



**UNIDAD ASOCIADA CSIC-UHU  
CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA  
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA SOSTENIBLE**

**ASISTENICA TÉCNICA PARA EL SUMINISTRO E INSTALACIÓN  
DE FILTROS Y EL SEGUIMIENTO (ANÁLISIS, ENSAYOS,  
INFORMES, ETC) DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN LAS DOS  
ESTACIONES DE CONTROL UBICADAS EN LAS POSIBLES  
ZONAS DE INFLUENCIA DE LOS TERRENOS PORTUARIOS DE  
LA CABEZUELA (PUERTO REAL)**

**EXP CA-005-20**

**INFORME 0**

**Para Autoridad Portuaria Bahía de Cádiz**

**16 de septiembre de 2020**



**ELABORADO POR:**

UNIDAD ASOCIADA CSIC-UNIVERSIDAD DE HUELVA  
“CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA”

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA SOSTENIBLE (CIQSO)  
UNIVERSIDAD DE HUELVA

Dra. Ana María Sánchez de la Campa Verdona  
(Investigadora Principal)  
[ana.sanchez@pi.uhu.es](mailto:ana.sanchez@pi.uhu.es)

Dr. Jesús D de la Rosa (Investigador)

Marisa Avilés y Natalia González (Técnicos Especialistas)



## Tabla de contenido

<b>Acrónimos y abreviaturas.....</b>	<b>6</b>
<b>1.- INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
1.1.- Marco Normativo .....	8
<b>2.- METODOLOGÍA .....</b>	<b>10</b>
2.1.- Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz .....	10
2.2.- Nuevas estaciones temporales y empíricas.....	15
2.3.- Red de sensores de aerosoles atmosféricos .....	16
2.4.- Análisis de datos.....	18
2.5.- Origen regional del MPA y meteorología .....	18
<b>3.- RESULTADOS .....</b>	<b>20</b>
3.1.- Niveles de gases contaminantes y PM10 (año 2000-mayo 2020).....	20
3.2.- Evolución diaria semanal y anual.....	24
3.3.- Diagramas polares.....	34
3.4. Origen de masas de aire .....	60
3.5.- Calidad del aire durante el confinamiento COVID-19 (C-19) .....	65
<b>4.- Conclusiones .....</b>	<b>70</b>
<b>5.- Agradecimientos .....</b>	<b>70</b>

## **Acrónimos y abreviaturas**

- PM10: partículas de tamaño aerodinámico inferior a 10 micras
- PM2.5: partículas de tamaño aerodinámico inferior a 2,5 micras
- PST: partículas totales en suspensión de tamaño inferior a 30 micras
- MPA: material particulado atmosférico
- PAH: hidrocarburos aromáticos policíclicos
- APBC: Autoridad portuaria Bahía de Cádiz
- AMAAyA: Agencia de Medio Ambiente y Agua
- T: temperatura
- HR: humedad relativa
- VLD: valor límite diario
- AN: masa de aire de origen atlántico norte
- ANW: masa de aire de origen atlántico noreste
- AW: masa de aire de origen atlántico
- NAF: masa de aire de origen norteafricano
- ME: masa de aire de origen mediterráneo
- EU: masa de aire de origen europeo
- RE: Regional
- CAR: estación cartuja
- JER: estación Jerez-Chapín
- MAR: estación Avenida Marconi
- RIO: estación Río San Pedro
- SAN: estación San Fernando

## 1.- INTRODUCCIÓN

Con fecha 21 de mayo de 2020 se firma un contrato de investigación entre la Autoridad Portuaria Bahía de Cádiz y la Universidad de Huelva denominado: Asistencia Técnica para el Suministro e instalación de filtros y el seguimiento (análisis, ensayos, informes, etc) de emisiones atmosféricas en las dos estaciones de control ubicadas en las posibles zonas de influencia de los terrenos portuarios de la cabezuela (Puerto Real) EXP CA-005-20.

La investigadora principal del estudio es Dra. Ana María Sánchez de la Campa Verdona, perteneciente a la Unidad Asociada CSIC-UHU “Contaminación Atmosférica” del Centro de Investigación en Química Sostenible de la Universidad de Huelva.

Este grupo de investigación posee una experiencia superior a 20 años en el estudio de la calidad del aire a través de propuestas metodológicas que sirven para conocer el origen de las fuentes y su cuantificación, principalmente en aerosoles atmosféricos. De esta forma, el grupo posee la cualificación científico técnica necesaria para realizar los trabajos encomendados consistentes principalmente en el suministro, colocación y seguimiento de los filtros de muestreo de bajo volumen y ensayos, así como todos los informes necesarios.

La Unidad Asociada CSIC-UHU Contaminación Atmosférica de la Universidad de Huelva dispone de un sistema de gestión de la calidad conforme a la Norma ISO 9001:2015 y un sistema de gestión ambiental conforme a la Norma ISO 14001:2015 certificado por AENOR desde el año 2011 para las actividades que garantiza la calidad de los trabajos contenidos en los trabajos a contratar:

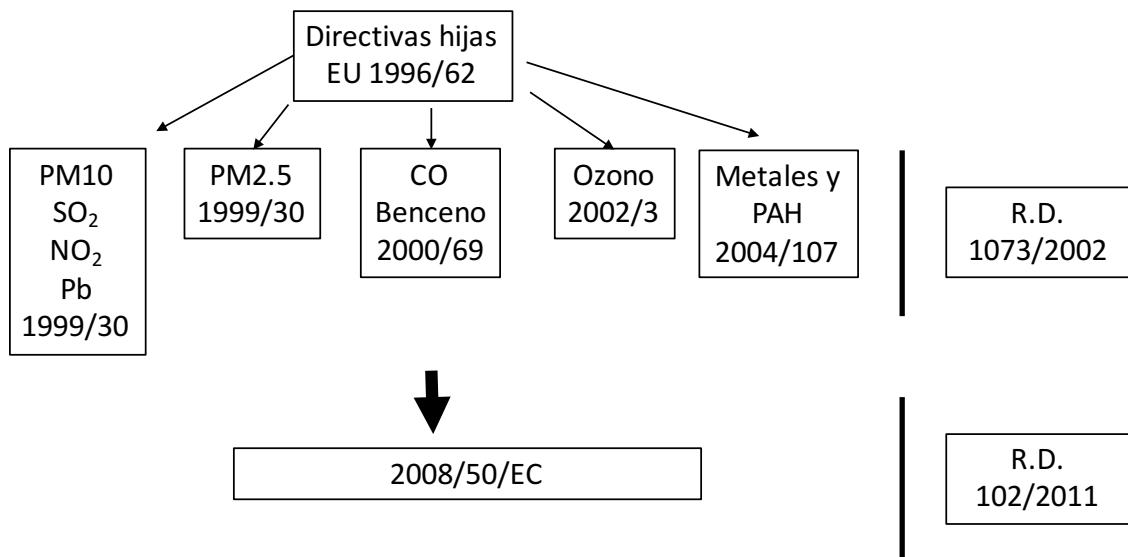
- Diagnóstico de la Contaminación Atmosférica por material particulado
- Estudio de niveles de gases y partículas
- Muestreo y caracterización geoquímica el material particulado
- Identificación y cuantificación de fuentes.
- Evaluación de episodios norteafricanos
- Cuantificación de niveles de partículas ultrafinas y especies de carbono
- Sistema integrado y modelización
- Campañas intensivas de muestreo de focos de emisión.

La última auditoría fue realizada con éxito el pasado 27 de enero de 2020

En este informe 0 se detallan los primeros trabajos relacionados con la puesta en marcha de las dos nuevas estaciones de muestreo de carácter temporal y empíricas de aerosoles atmosféricos. También se describe las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía y la evolución de niveles de gases contaminantes y PM10 entre los años 2000 y mayo 2020.

### 1.1.- Marco Normativo

En la [Figura 1.1](#) se muestran la evolución de las distintas directivas europeas que controlan la calidad del aire en PM10, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y Pb (1999/30), PM2.5 (1999/30), CO y Benceno (2000/69) y Ozono (2002/3). Estas directivas han quedado reflejadas en el Real Decreto 1073/2002.



**Figura 1.1.-** Evolución de las Directivas EU y R.D. sobre la calidad del aire: PM10, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Ozono, Benceno y Pb.

En la actualidad se encuentra vigente la Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa.

Históricamente, y desde un punto de vista legislativo, el control del material particulado atmosférico se realizaba en España hasta julio de 2001 mediante las medidas de humos negros (HN) y partículas en suspensión totales o PST (Reales Decretos 1613/1985 y 1321/1992, BOE nº 219 y 289 de 12/9/85 y 2/12/92 respectivamente, incorporación de las Directivas 80/779/CEE y 89/427/CEE al territorio español). Con posterioridad, y en base a los resultados obtenidos en los estudios epidemiológicos, se publica la directiva europea 1999/30/CE, y el Real Decreto 1073/2002, estableciendo el control de los niveles de PM10 en lugar del PST.

La nueva normativa implicó un cambio en el parámetro de control y una disminución en los valores límites. La directiva 1999/30/CE se implementó en dos fases:

- 1) En 2005 no se deberá superar un valor medio anual de 40  $\mu\text{gPM10m}^{-3}$  y no se podrán superar más de 35 días al año concentraciones medias diarias de 50  $\mu\text{gPM10m}^{-3}$ , y
- 2) En 2010 se propone como valor objetivo una concentración media anual de 20  $\mu\text{gPM10m}^{-3}$  y el valor límite diario de 50  $\mu\text{gPM10m}^{-3}$  no ha de excederse más de 7 días por año.

