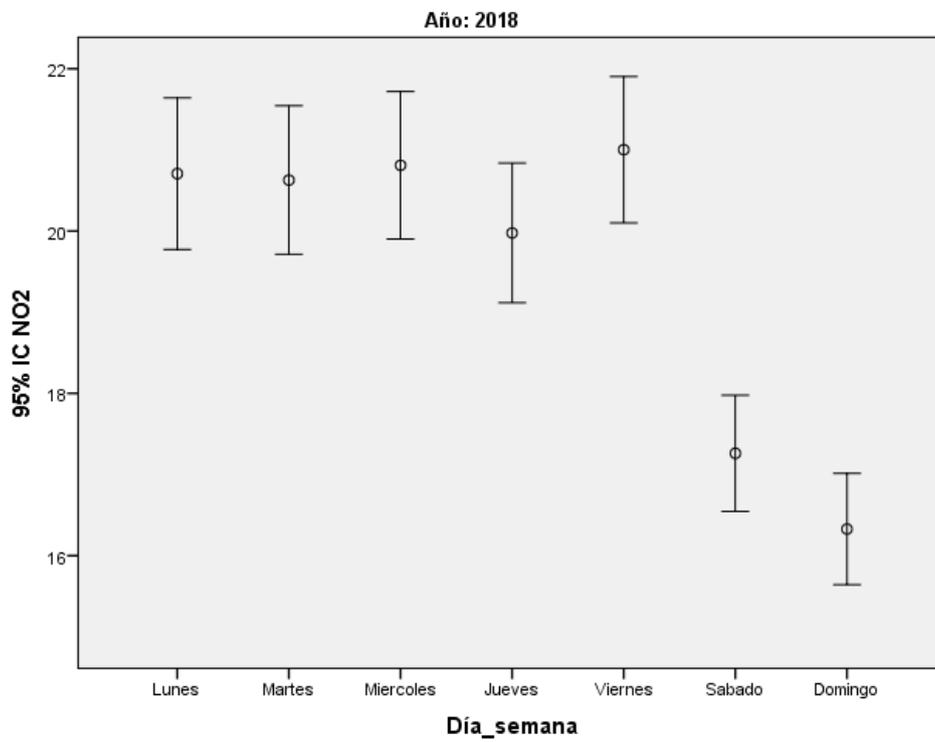


Figura 167. Barras de error diarias del contaminante NO₂ (2018).

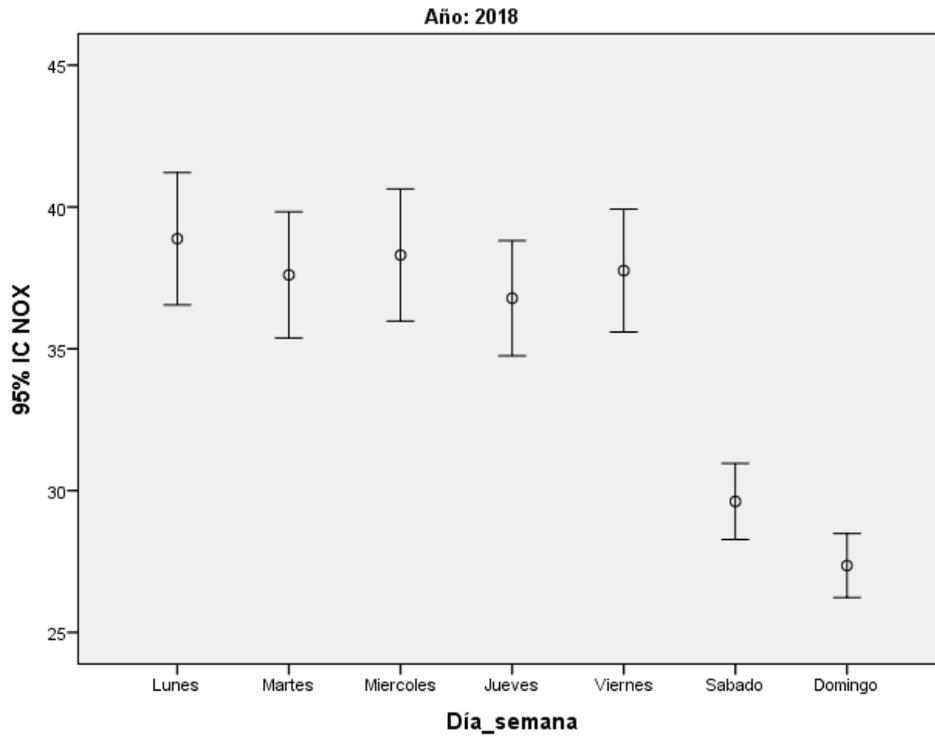


Figura 168. Barras de error diarias del contaminante NO_x (2018).

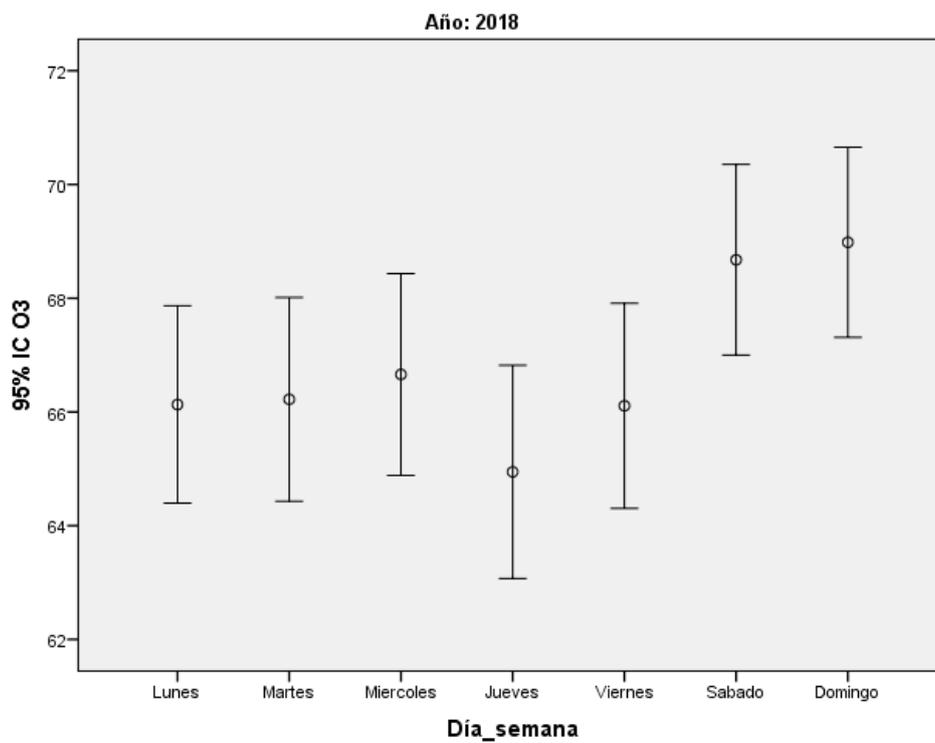


Figura 169. Barras de error diarias del contaminante O₃ (2018).

8.2.4 Año 2019

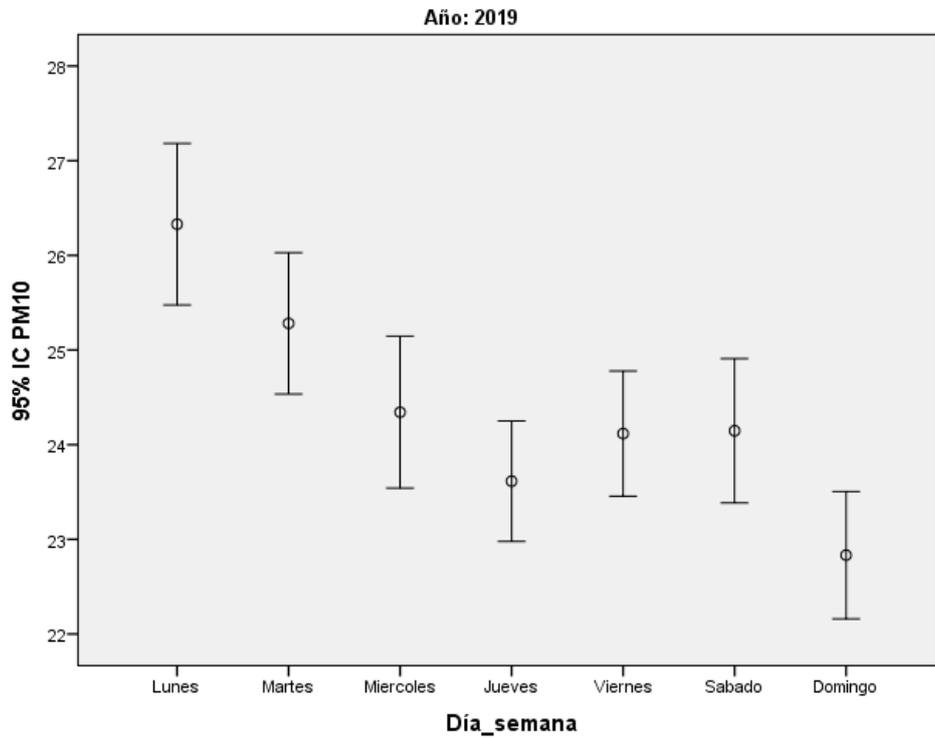


Figura 170. Barras de error diarias del contaminante PM₁₀ (2019).

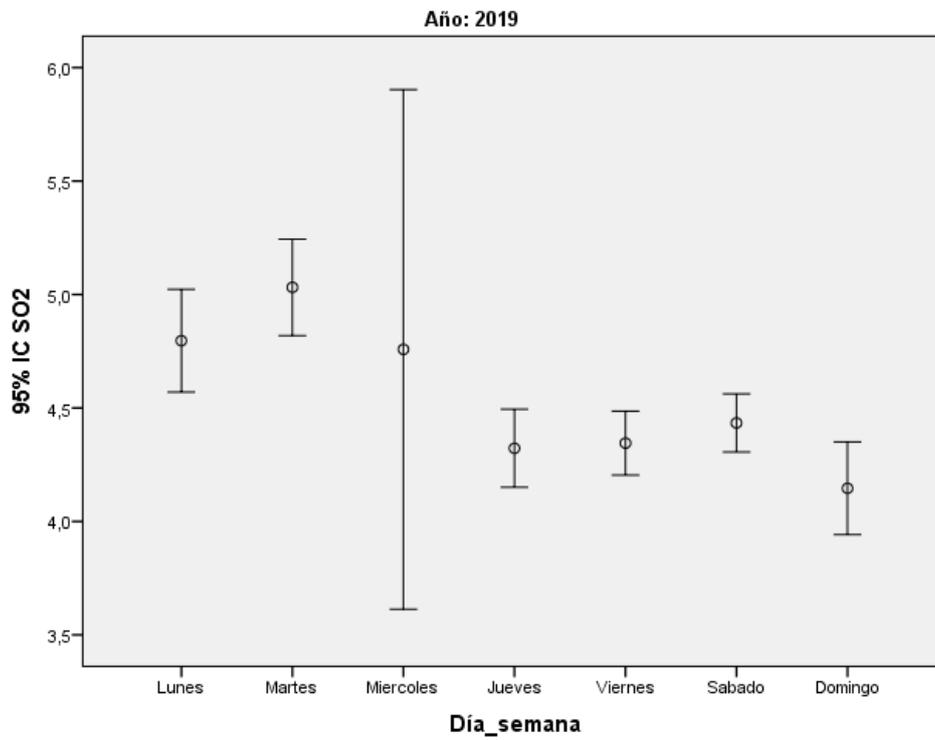


Figura 171. Barras de error diarias del contaminante SO₂ (2019).

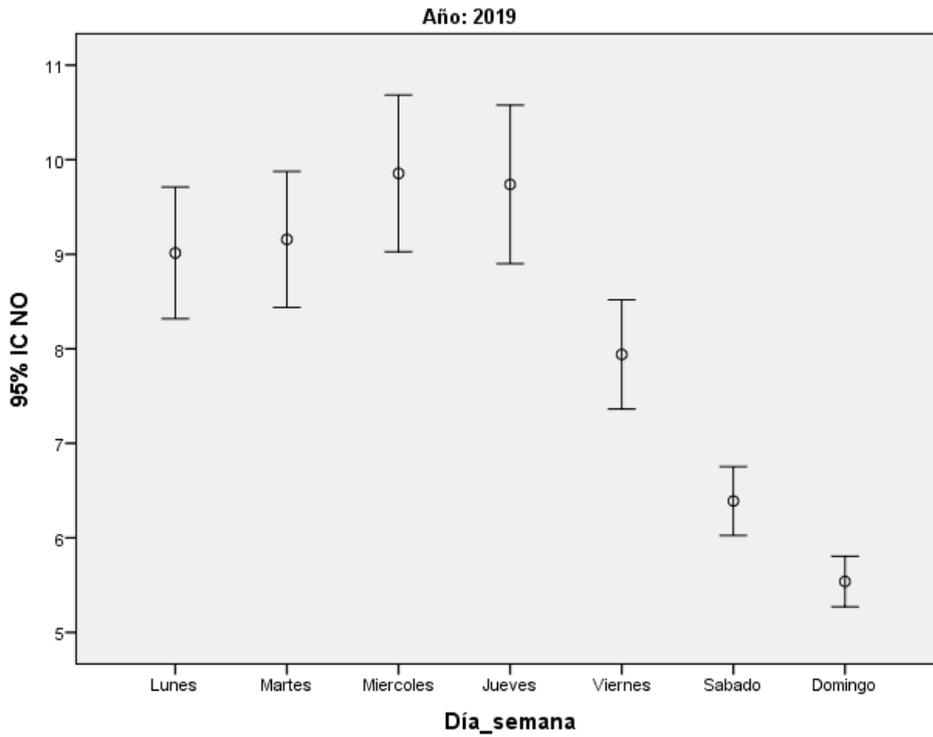


Figura 172. Barras de error diarias del contaminante NO (2019).

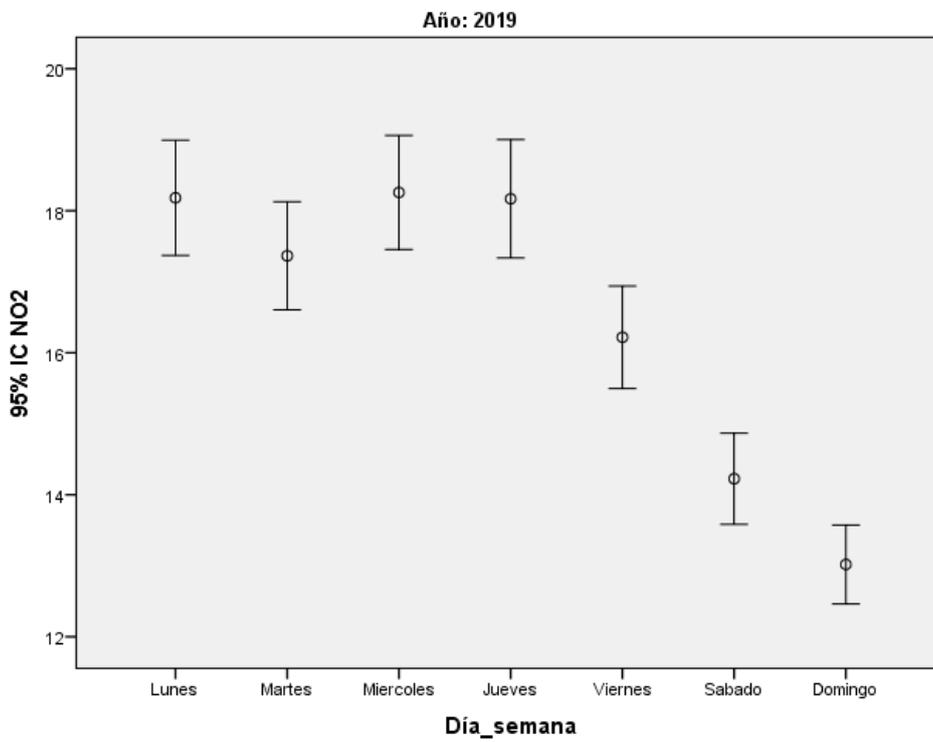


Figura 173. Barras de error diarias del contaminante NO₂ (2019).

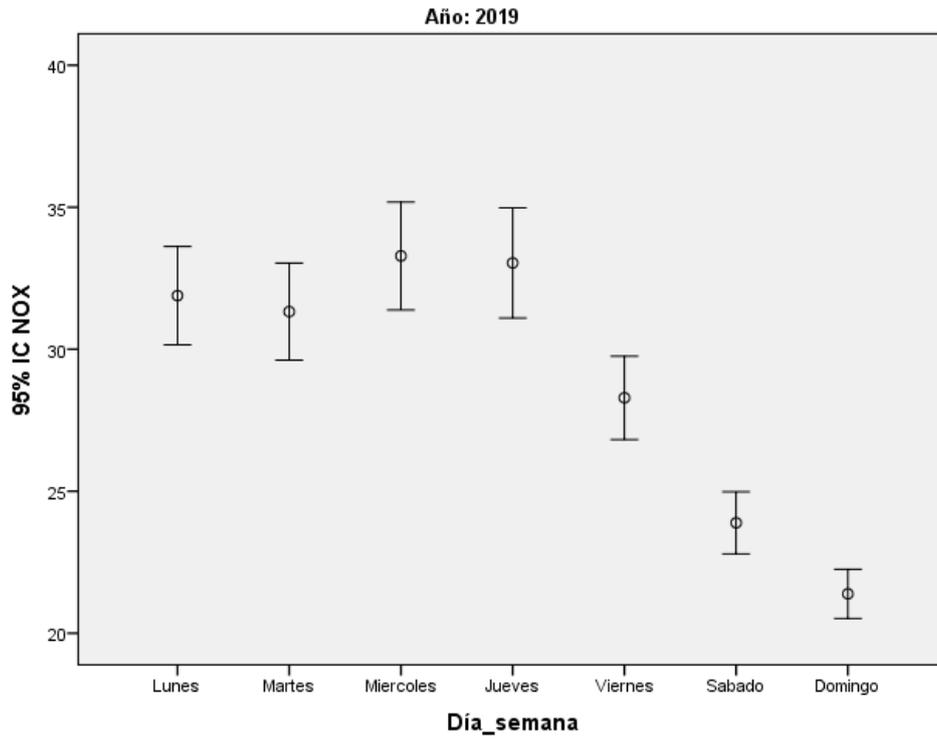


Figura 174. Barras de error diarias del contaminante NO_x (2019).

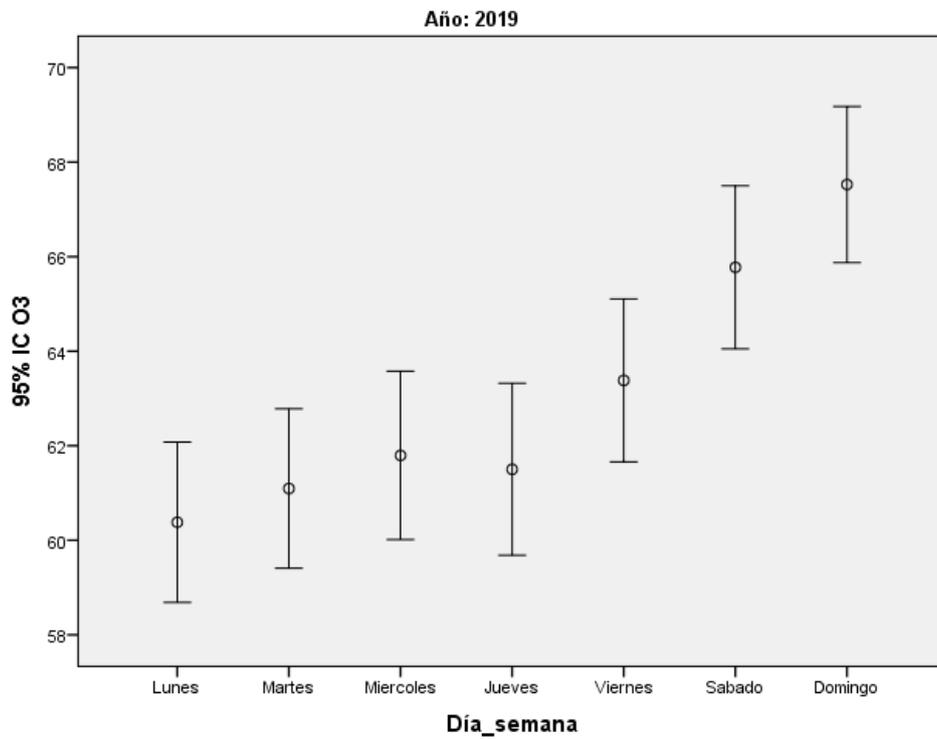


Figura 175. Barras de error diarias del contaminante O₃ (2019).

8.2.5 Año 2020

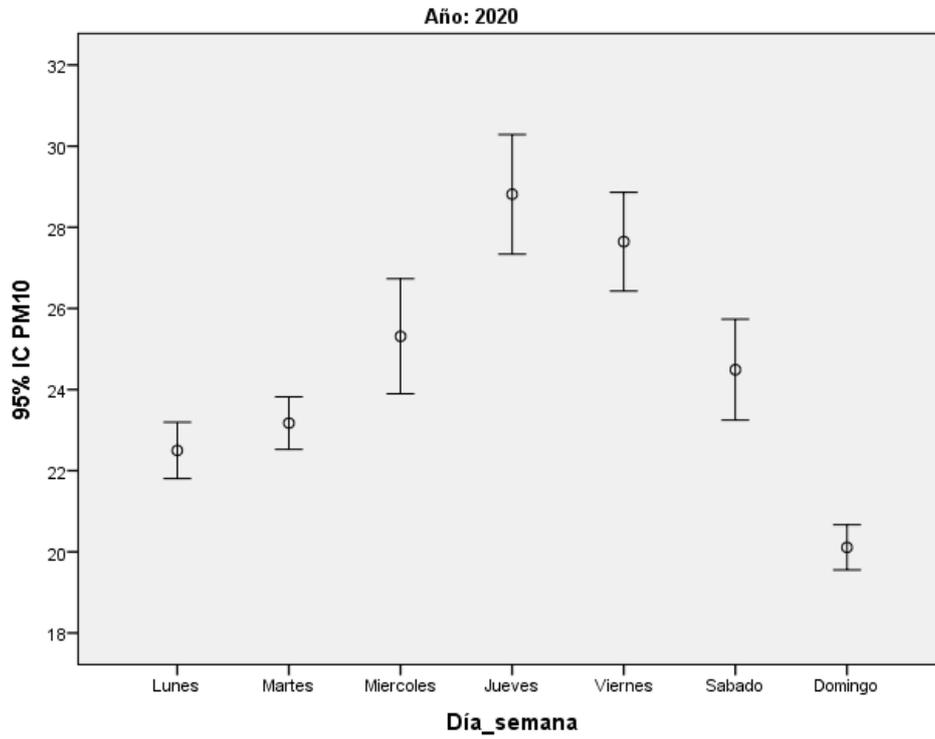


Figura 176. Barras de error diarias del contaminante PM₁₀ (2020).

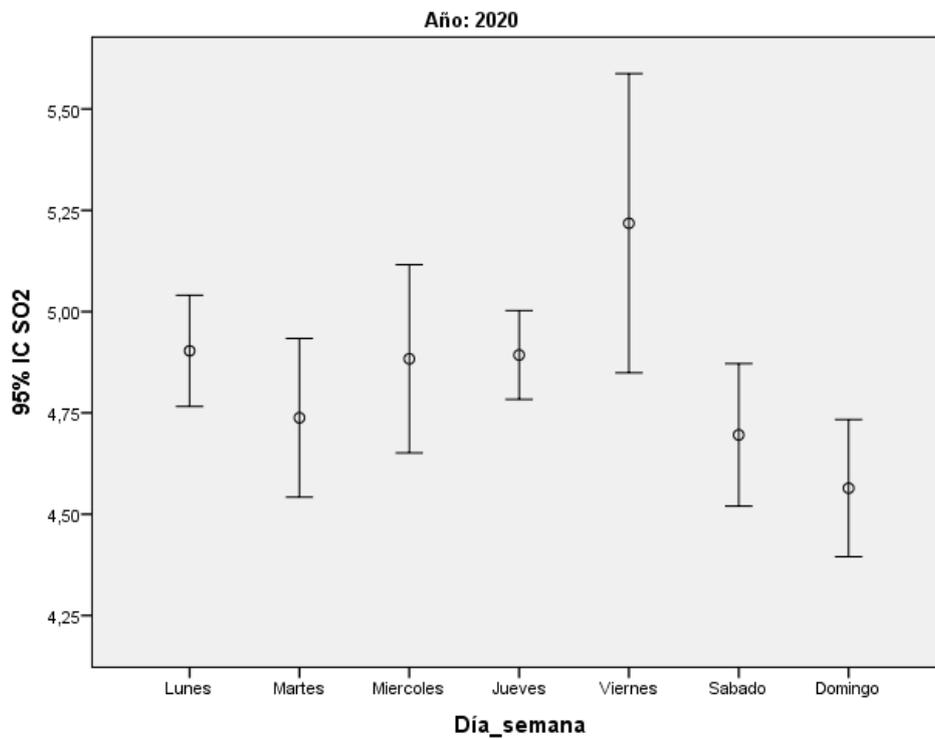


Figura 177. Barras de error diarias del contaminante SO₂ (2020).