Esta directiva también cita la importancia del PM2.5 así como los pocos estudios realizados sobre este parámetro. La Comisión Europea de Medio Ambiente ha mostrado la necesidad de desarrollar proyectos de investigación con objeto de aumentar los conocimientos sobre el material particulado atmosférico (MPA), especialmente en PM2.5, y plantea además una posible revisión de la normativa referentes al control del MPA, de forma similar a la normativa existente en Estados Unidos.

En el caso de Pb en PM10, se ha fijado un límite medio anual de 500 ngPb/m<sup>3</sup> según la directiva 1999/30/CE. Hasta ese momento, la Directiva Europea y el Real Decreto 1073/2002 sólo establecen límites relativos a la concentración de PM10, no considerando diferencias en función de la composición química. Con posterioridad se publicó una posición común (“position paper”) que establece niveles guías recomendados relativos a la concentración medida anual de metales y metaloides, destacándose As, Cd, y Ni (6 ng/m<sup>3</sup>, 5 ng/m<sup>3</sup> y 20 ng/m<sup>3</sup>, respectivamente). Estos valores recomendados no son de obligado cumplimiento sino valores objetivos. Finalmente, en 2004 se publicó la Directiva 2004/107/CE de 15 de diciembre de 2004 relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente

En la [Tabla 1.1](#), además de los niveles de adaptación de PM10 a las normativas europeas, también se ha incluido los niveles de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y CO.

**Tabla 1.1.-** Valores límite y umbrales de alerta (μg/m<sup>3</sup>) según el R.D. 1073/2002 y las DIRECTIVAS 1999/30/CE y 2000/69/CE.

μg/m <sup>3</sup>	Protección	Periodo	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
SO <sub>2</sub>	Salud humana	horario	470	440	410	380	350					
	Salud humana	diario (24 ocasiones año civil)	125	125	125	125	125					
	Ecosistemas	año civil / invierno	20	20								
	Umbral alerta	3 horas consecutivas	500	500								
NO <sub>2</sub>	Salud humana	horario (18 ocasiones año civil)	290	280	270	260	250	240	230	220	210	200
	Salud humana	año civil / invierno	58	56	54	52	50	48	46	44	42	40
	Umbral Alerta	3 horas consecutivas	400	400								
NO <sub>x</sub>	Vegetación	año civil / invierno	30	30								
PM10	Salud humana	diario (35 ocasiones año civil)	70	65	60	55	50					
	Salud humana	año civil / invierno	43,4	44,8	43,2	41,6	40					
CO	Salud humana	media 8 horas máxima diaria	16000	16000	14000	12000	1000					
Ozono	Salud humana	octohorario (25 ocasiones año civil)					120					
	Umbral información	horario					180					
	Umbral de alerta	horario					240					

En 2008, la Unión Europea aprueba la Directiva 2008/50/CE, relativa a la calidad del aire y a una atmósfera más limpia en Europa, la cual fue transpuesta al Real Decreto 102/2011 de 28 de enero relativo a la mejora de la calidad del aire, la cual se encuentra en vigor en la actualidad. Según esta Directiva, los principales límites a tener en cuenta en relación a partículas atmosféricas y gases contaminantes están descritos en la [Tabla 1.1](#).

Las directivas a tener en cuenta son:

- DIRECTIVE 2008/50/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe: [Web link](#).
- DIRECTIVE 2004/107/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. [Web link](#).
- DIRECTIVE 2002/3/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 12 February 2002 relating to ozone in ambient air. [Web link](#)
- DIRECTIVE 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air. [Web link](#).

## 2.- METODOLOGÍA

Desde el punto de vista metodológico se describe a continuación las estaciones que constituyen la Red de Calidad del Aire de Andalucía y las dos nuevas estaciones temporales y empíricas implantadas gracias al desarrollo de este estudio. Se describirá el análisis de datos de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz entre los años 2000 y mayo 2020 con objeto de conocer la evolución histórico y evaluar la situación de calidad del aire de la Bahía de Cádiz tanto en gases contaminantes como en PM10.

También se considerarán el tratamiento de datos que se ha seguido y el análisis de masas de aire de tipo norteafricano.

### 2.1.- Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz

Las estaciones de muestreo de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz son ([Fig. 2.1](#)):

- Avda. Marconi (Cádiz): 36.50601, -6.26857 (Latitud, Longitud)
- Río San Pedro (Puerto Real): 36.52282, -6.22517 (Latitud, Longitud)
- San Fernando: 36.46059, -6.20306 (Latitud, Longitud)
- Cartuja (Jerez): 36.66086, -6.11449 (Latitud, Longitud)
- Jerez-Chapín (Jerez): 36.68855, -6.11724 (Latitud, Longitud)

Todas ellas disponen de equipos automáticos para la determinación de niveles de gases contaminantes (óxidos de nitrógeno, óxido de azufre, ozono y monóxido de carbono) y material particulado atmosférico (PM10, inferior a 10  $\mu\text{m}$ ). Además, disponen de equipo para el muestreo de material particulado atmosférico en filtros de fibra de cuarzo para su posterior análisis gravimétrico.

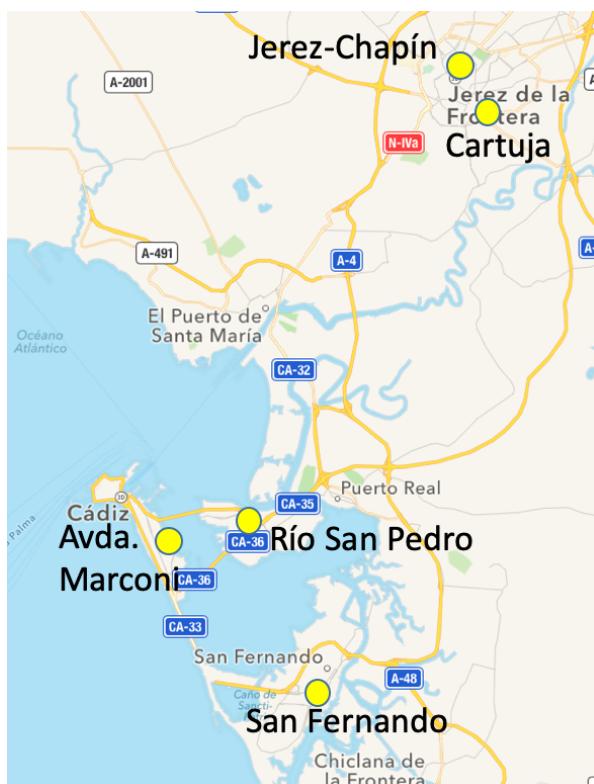
Un detalle de cada una de las estaciones se encuentra en la [Figura 2.2](#), permitiendo clasificar las estaciones en:

- Tráfico (Avda. Marconi).
- Fondo urbano (Río San Pedro, San Fernando, Cartuja y Jerez-Chapín).

Los métodos de referencia para la medida para cada contaminante están descritos en la [Tabla 2.1](#).

**Tabla 1.1.-** Métodos de medida de gases contaminantes y material particulado atmosférico según RD 102/2011

Contaminante	Método de referencia	Método
SO <sub>2</sub>	UNE-EN 14212:2006	Fluorescencia UV
NO <sub>2</sub> y NOx	UNE-EN 14212:2006	Quimioluminiscencia
Pb, As, Cd y Ni	UNE-EN 14902:2006	ICPMS
PM10	UNE-EN 12341:1999	Gravimetría
PM2.5	UNE-EN 14907:2006	Gravimetría
C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	UNE-EN 14662:2006	Cromatografía de gases
CO	UNE-EN 14626:2006	Absorción de IR
O <sub>3</sub>	UNE-EN 14625:2005	Absorción UV



**Figura 2.1.-** Localización de las estaciones de muestreo en Bahía de Cádiz pertenecientes a la Red de Calidad del Aire de Andalucía.



**Figura 2.2.-** Detalle de la ubicación de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz.



**Figura 2.2 (continuación).-** Detalle de la ubicación de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz.

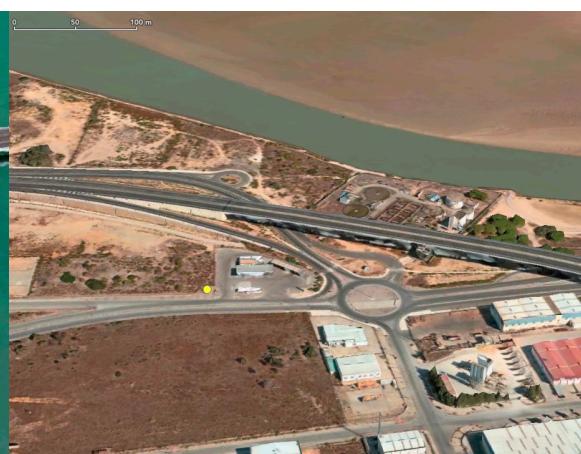
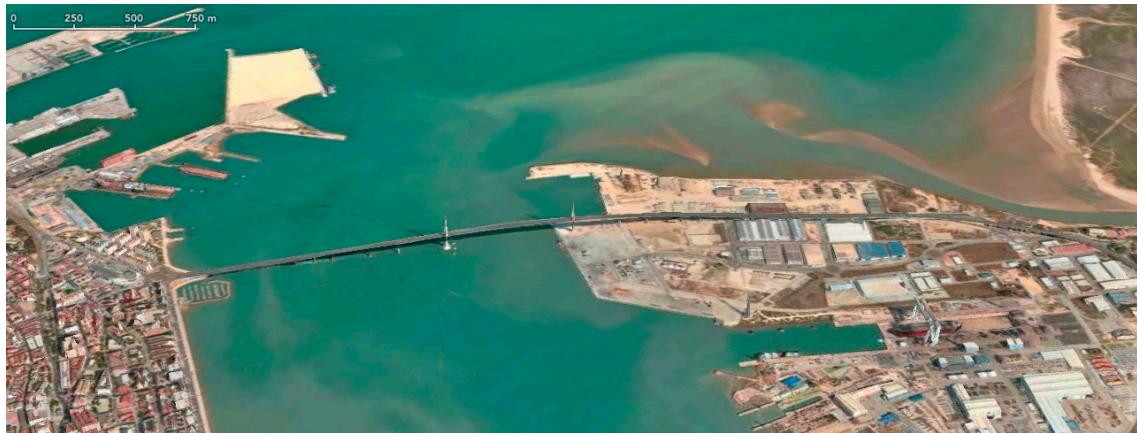


**Figura 2.2 (continuación).-** Detalle de la ubicación de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz.

## 2.2.- Nuevas estaciones temporales y empíricas

En el mes de julio se procede a la instalación de dos nuevas estaciones temporales y empíricas de muestreo (Fig.2.3):

- - La Cabezuela: situada próxima a la estación de servicio CEPSA.
- -Club Náutico Viento de Levante (CN Viento de Levante), en la ciudad de Cádiz.



**Figura 2.3.-** Estaciones de CN Viento de Levante y La Cabezuela de la Red de Calidad del Aire.

Cada estación dispone de instrumentación para la medida automática de PM10 (equipo THERMO) y muestreo de partículas PM10 mediante captadores de bajo volumen (DIGITEL) (Fig. 2.4).

El equipo de atenuación beta envía mediante un integrador los niveles cada diez minutos al Centro de Datos de la Red de Calidad del Aire de Andalucía, de la Agencia de Medio Ambiente y Agua de Andalucía (AMAyA).

Durante el mes de agosto se está instalando una estación meteorológica en ambas estaciones, que también enviarán los datos al mismo Centro de Datos.



**Figura 2.4.-** Equipo de atenuación beta (Thermo) para la medida en continuo de PM10 con integrador de datos (izquierda) y captador de bajo volumen DIGITEL para el muestreo de partículas PM10.

Los captadores de bajo volumen están muestreando diariamente PM10. Los filtros empleados son Munktell®, siendo aportados previo análisis gravimétricos por la Unidad Asociada al CSIC-UHU “Contaminación Atmosférica”.

### 2.3.- Red de sensores de aerosoles atmosféricos

En julio de 2020 se han instalado 7 sensores para la medida en continuo de aerosoles atmosféricos (PM10 y PM2.5) y parámetros meteorológicos como temperatura y humedad relativa. Los nodos empleados son AirvisualPro (Fig. 2.5), los cuales poseen un sensor AVPM25b del tipo LLS desarrollado por IQAir para la medida de PM10, PM2.5 y PM1, además de un sensor para la determinación de CO<sub>2</sub> (Airsense). Registran también T y HR cada 10 segundos almacenando los datos en una memoria interna de

4 Gb o bien se transmite a un servidor si se dispone de conexión WIFI. Los datos pueden ser descargados como un archivo.csv utilizando el protocolo SMB.

Los nodos empleados se adquirieron en noviembre de 2019. Previamente a este estudio, estuvieron instalados en Villanueva del Arzobispo, hasta la primera semana de marzo de 2020.



**Figura 2.5.-** Nodos Airvisual Pro empleados este estudio.

Los criterios para la instalación de la red fueron consensuados por el Departamento de Desarrollo Portuario de APBC y la Unidad Asociada de la Universidad de Huelva, estimándose las siguientes ubicaciones ([Fig. 2.6](#)):

- Cabina Control Calidad del Aire Río San Pedro: Este nodo permite centralizar la intercomparación con los nodos del resto de la red al situarse en una cabina de la Red de Calidad del Aire.
- Cabina La Cabeza, perteneciente a la Junta de Andalucía con la colaboración de la APBC.
- Cabina de CN Viento de Levante, perteneciente a la Junta de Andalucía con la colaboración de la APBC.
- Sector La Cabeza: dispone de 3 sensores en el interior de las instalaciones portuarias alineados en dirección NW-SE.
- Zona Franca.



**Figura 2.6.-** Ubicación de los nodos Airvisual Pro en Bahía de Cádiz.

## 2.4.- Análisis de datos

Los niveles de gases contaminantes y PM10 de las cinco estaciones de Bahía de Cádiz pertenecientes a la Red de Calidad del Aire de Andalucía fueron suministrados por la Jefatura de Servicio de Calidad del Aire de la Dirección General de Calidad Ambiental de la Junta de Andalucía. El Periodo de estudio comprende los años 2000 a mayo 2020, a nivel horario.

Los datos meteorológicos desde el año 1985 fueron adquiridos en <https://www.meteoblue.com> .

En el estudio de los niveles se empleó el paquete informático Openair (<https://davidcarslaw.github.io/openair/>) en base al lenguaje R. Para cada uno de los parámetros se han realizado diagramas de variación temporales, smoothtrend y polares (anuales, estacionales, mensuales y horarios), los cuales permiten conocer tanto la evolución temporal como adelantar la posición de las fuentes emisoras que impactan en las estaciones estudiadas.

## 2.5.- Origen regional del MPA y meteorología

Con objeto de conocer la procedencia regional de las partículas, se ha empleado la metodología descrita en el informe sobre PROCEDIMIENTO PARA IDENTIFICACIÓN DE EPISODIOS NATURALES AFRICANOS DE PM10 Y PM2.5, Y LA DEMOSTRACIÓN DE CAUSA EN LO REFERENTE A LAS SUPERACIONES DEL VALOR LÍMITE DIARIO DE PM10 (<https://bit.ly/2kAl44w> ):

- Cálculo de retrotrayectorias: se emplea el modelo HYSPLIT ([Stein et al. 2015](https://doi.org/10.5439/38674); <https://bit.ly/2DcNBTi> ). Con este modelo se describe dónde se encuentra una partícula que llega a la zona de estudio hace 5 días (120 horas). Las retrotrayectorias se han obtenido para cada día a las 12:00 h. Se obtuvieron retrotrayectorias isentrópicas para alturas de partida 750 m, 1500 m y 2500 m sobre la superficie. Las retrotrayectorias se han descrito en función de su procedencia según los siguientes sectores: Atlántico Norte (AN), Atlántico Noroeste (ANW), Atlántico Oeste (AW), Norte de África (NAF), Mediterráneo (ME), Europa (EU) y Regional

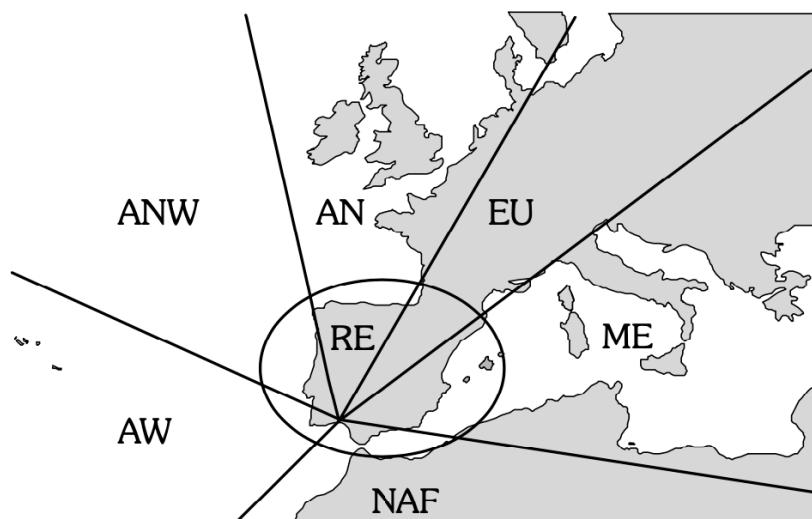
(RE). Se ha seleccionado un dominio de cálculo para Andalucía Occidental (Lat 7° N 6° W) (Figura 2.7).

- Mapas de concentración y simulación de aerosoles SKIRON (Kallos et al., 1997) <http://forecast.uoa.gr/dustindx.php>
- NAAPS <https://www.nrlmry.navy.mil/>
- NASA Earth Data Worldview <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>
- EARTH NULLSCHOOL: <https://earth.nullschool.net/>

Además, se ha estudiado los mapas sinópticos de Met-Office según <https://bit.ly/2KP9KLT>

Las series históricas de los mapas de frentes, Nasa Earth Data Worldview y retrotrayectorias se encuentran actualizados en el repositorio <https://bit.ly/3I2WQcy>

Los parámetros meteorológicos han sido estudiados a partir de METEOBLUE (<https://www.meteoblue.com/> ), incluyendo la serie desde el año 1984 hasta hoy a través del paquete *history+*. Los datos incluidos en el modelo METEOBLUE son temperatura, viento, nubes, precipitación principalmente. Estos datos se obtienen a través de distintos modelos (NEMSGLOBAL, ERA5, NEMS12 & NEMS4, ICON, entre otros) con una resolución de 30 km (entre 1984-2007) y 4 km desde el año 2008 hasta hoy.