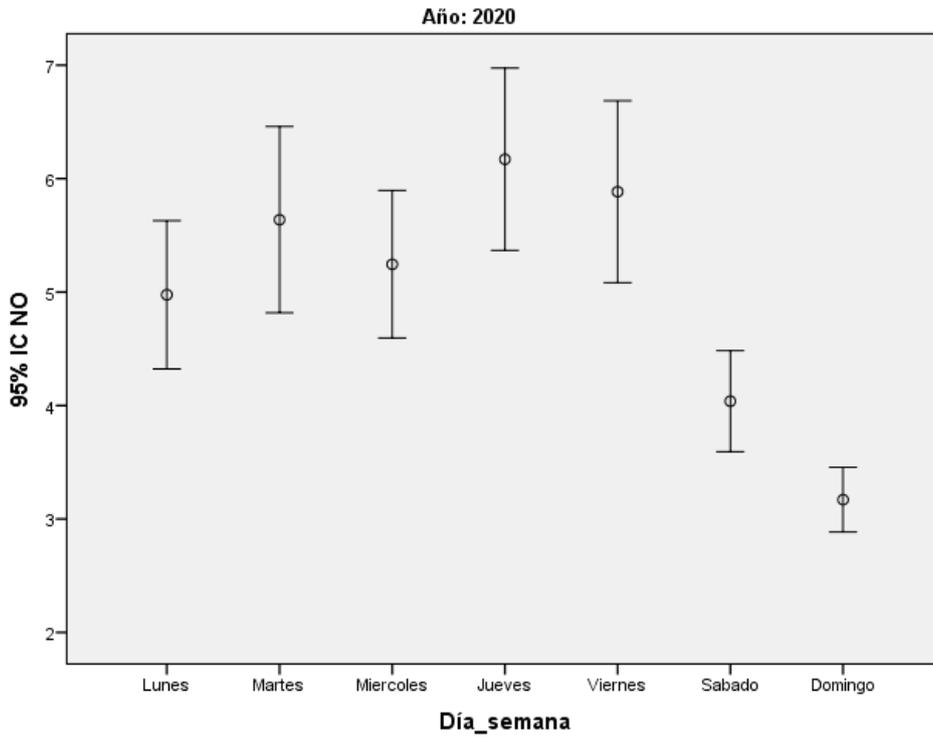


Figura 178. Barras de error diarias del contaminante NO (2020).

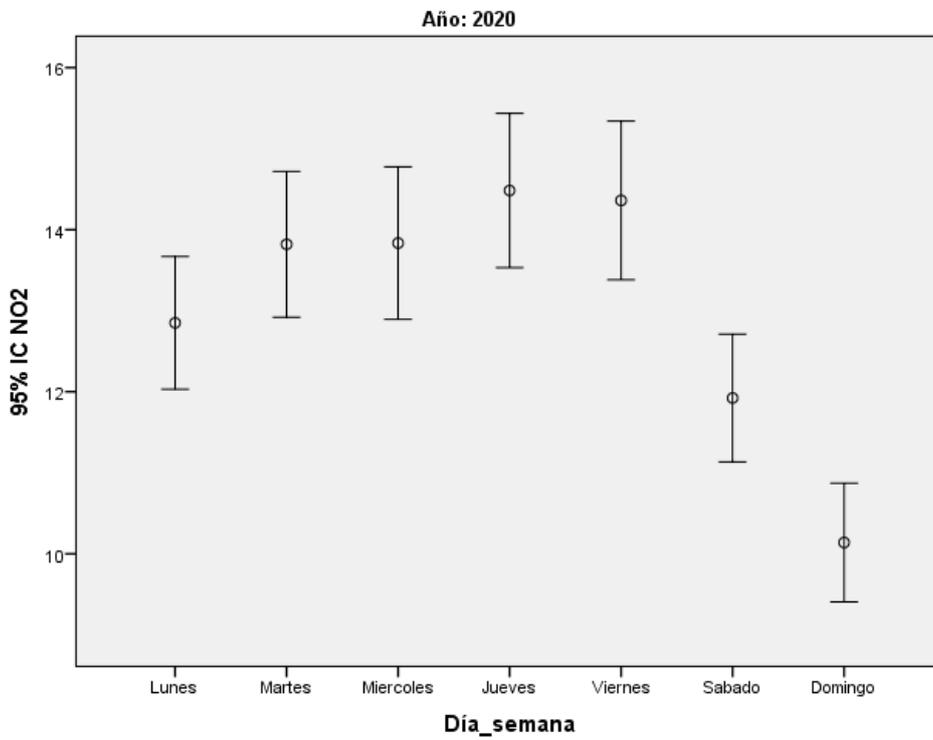


Figura 179. Barras de error diarias del contaminante NO₂ (2020).

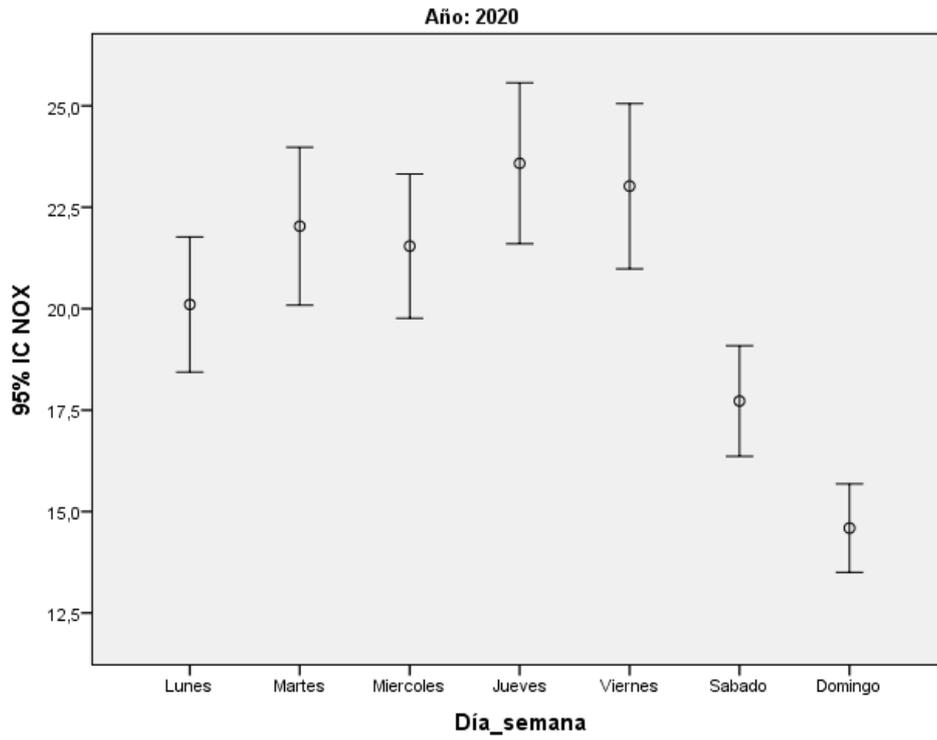


Figura 180. Barras de error diarias del contaminante NO_x (2020).

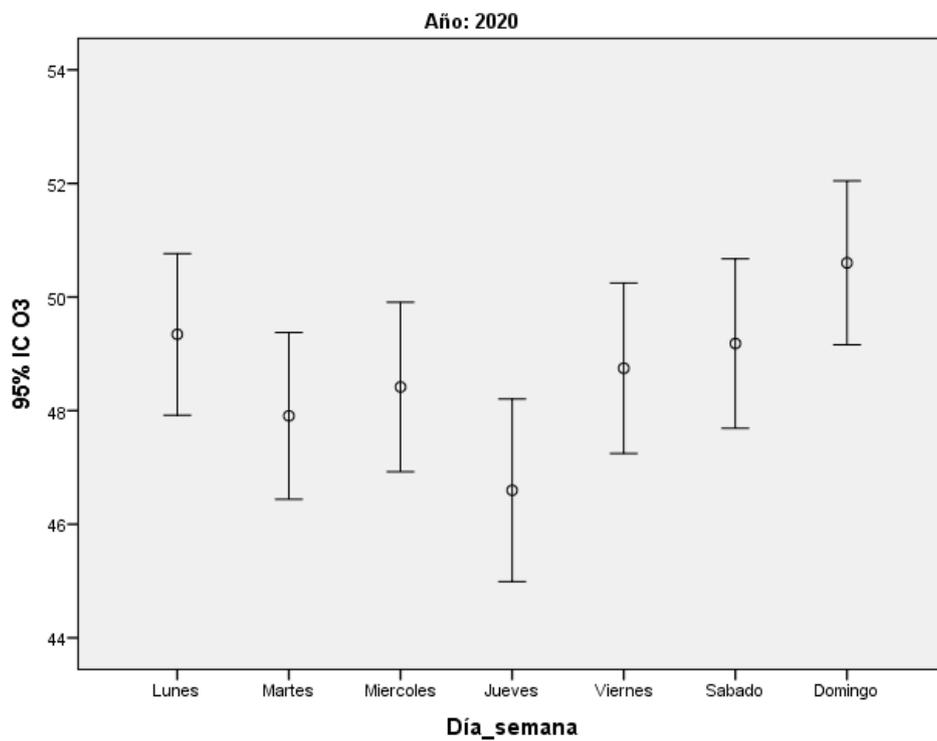


Figura 181. Barras de error diarias del contaminante O₃ (2020).

8.3 Gráficas de error horarias de los contaminantes según el año

8.3.1 Año 2016

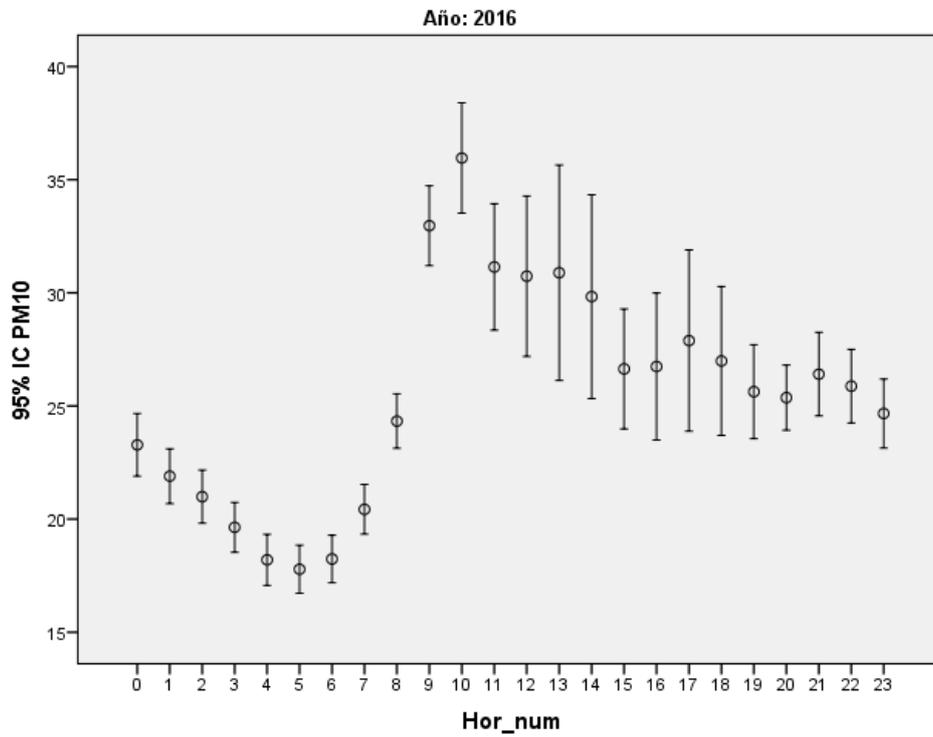


Figura 182. Barras de error horarias del contaminante PM₁₀ (2016).

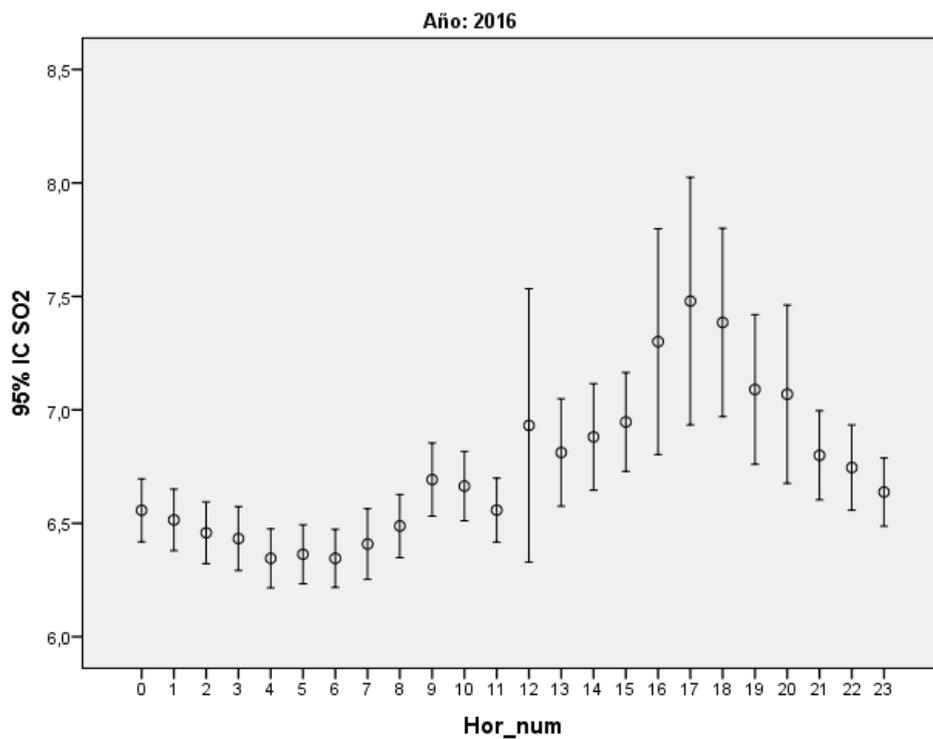


Figura 183. Barras de error horarias del contaminante SO₂ (2016).

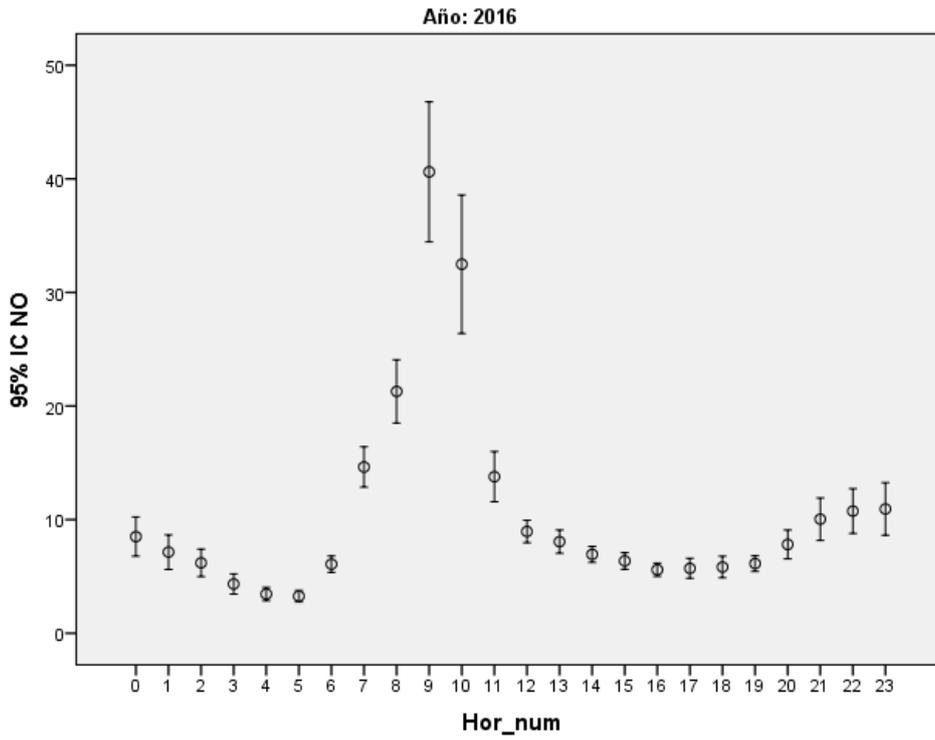


Figura 184. Barras de error horarias del contaminante NO(2016).

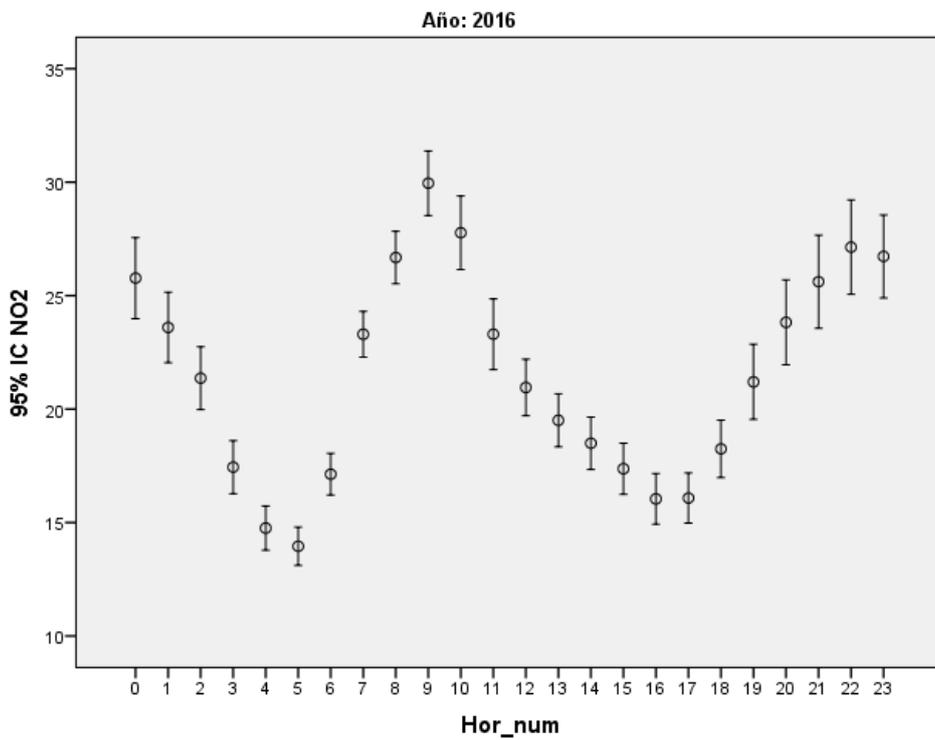


Figura 185. Barras de error horarias del contaminante NO₂ (2016).

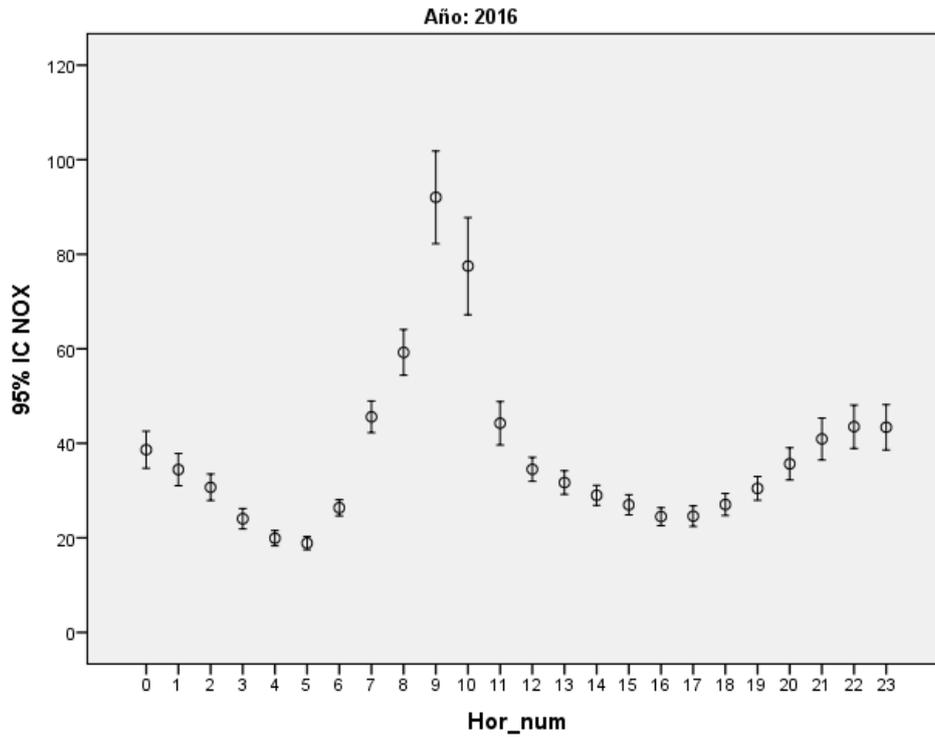


Figura 186. Barras de error horarias del contaminante NO_x (2016).

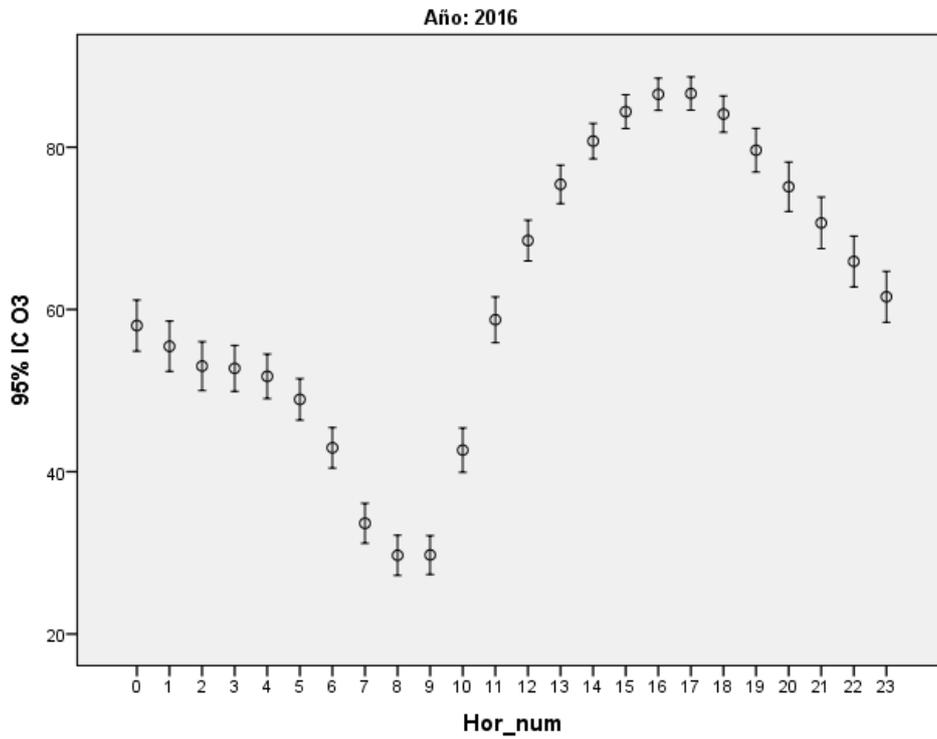


Figura 187. Barras de error horarias del contaminante O₃ (2016).

8.3.2 Año 2017

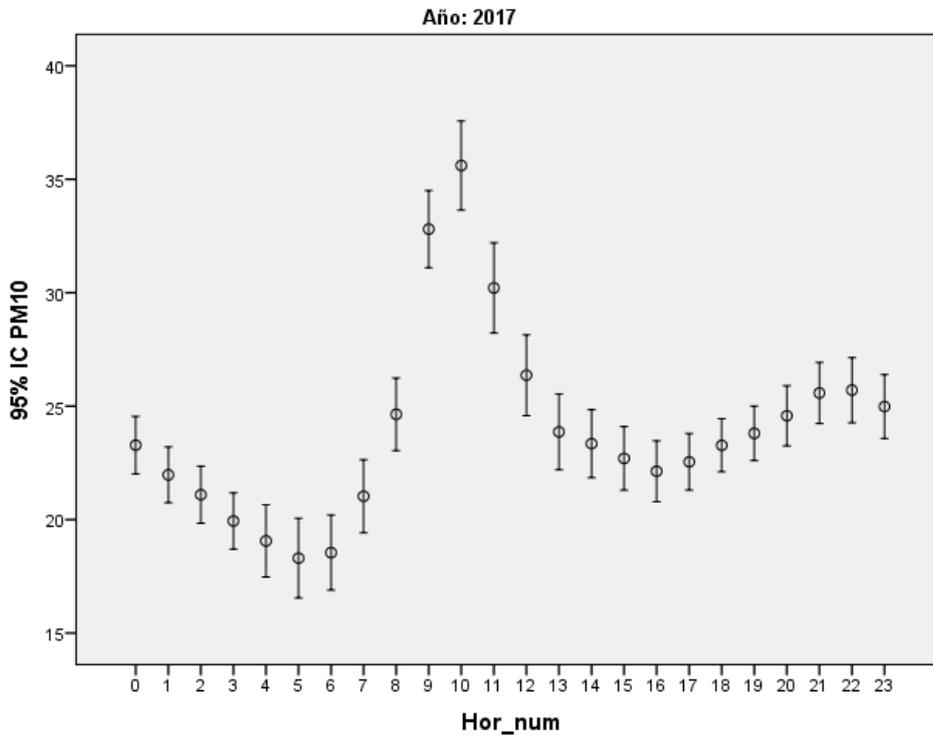


Figura 188. Barras de error horarias del contaminante PM₁₀ (2017).