**Figura 2.7.-** Sectores de origen de retrotrayectorias de masas de aire.

## 3.- RESULTADOS

### 3.1.- Niveles de gases contaminantes y PM10 (año 2000-mayo 2020)

En la [Figura 3.1](#) y [Tabla 3.1](#) se muestra la evolución de niveles promedio horarios de NO<sub>2</sub>, PM10, O<sub>3</sub> y CO entre 2000 y mayo 2020 en las estaciones de Cartuja (CAR), Jerez-Chapín (JER), Avda. Marconi (MAR), Río San Pedro (RIO) y San Fernando (SAN).

En relación a **NO<sub>2</sub>**, las máximas concentraciones promedio en el periodo considerado se han alcanzado en Jerez-Chapín (22 µg/m<sup>3</sup>), seguido por Avda. Marconi (19 µg/m<sup>3</sup>) y Río San Pedro y San Fernando (ambas 17 µg/m<sup>3</sup>). La menor concentración se obtuvo en Cartuja (8). El límite anual para este contaminante según 2008/50/CE es 40 µg/m<sup>3</sup>, superándose entre los años 2000 a 2003 en Jerez-Chapín. En el año 2004 no existe datos de este contaminante, continuando el registro en los siguientes años con valores promedios inferiores a 20 µg/m<sup>3</sup>, hasta el año 2019 (19 µg/m<sup>3</sup>).

Los niveles de **CO** son muy bajos en comparación con el límite anual según 2008/50/CE (10.000 µg/m<sup>3</sup>). Las máximas concentraciones se obtuvieron en Avda. Marconi (630 µg/m<sup>3</sup>), seguida por Cartuja (605 µg/m<sup>3</sup>), San Fernando (592 µg/m<sup>3</sup>) y Jerez-Chapín (512 µg/m<sup>3</sup>). Las máximas concentraciones anuales de este contaminante se obtuvieron entre los años 2000 a 2001 en la estación de Jerez-Chapín (1415 µg/m<sup>3</sup> y 1165 µg/m<sup>3</sup>, respectivamente), (ver [Tabla 3.1](#)).

La máxima concentración promedio anual de **Ozono Troposférico** se alcanzó en San Fernando (70 µg/m<sup>3</sup>), seguida de Avda. Marconi (67 µg/m<sup>3</sup>), Cartuja (63 µg/m<sup>3</sup>) y Jerez (61 µg/m<sup>3</sup>).

Finalmente, la máxima concentración de **PM10** se alcanza en Avda. Marconi (35 µg/m<sup>3</sup>), Cartuja (33 µg/m<sup>3</sup>), Jerez-Chapín (32 µg/m<sup>3</sup>), Río San Pedro (27 µg/m<sup>3</sup>) y San Fernando (23 µg/m<sup>3</sup>). Se supera el valor límite anual de 40 µg/m<sup>3</sup> (según 2008/50/CE) en los años 2000, 2003 a 2007 en Marconi, 2002 y 2005-2007 en Cartuja, 2000-2003 en Jerez Chapín, En el resto de estaciones no se llegó a superar el mencionado límite.

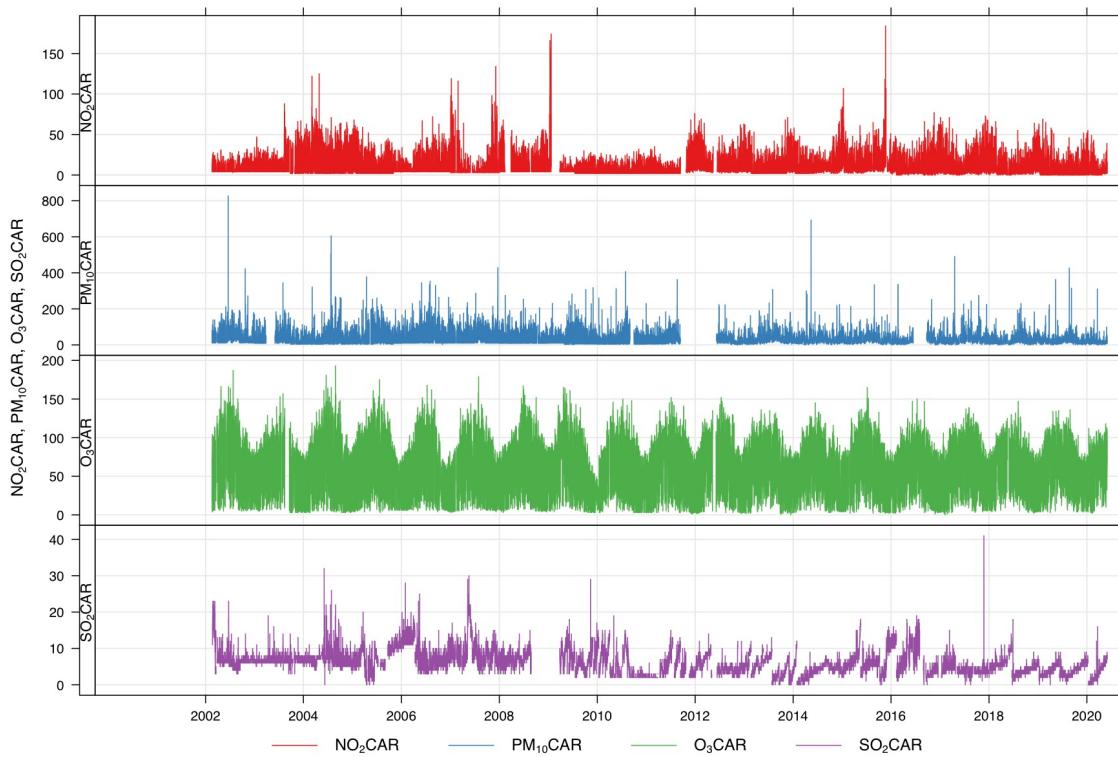
Teniendo en cuenta el aporte de partículas de origen norteafricano, y a partir del estudio de retrotrayectorias y análisis de imágenes satélite, el *valor límite diario* (VLD) de PM10 según 2008/50/CE (50 µg/m<sup>3</sup> no más de 35 días al año), se ha superado en:

- - Avda. Marconi: año 2000 (52 ocasiones, año 2003, 69, año 2004 52 ocasiones, año 2006, 70 ocasiones y año 2007 en 54 ocasiones).
- -En Cartuja, las superaciones ocurrieron en el año 2002 (60 días), 2005 (59), 2006 (62) y 2007 (61).
- -Jerez Chapín.

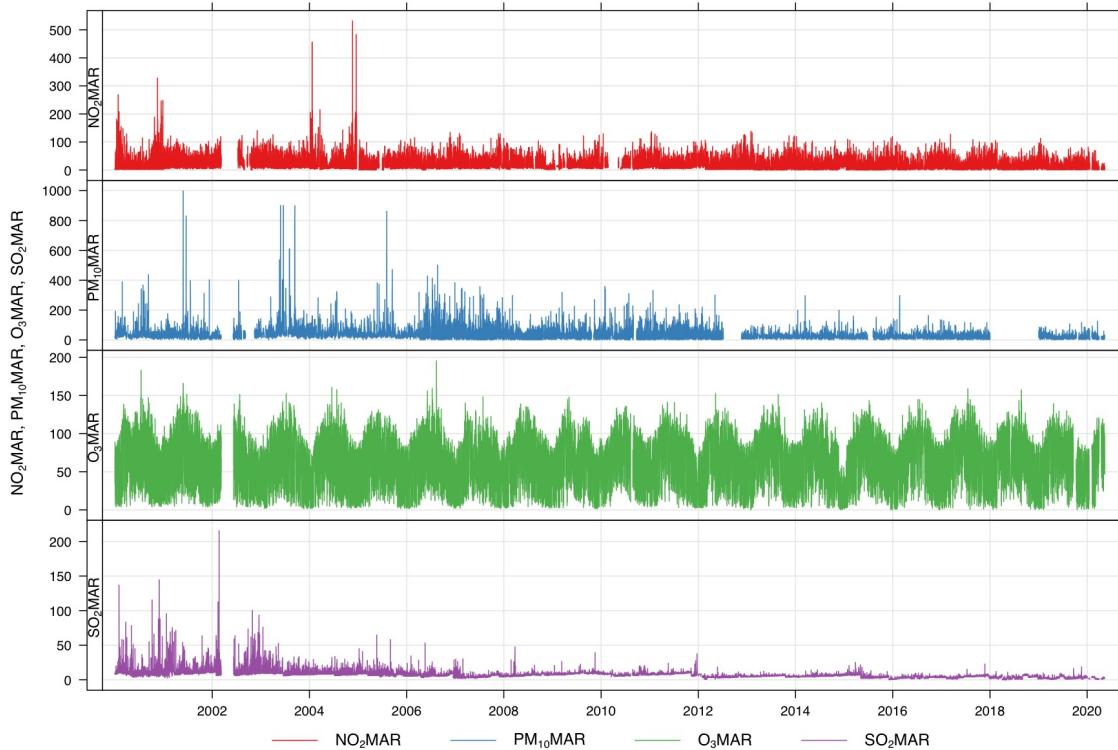
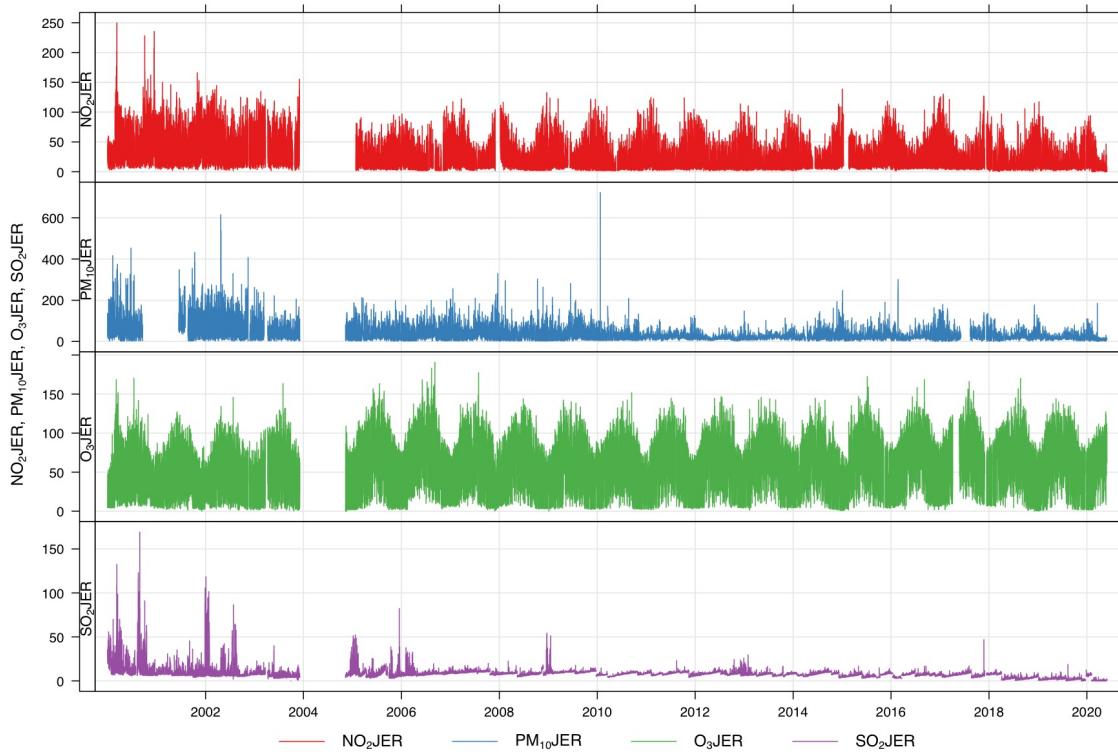
En Río San Pedro y San Fernando no se ha superado el VLD en PM10 según 2008/50/CE debido a causas antropogénicas.