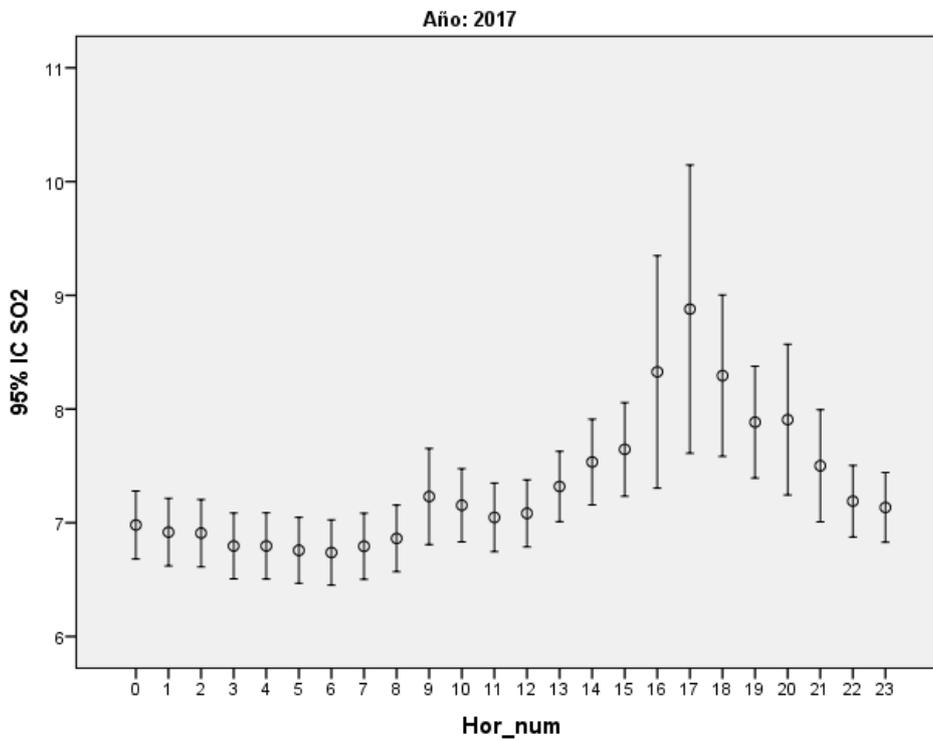


Figura 189. Barras de error horarias del contaminante SO₂ (2017).

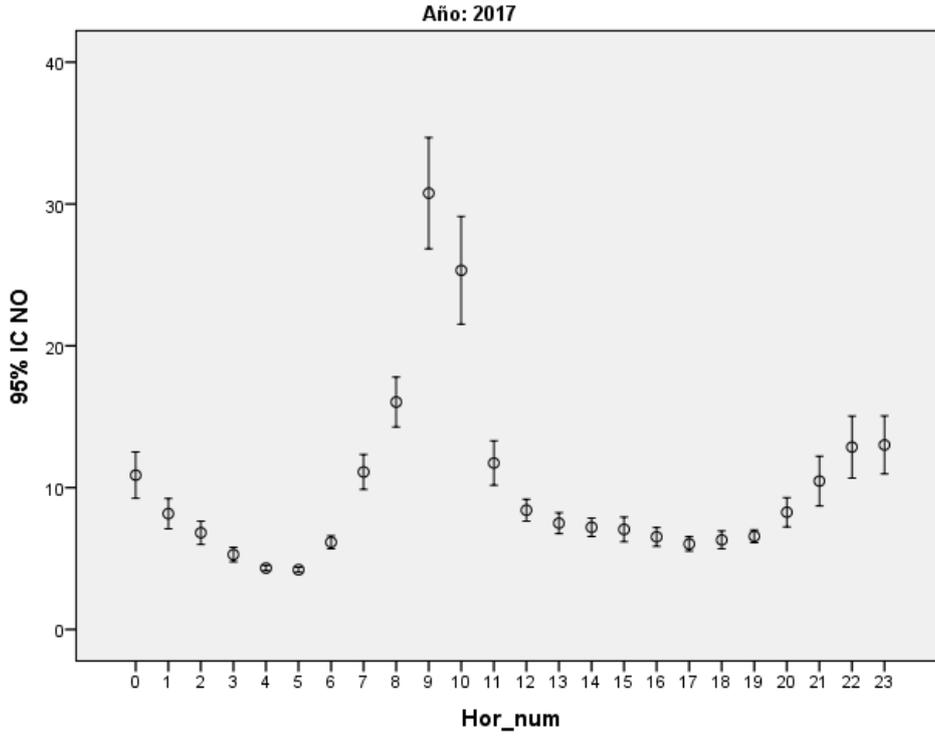


Figura 190. Barras de error horarias del contaminante NO (2017).

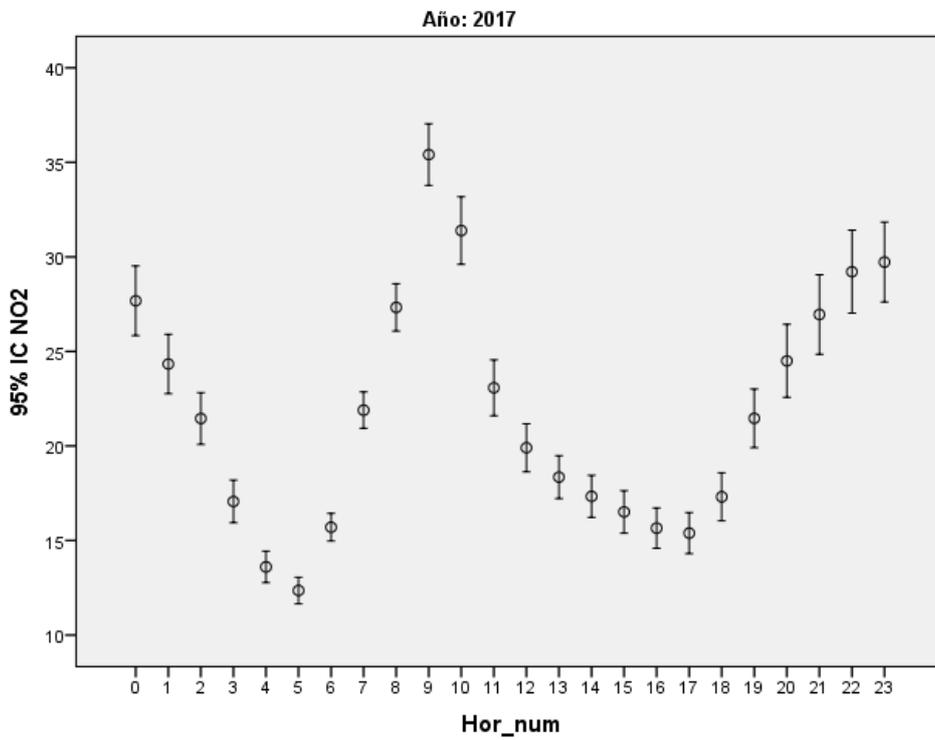


Figura 191. Barras de error horarias del contaminante NO₂ (2017).

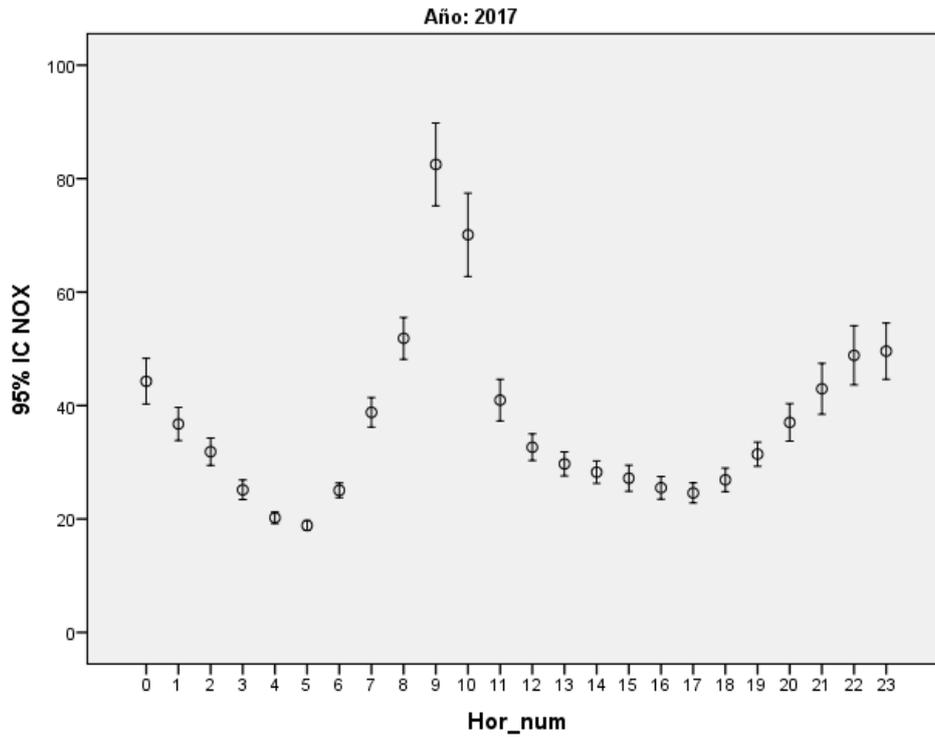


Figura 192. Barras de error horarias del contaminante NO_x (2017).

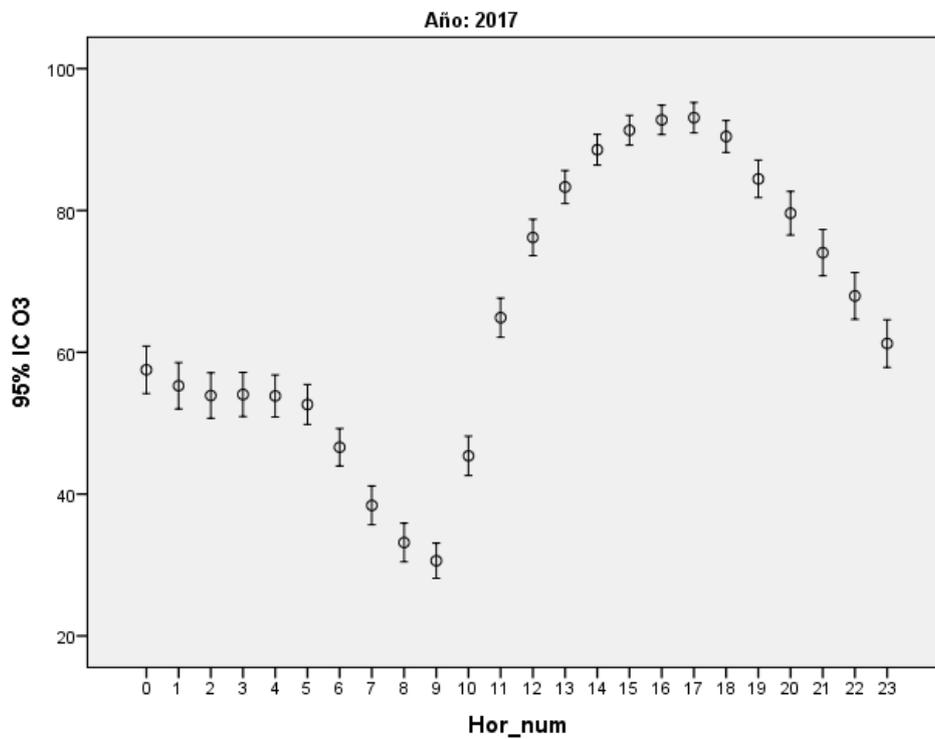


Figura 193. Barras de error horarias del contaminante O₃ (2017).

8.3.3 Año 2018

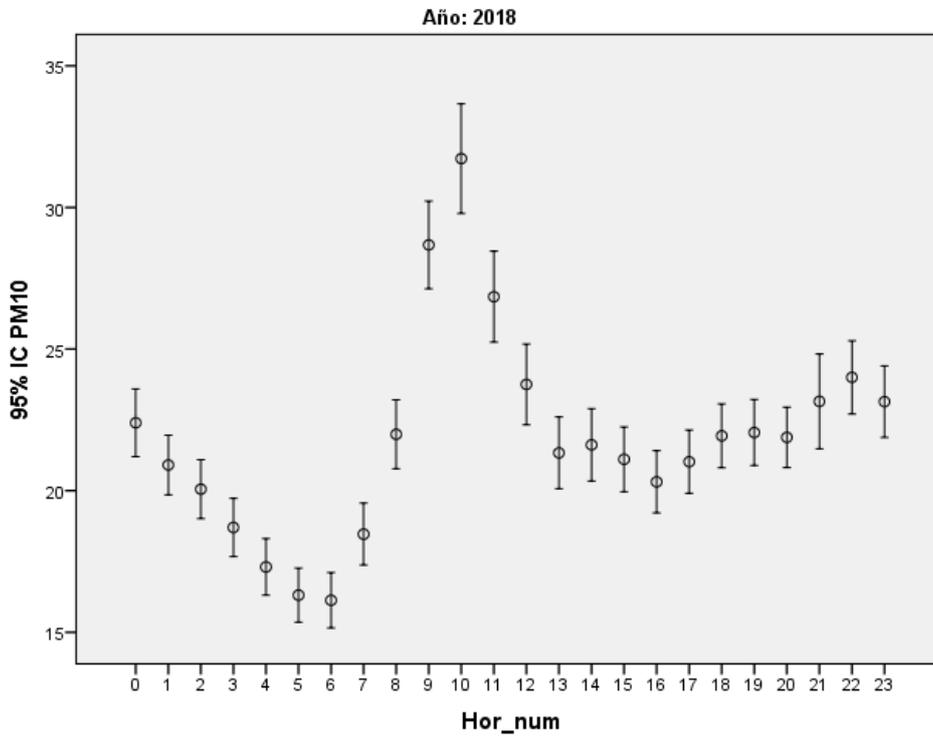


Figura 194. Barras de error horarias del contaminante PM₁₀ (2018).

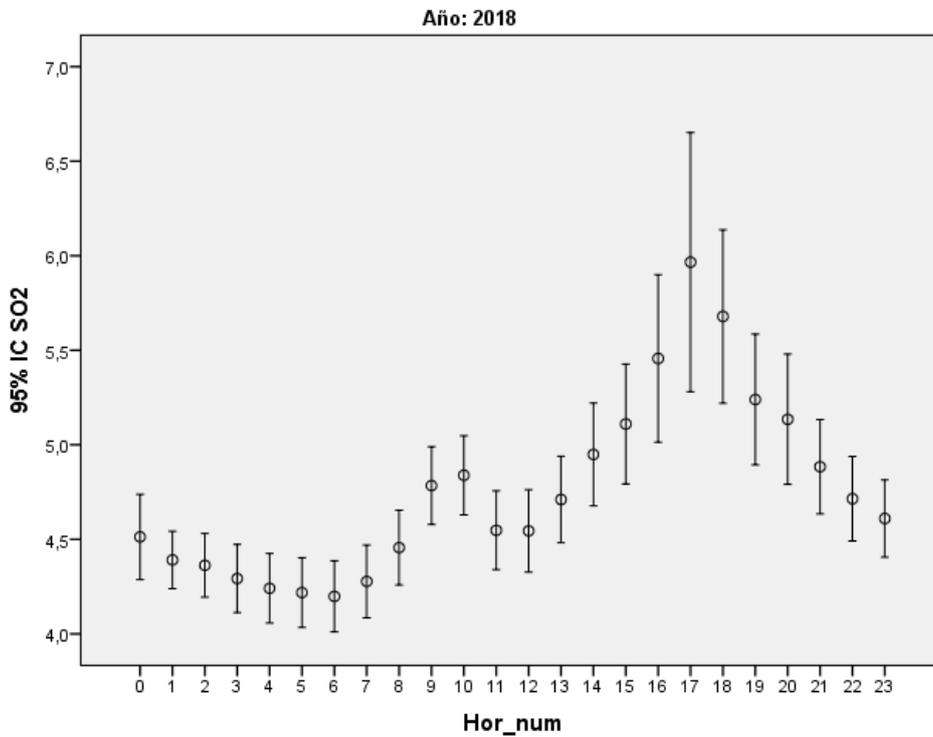


Figura 195. Barras de error horarias del contaminante SO₂ (2018).

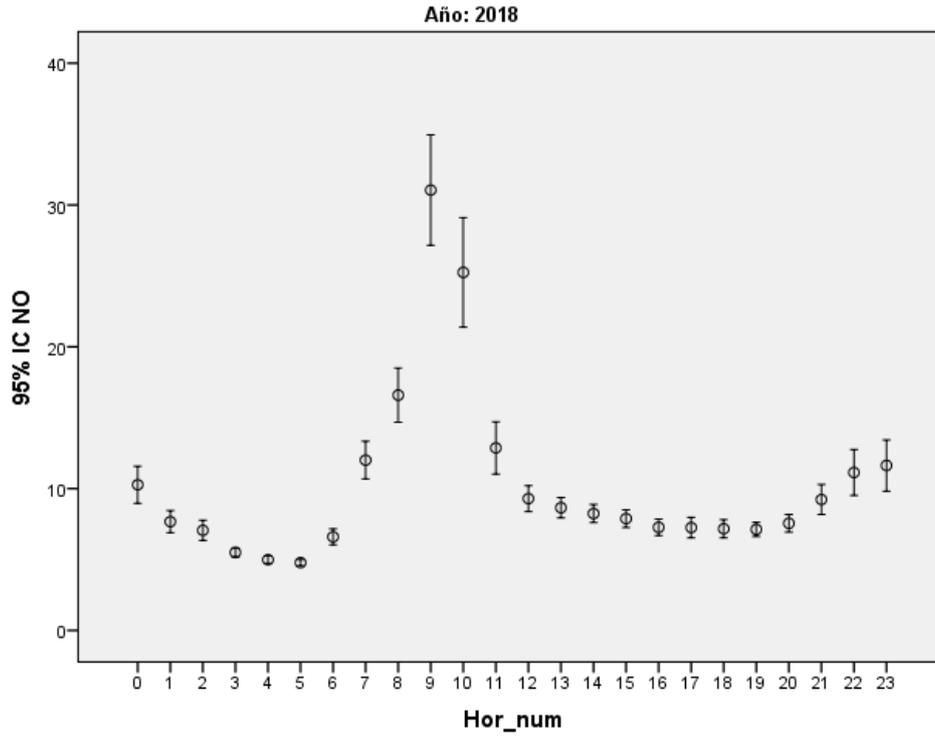


Figura 196. Barras de error horarias del contaminante NO (2018).

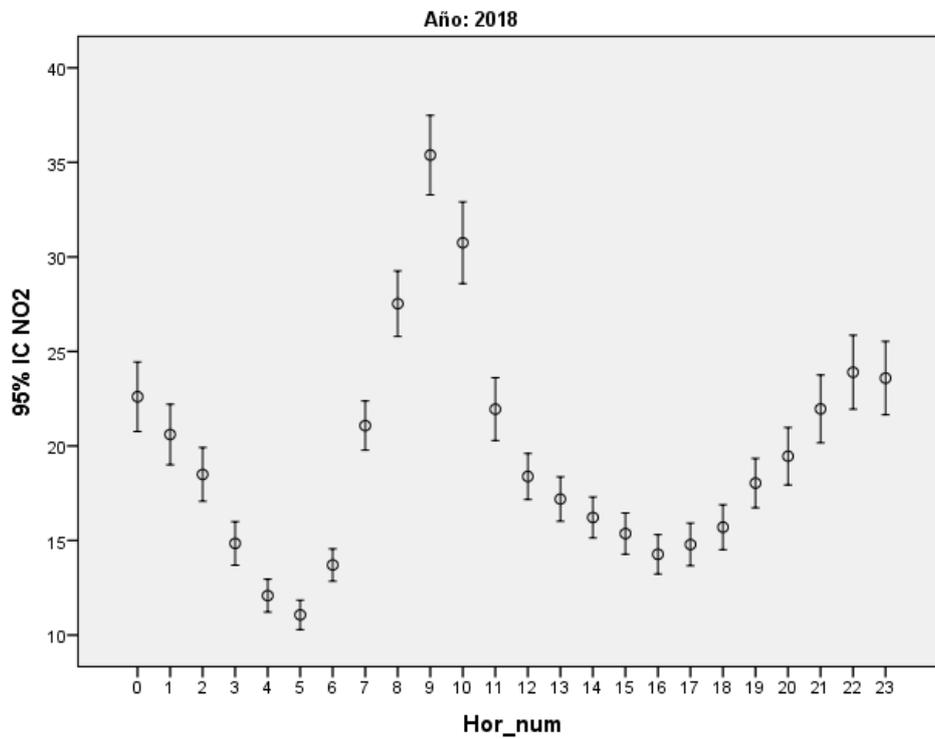


Figura 197. Barras de error horarias del contaminante NO₂ (2018).

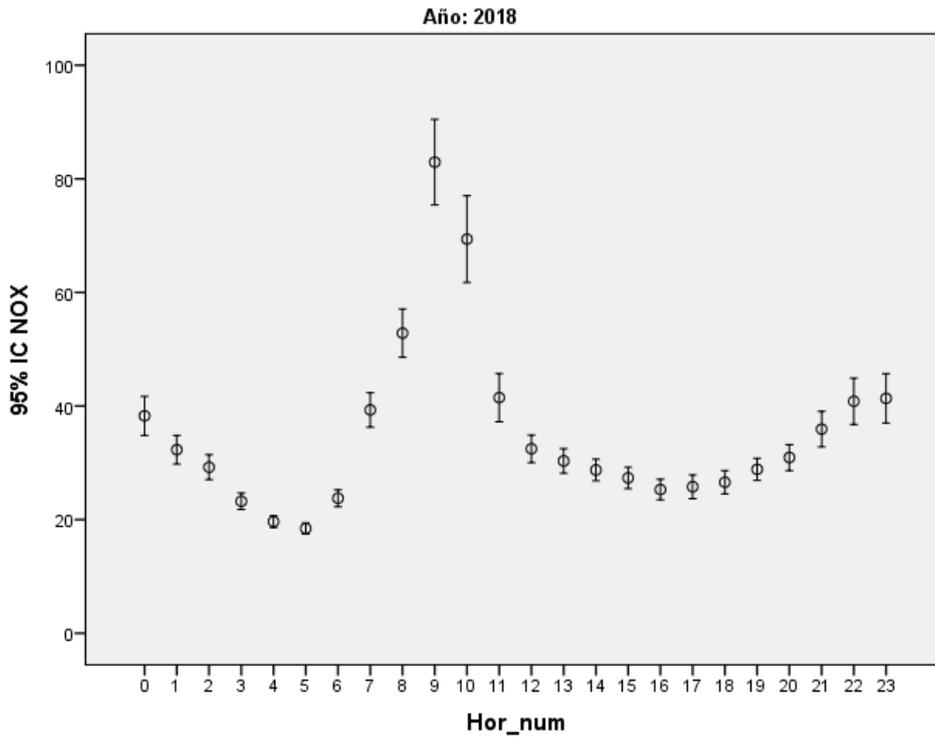


Figura 198. Barras de error horarias del contaminante NO_x (2018).

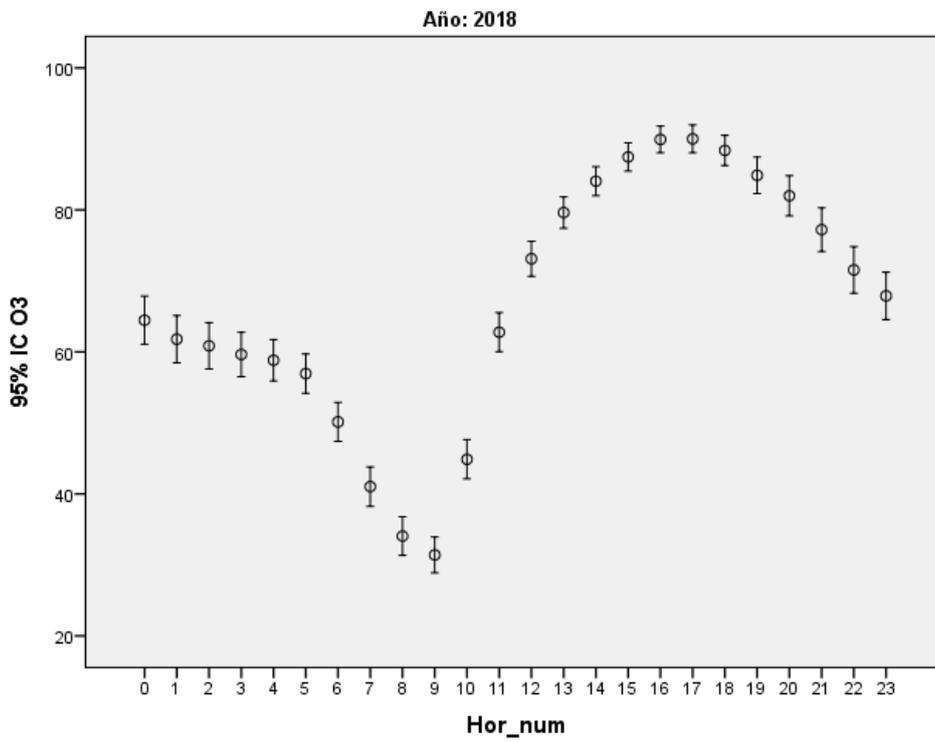


Figura 199. Barras de error horarias del contaminante O₃ (2018).

8.3.4 Año 2019

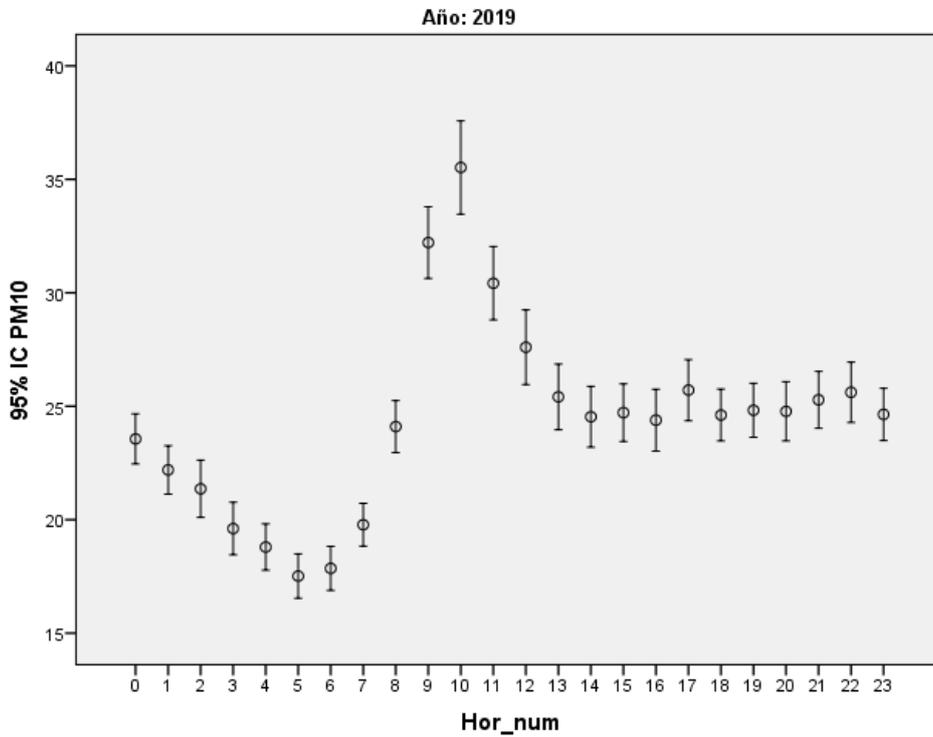


Figura 200. Barras de error horarias del contaminante PM₁₀ (2019).