Finalmente, en ningún caso se ha superado niveles diarios ni horarios de SO<sub>2</sub> en el periodo de estudio en las estaciones consideradas.

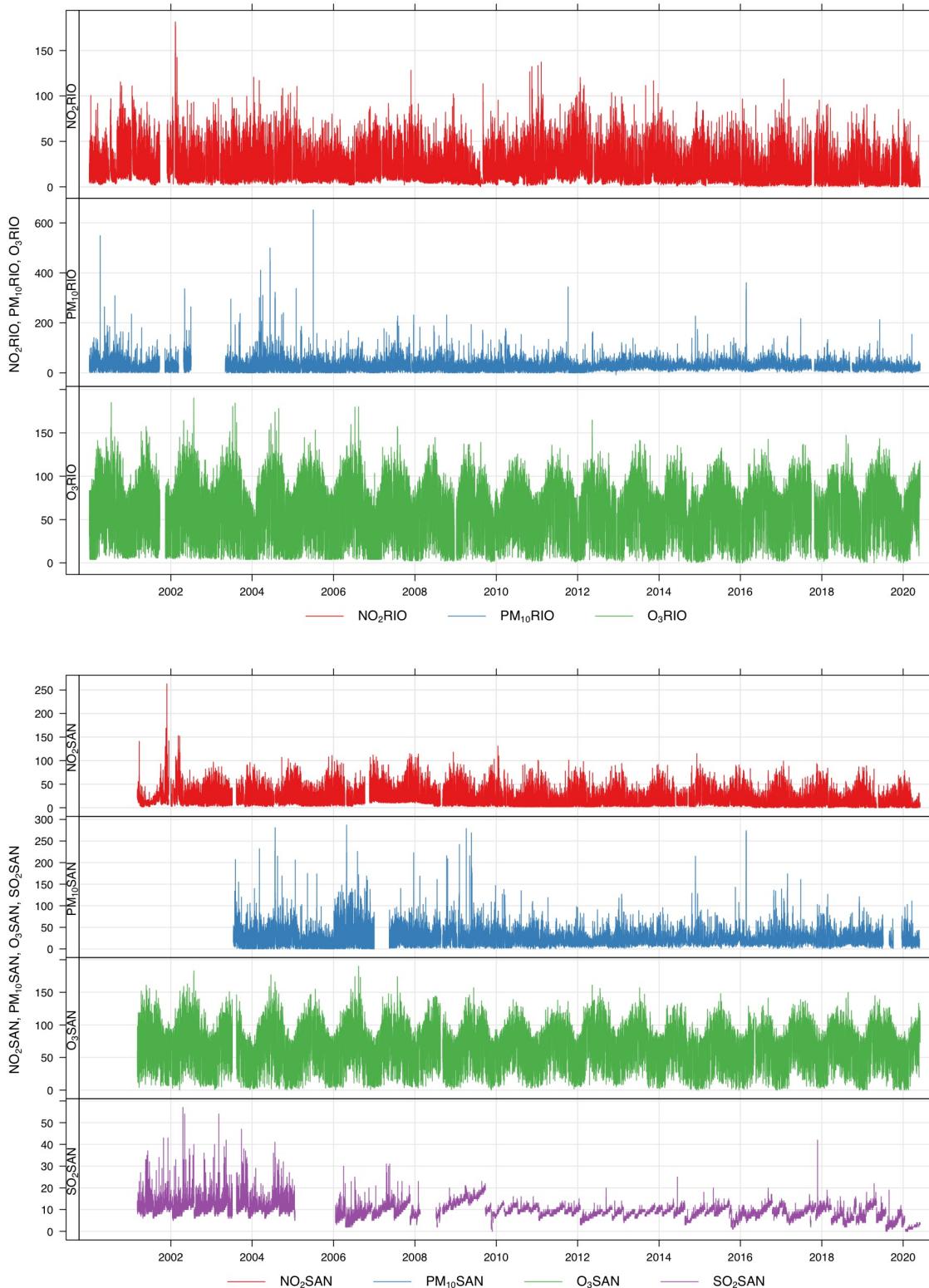
En Andalucía, el dióxido de azufre ha sido un contaminante principal en la década de los 80 en el Entorno de la Ría de Huelva y Campo de Gibraltar, derivado de las emisiones de los complejos petroquímicos y metalurgia (ver más en: <http://uhuaerosol.blogspot.com/p/so2.html> ).



**Figura 3.1.-** Diagramas de variación de  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}10$ ,  $\text{O}_3$  y  $\text{SO}_2$  (unidades en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de la Junta de Andalucía en Bahía de Cádiz, en el periodo año 2000-mayo 2020. Estación de Cartuja (CAR).



**Figura 3.1 (continuación).**- Diagramas de variación de  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}10$ ,  $\text{O}_3$  y  $\text{SO}_2$  (unidades en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de la Junta de Andalucía en Bahía de Cádiz, en el periodo año 2000-mayo 2020. Estaciones de Jerez-Chapín (JER) (superior) y Avda. Marconi (MAR) (inferior).



**Figura 3.1 (continuación).**- Diagramas de variación de NO<sub>2</sub>, PM10, O<sub>3</sub> y SO<sub>2</sub> (unidades en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de la Junta de Andalucía en Bahía de Cádiz, en el periodo año 2000-mayo 2020. Estaciones de Río San Pedro (RIO) (superior) y San Fernando (SAN) (inferior).

**Tabla 3.1** Niveles promedio anuales entre los años 2000-2020 (mayo) de gases contaminantes y PM10 de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de la Junta de Andalucía en Bahía de Cádiz, en el periodo año 2000-mayo 2020.