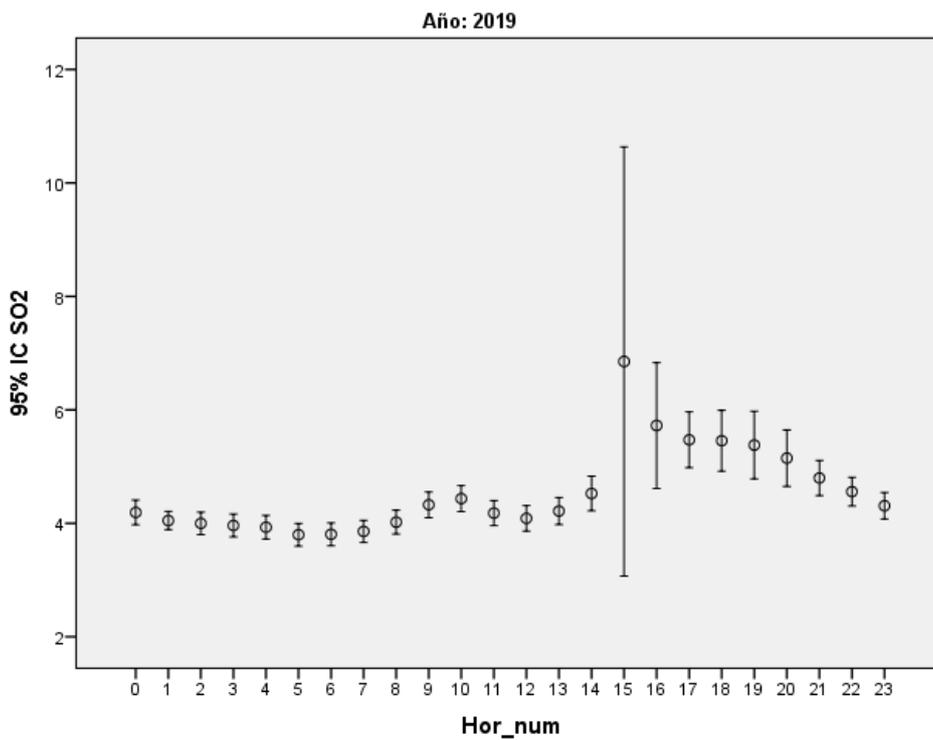


Figura 201. Barras de error horarias del contaminante PM₁₀ (2019).

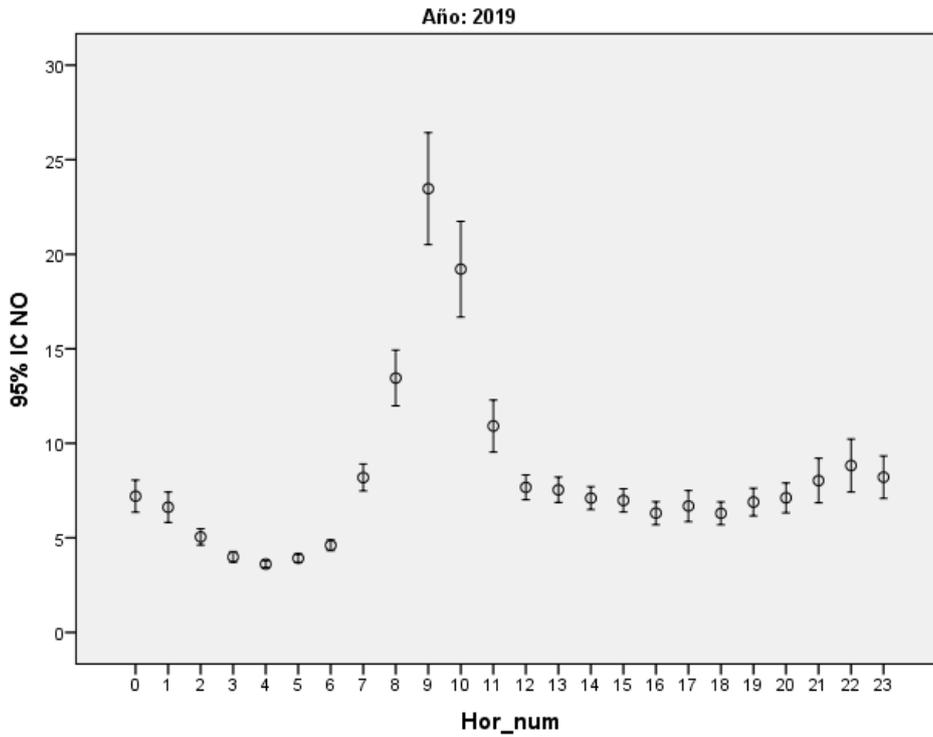


Figura 202. Barras de error horarias del contaminante NO (2019).

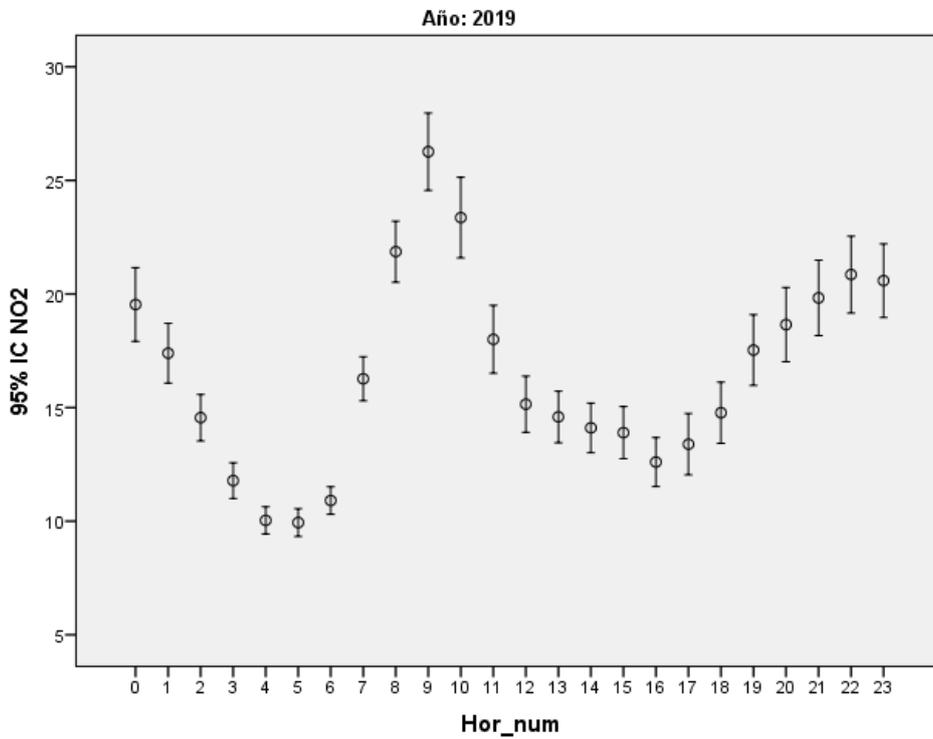


Figura 203. Barras de error horarias del contaminante NO₂ (2019).

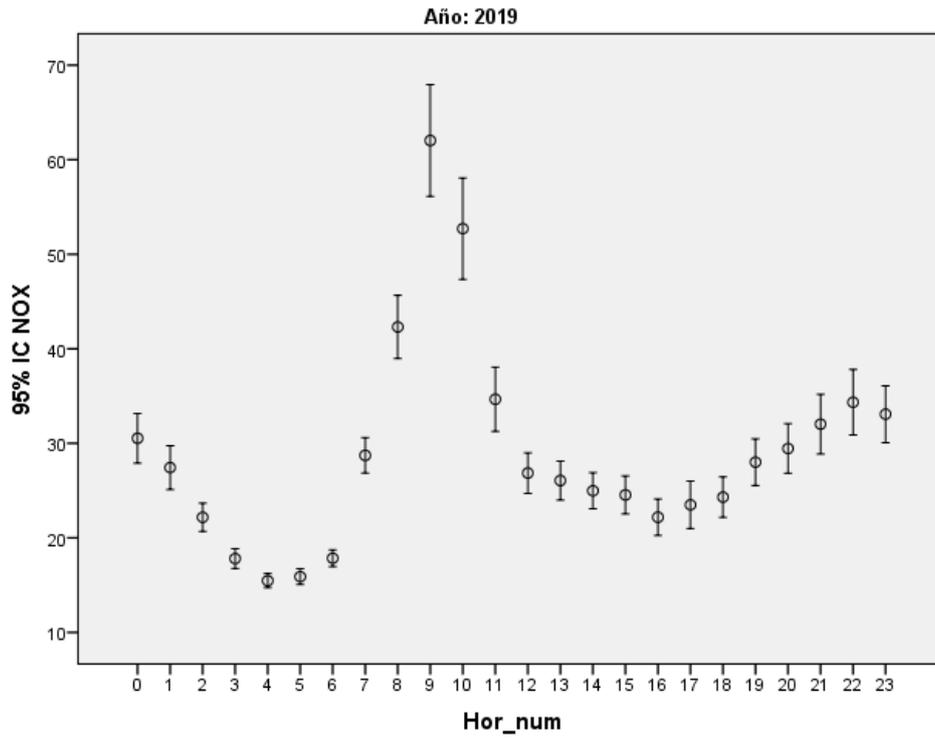


Figura 204. Barras de error horarias del contaminante NO_x (2019).

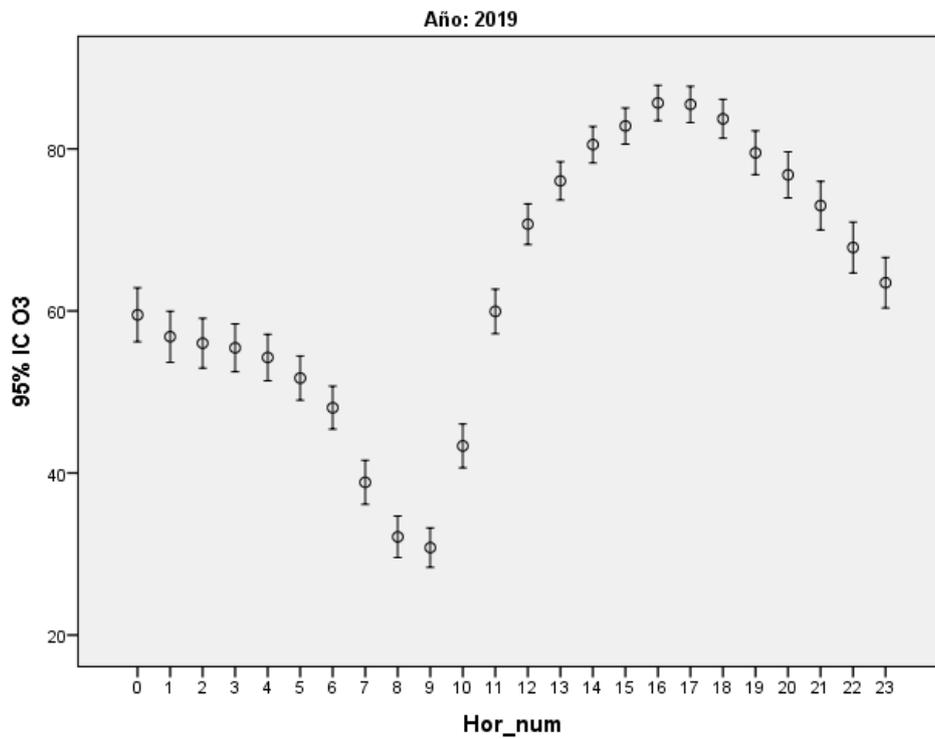


Figura 205. Barras de error horarias del contaminante O₃ (2019).

8.3.5 Año 2020

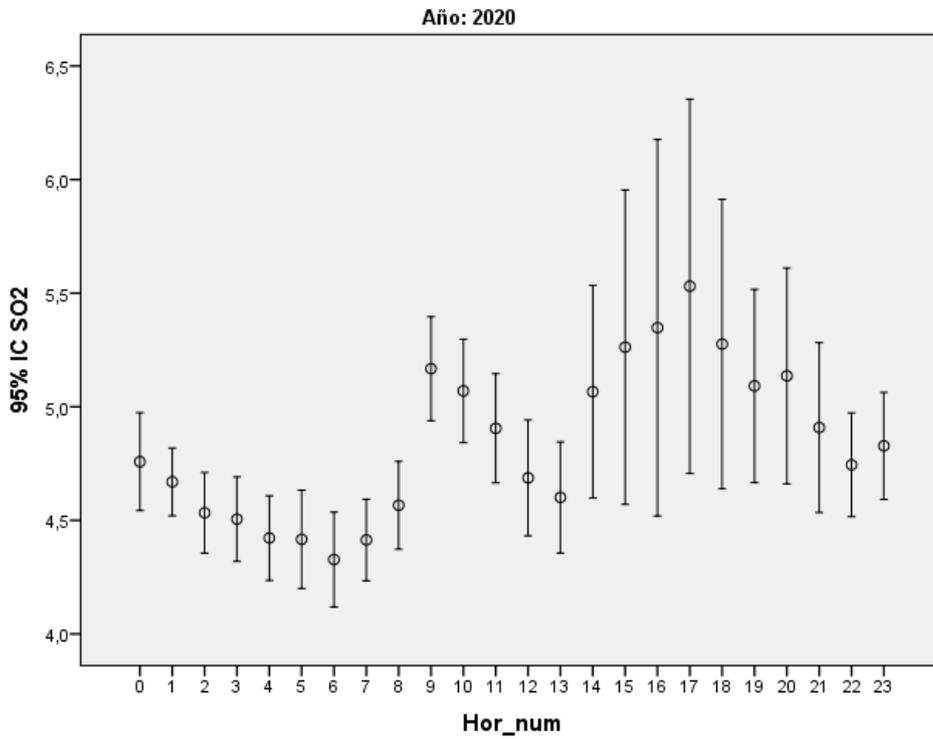


Figura 206. Barras de error horarias del contaminante PM₁₀ (2020).

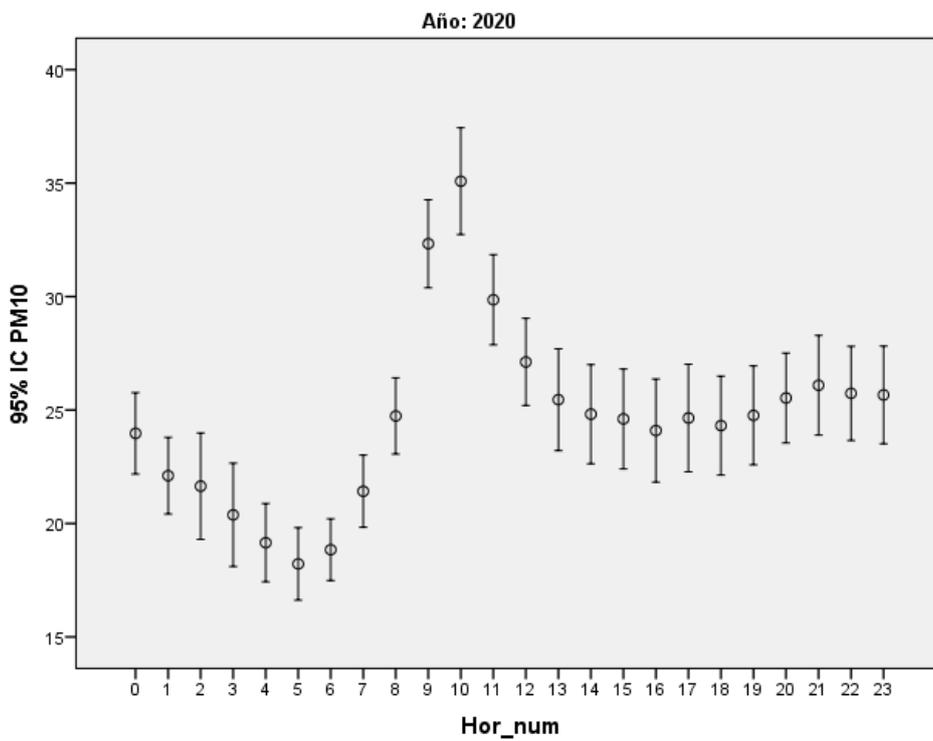


Figura 207. Barras de error horarias del contaminante SO₂ (2020).

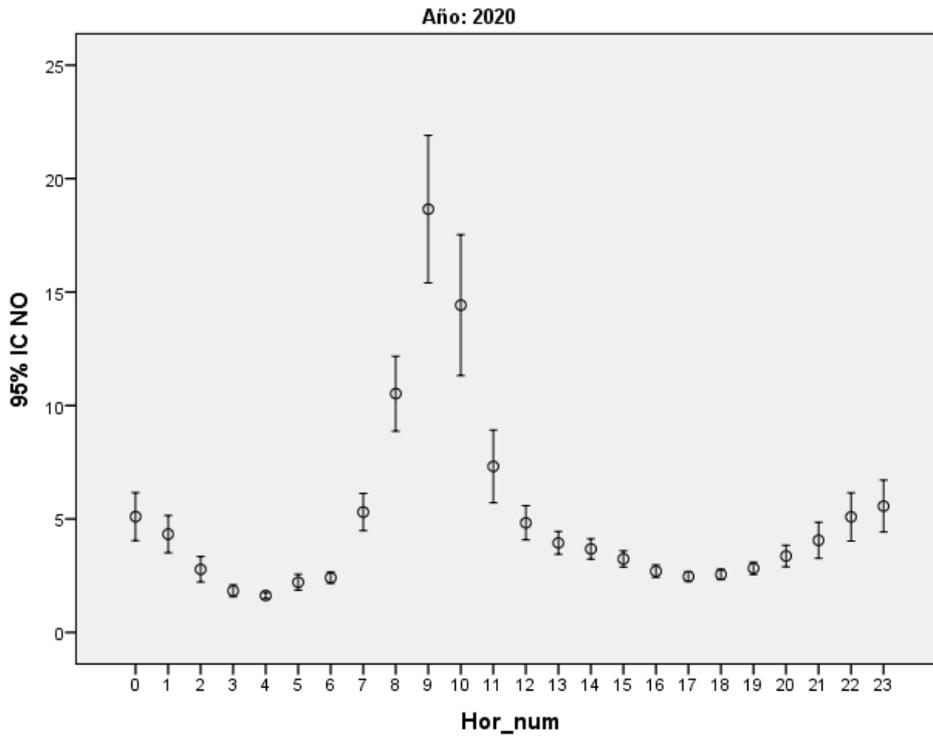


Figura 208. Barras de error horarias del contaminante NO (2020).

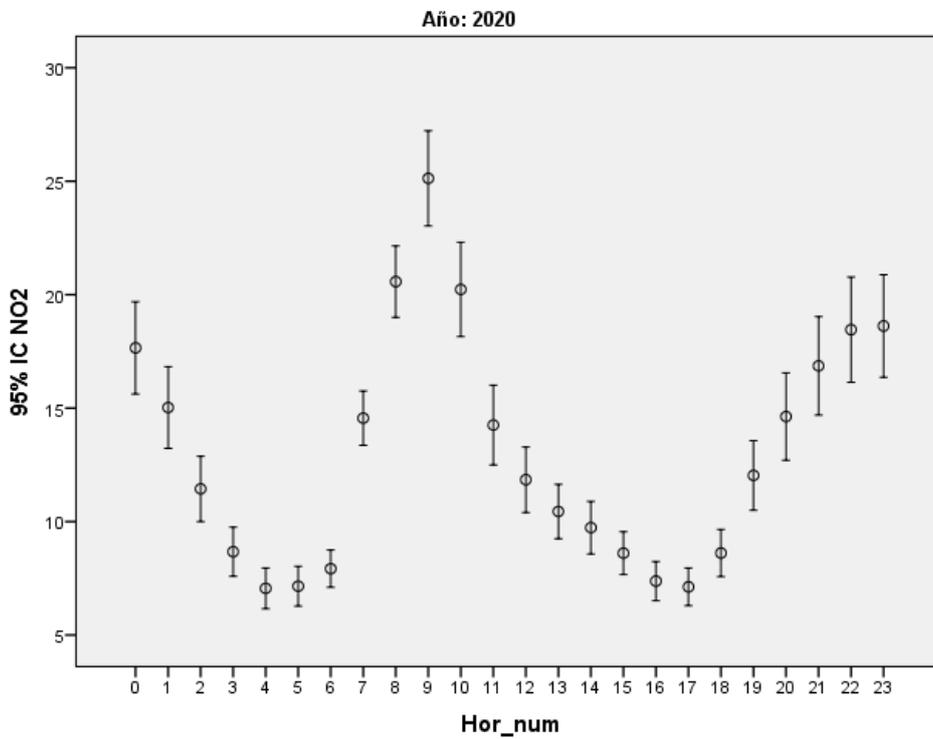


Figura 209. Barras de error horarias del contaminante NO₂ (2020).

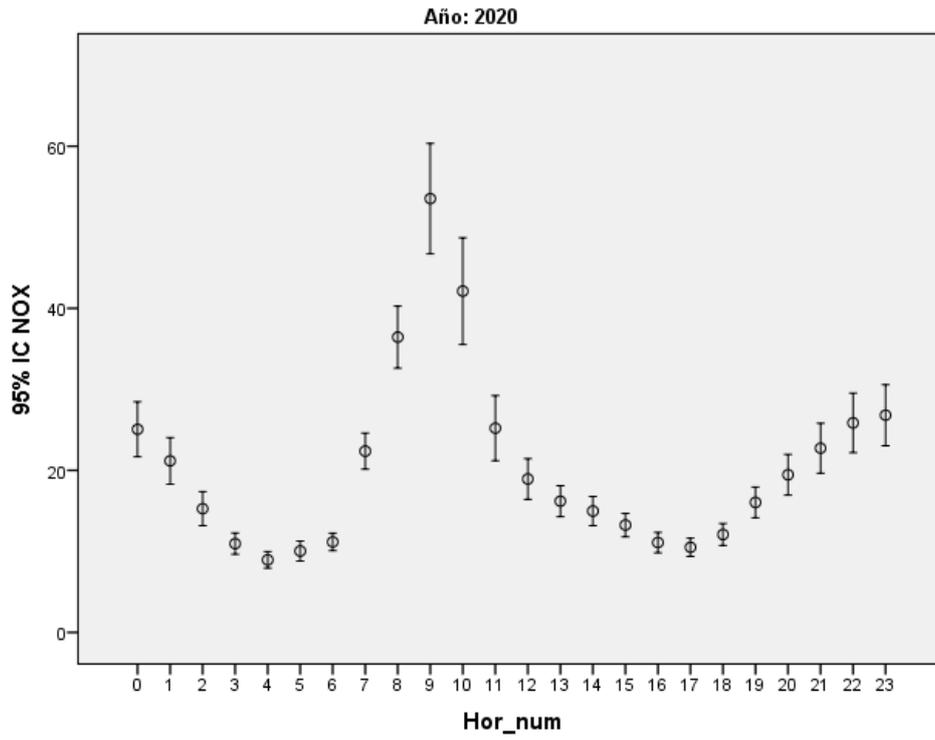


Figura 210. Barras de error horarias del contaminante NO_x (2020).

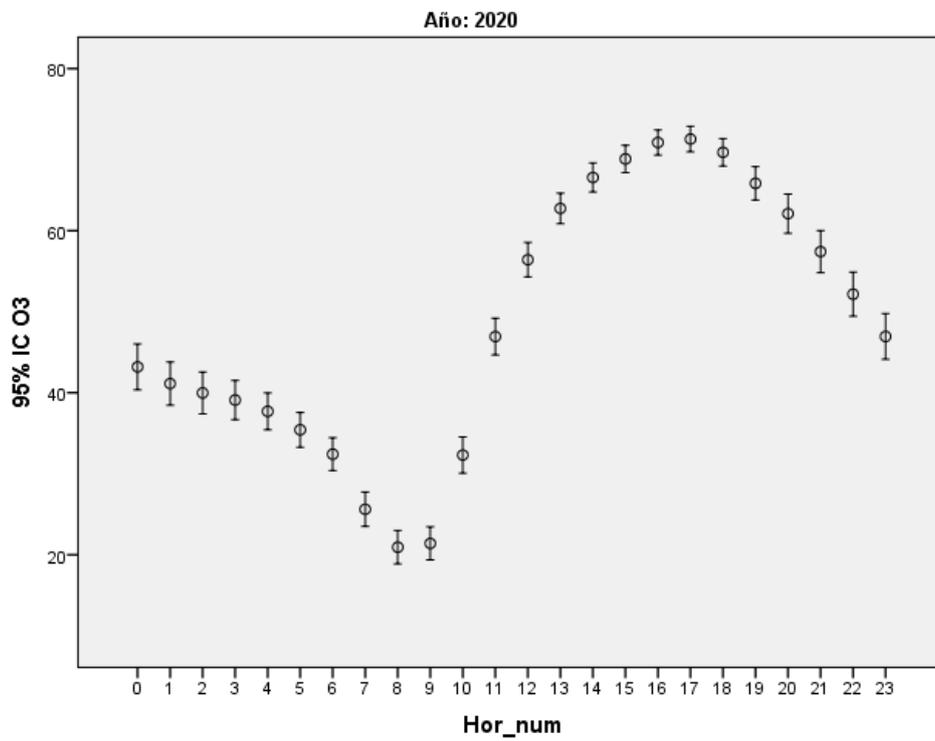


Figura 211. Barras de error horarias del contaminante O₂ (2020).