μg/m <sup>3</sup> AÑO	MARCONI						CARTUJA						JEREZ-CHAPIN											
	CO	NO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	PM10	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	PM10	SO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	PM10	SO <sub>2</sub>			
2000	1723	16	27	53	67	41	10								1415	43	36	99	49	58	16			
2001	946	27	16	51	68	38	12								1166	43	35	96	46	75	9			
2002	944	32	21	64	59	36	13	387	6	4	16	71	41	7	1001	43	32	91	47	62	10			
2003	679	27	23	63	65	60	11	491	9	5	22	62	34	7	810	42	27	83	51	40	6			
2004	734	20	27	57	63	46	9	729	13	4	20	63	36	7	868				35	31	7			
2005	19	15	50	67	41	9		8	5	16	68	43	8		18	7	29	66	35	8				
2006	591	22	19	52	66	50	7	645	8	5	14	61	45	9	423	18	11	34	69	37	8			
2007	25	17	50	61	44	5		5	9	15	61	46	9		20	9	33	61	38	10				
2008	20	14	41	65	32	7		10	5	17	65	34	8		19	7	28	62	31	8				
2009	558	18	17	43	66	32	9	500	6	4	15	62	34	7	414	19	8	33	62	33	10			
2010	492	22	12	40	71	35	8	422	4	3	11	63	30	6	459	15	6	22	62	24	7			
2011	469	22	11	39	69	37	9	575	7	4	14	64	34	5	365	18	7	27	62	25	8			
2012	455	19	9	33	65	27	4	712	12	4	16	63	25	5	292	16	6	24	62	18	8			
2013	521	16	7	28	71	23	5	437	8	4	13	65	32	5	198	15	5	21	66	23	7			
2014	437	16	7	29	64	25	6	520	9	5	15	60	28	4	202	17	8	27	60	26	8			
2015	437	16	6	27	69	24	5	839	13	8	23	63	30	6	223	19	9	31	63	26	6			
2016	314	15	5	23	71	24	3	887	8	5	15	62	25	7	186	18	8	28	68	25	7			
2017	432	15	6	25	73	25	4	649	10	5	17	64	30	4	207	18	8	28	69	27	7			
2018	419	14	5	22	70	3		717	9	4	14	62	25	5	357	14	6	22	67	23	4			
2019	547	12	4	19	68	20	3	516	6	2	8	63	24	4	402	14	6	23	66	21	2			
2020	709	9	4	17	71	19	2	627	5	5	11	65	19	4	433	11	6	19	63	15	2			
Promedio	630	19	13	39	67	35	7	605	8	5	15	63	33	6	512	22	13	40	61	32	8			

μg/m <sup>3</sup> AÑO	RIO SAN PEDRO						SAN FERNANDO									
	BCN	NO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	PM10	PXY	TOL	CO	NO <sub>2</sub>	NO	NO <sub>x</sub>	O <sub>3</sub>	PM10	SO <sub>2</sub>	
2000	19	10	35	67	37	12			870	16	24	51	74		11	
2001	21	8	34	65	21	9			943	23	12	45	75		11	
2002	20	10	35	67	31	8			1046	22	17	56	67	24	12	
2003	19	10	36	64	24	9			952	21	10	41	66	27	12	
2004	1	21	9	35	60	32	3	1		826	22	11	40	73	32	7
2005	1	17	8	29	65	25	2	1			27	18	38	71	29	10
2006	17	11	34	64	23					21	16	36	71	27	10	
2007	3	21	16	46	61	27	6	11		680	18	9	28	71	24	14
2008	2	16	13	37	62	25	4	6		477	13	6	21	70	22	11
2009	0	14	14	36	62	21	1	2		465	13	5	22	70	18	9
2010	0	17	11	36	63	23	1	1		540	15	5	23	73	17	8
2011	0	22	9	37	62	22	1	1		582	14	4	21	74	21	9
2012	0	21	7	34	60	22	1	1		500	16	5	24	65	22	9
2013	0	17	6	27	66	33	1	1		423	18	6	30	66	22	9
2014	0	15	5	24	60	28	1	1		259	13	4	18	66	21	9
2015	0	16	5	26	62	34	0	1		267	13	3	18	71	23	9
2016	0	13	4	20	64	32	0	0		211	13	4	17	69	21	8
2017	0	14	3	18	65	30	0	0		436	11	3	16	69	20	7
2018	0	12	2	16	63	25	0	1		616	8	2	11	67	18	2
2019	0	11	2	15	66	23	0	1								
2020	0	10	3	15	64	20	0	1								
Promedio	0	17	8	30	63	27	3	1	592	17	9	30	70	23	10	

### 3.2.- Evolución diaria semanal y anual

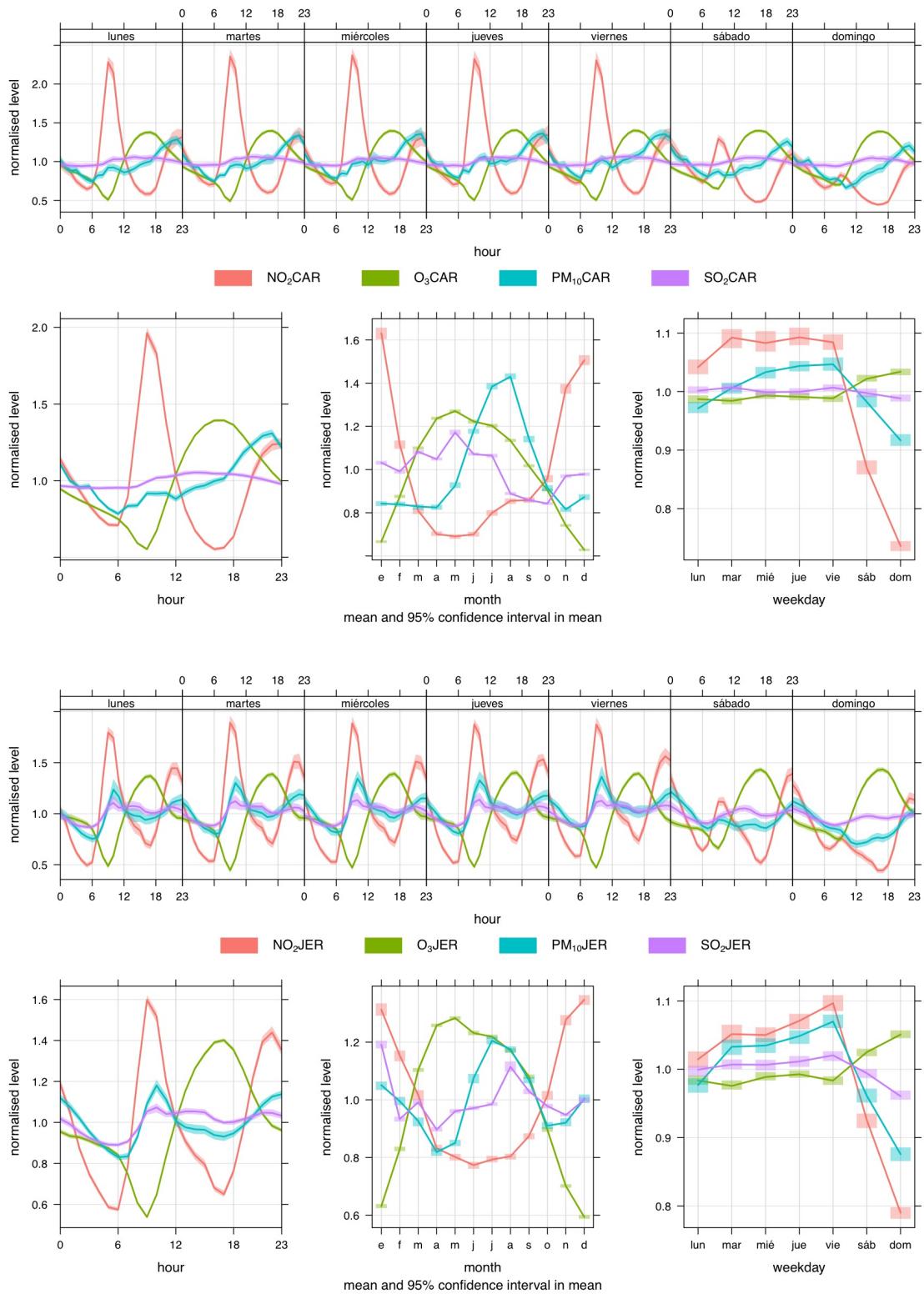
En la Fig. 3.2 se han representado los patrones de variación diarias, semanales y anuales en las estaciones estudiadas en relación a los gases contaminantes y PM10.

Desde un punto de vista diario, los máximos de NO<sub>2</sub> ocurren entre 9-10h y 22 horas coincidiendo con mínimos de ozono. En el caso de Jerez, los máximos de NO<sub>2</sub> son sincrónicos con PM10, siendo esto típico de las estaciones de tráfico. Las máximas concentraciones de PM10 ocurren a partir de 18h en Cartuja.

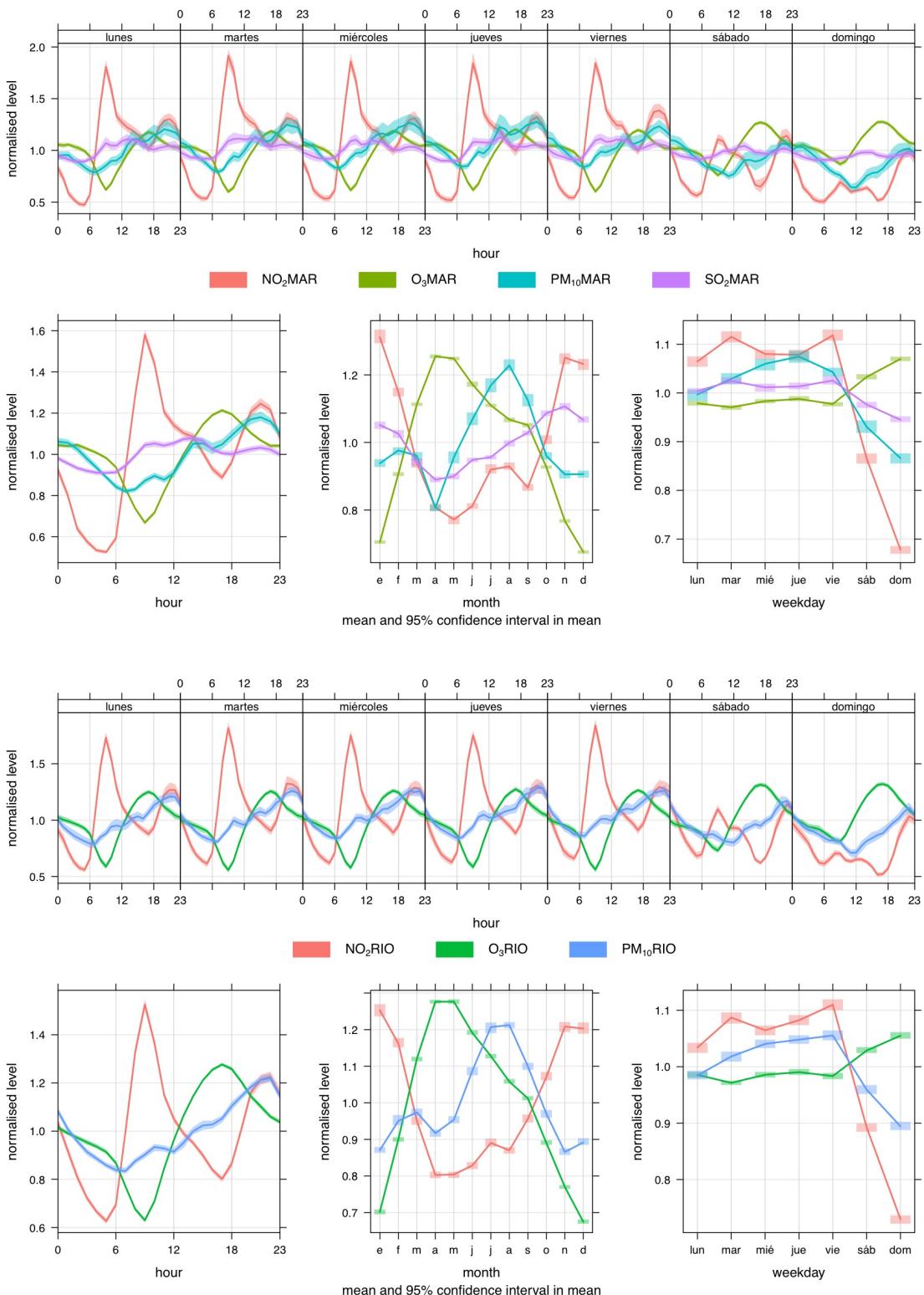
El primer máximo de NO<sub>2</sub> es superior al de la tarde-noche, salvo en San Fernando, donde ambos tienen igual magnitud.

Semanalmente, las máximas concentraciones de NO<sub>2</sub>, CO y PM10 ocurren en los días de trabajo (lunes a viernes) en comparación con el fin de semana (sábado a domingo). El ozono troposférico alcanza los máximos valores en los fines de semana.

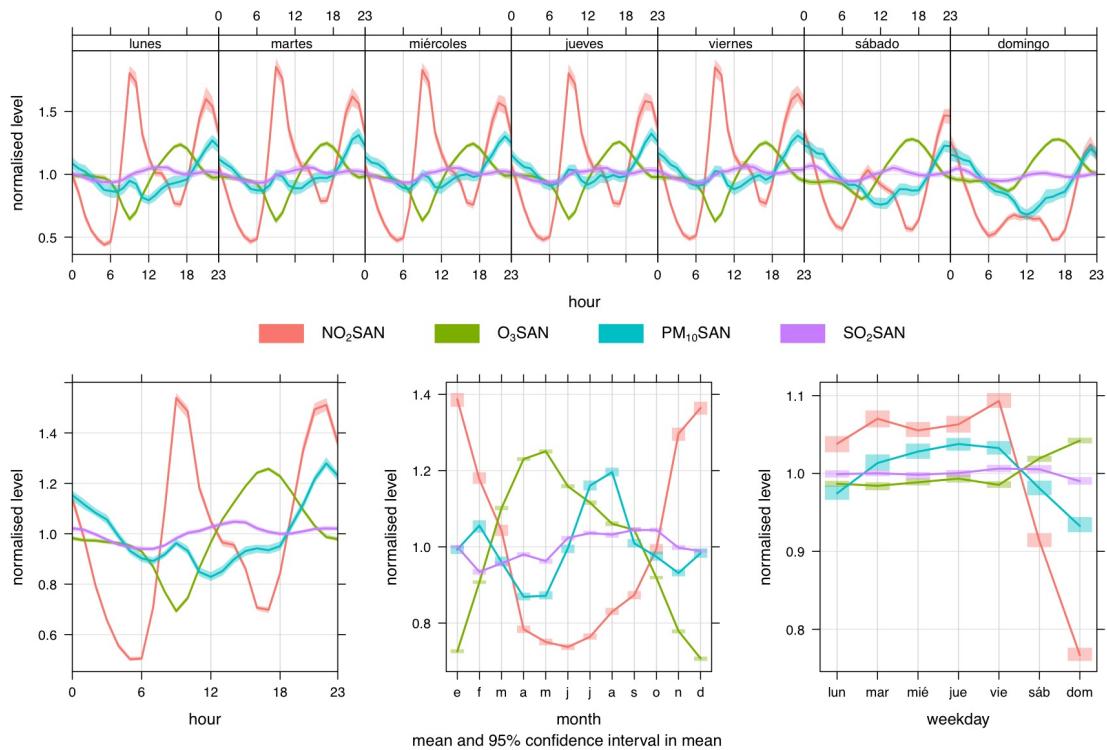
Finalmente, las máximas concentraciones de NO<sub>2</sub> tienen lugar en enero-febrero y noviembre-diciembre, ozono entre mayo a octubre y PM10 entre junio a septiembre.



**Figura 3.2.-** Diagramas de variación diario, semanal y anual de PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) de las estaciones de Cartuja (CAR) y Jerez-Chapín (JER) en el periodo año 2000-mayo 2020.

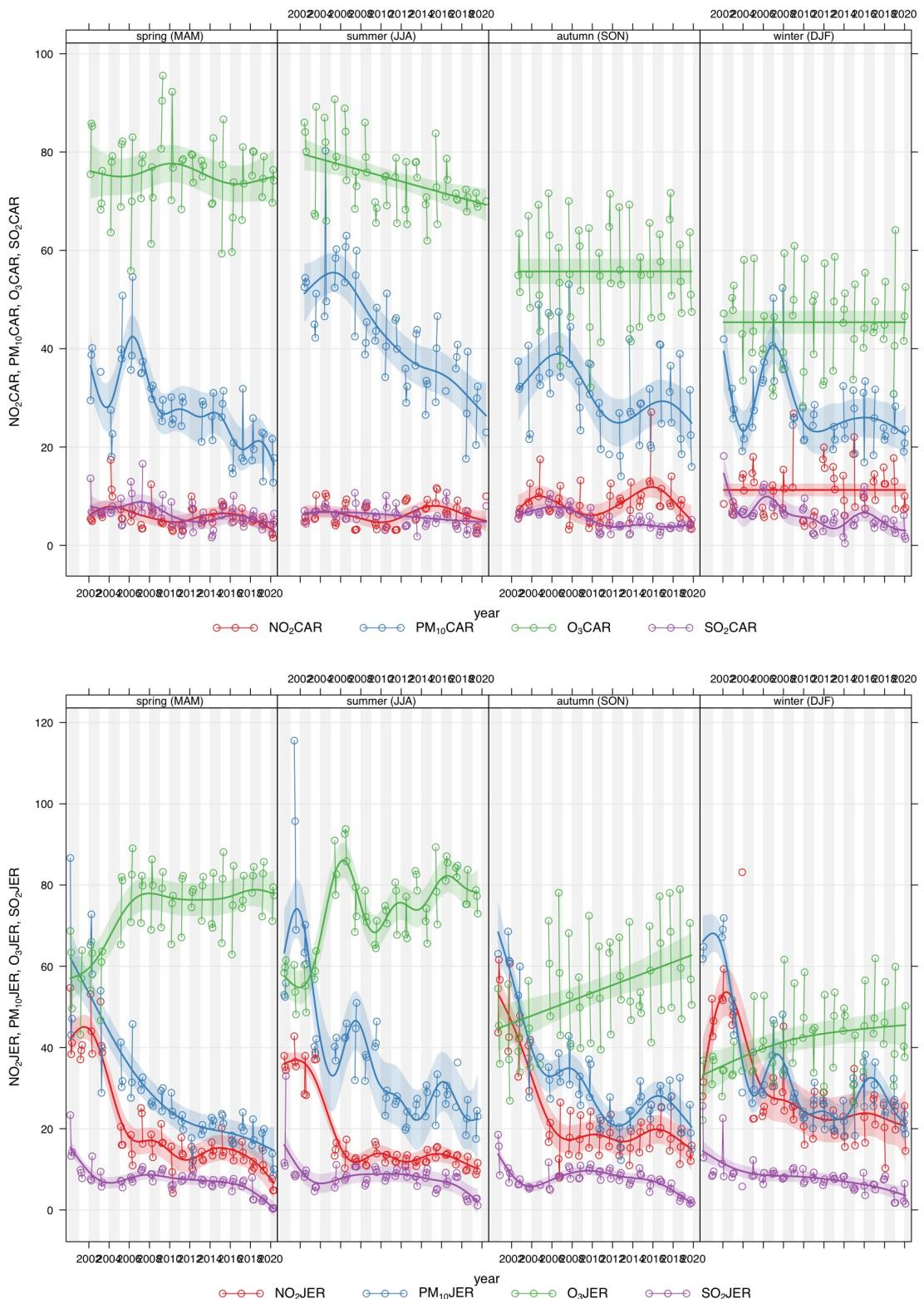


**Figura 3.2 (continuación).-** Diagramas de variación diario, semanal y anual de  $\text{PM}_{10}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de las estaciones de Avda. Marconi (MAR) y Río San Pedro (RIO) en el periodo año 2000-mayo 2020.

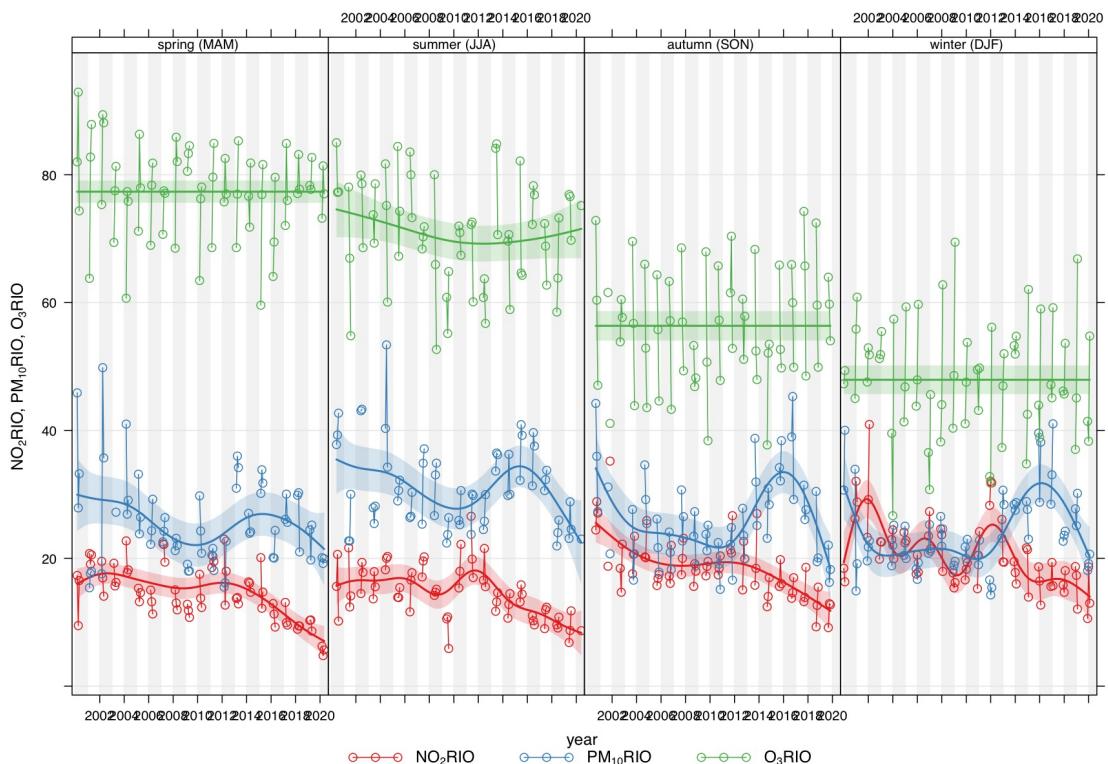
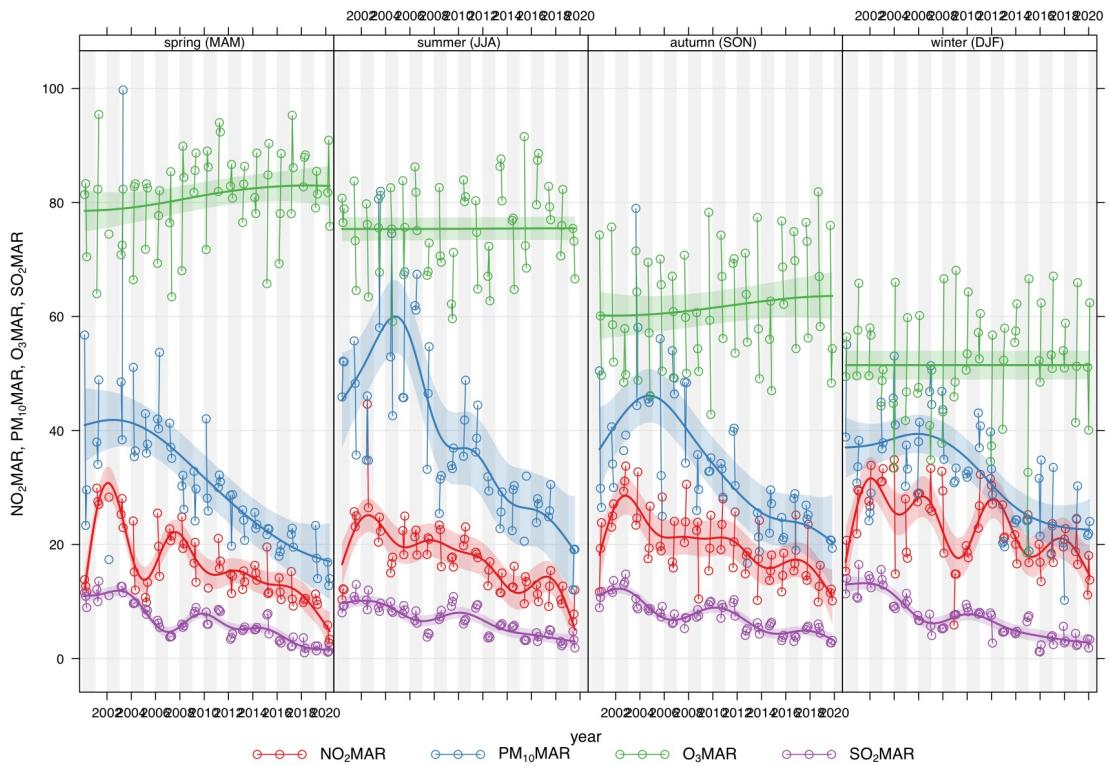


**Figura 3.2 (continuación).**- Diagramas de variación diario, semanal y anual de PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de las estaciones de San Fernando (SAN) en el periodo año 2000-mayo 2020.

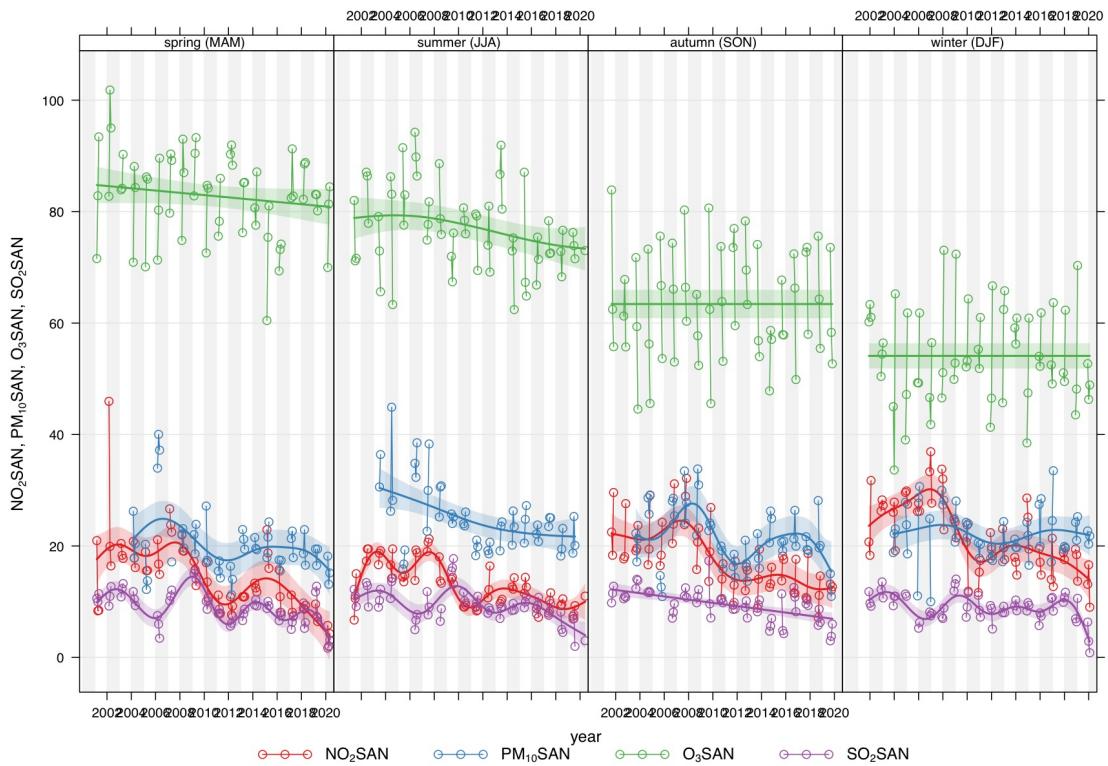
En la [Fig. 3.3](#) se han representado los diagramas de variación mensual en todo el periodo de estudio. En todos ellos se destacan el descenso en los niveles de  $\text{NO}_2$  y PM10, manteniéndose ozono troposférico, salvo en la estación de Jerez-Chapín, donde se observan ascensos sobre todo en los meses de otoño e invierno.



**Figura 3.3.-** Diagramas de evolución estacional de  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}10$ ,  $\text{O}_3$  y  $\text{SO}_2$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de las estaciones Cartuja (CAR) (superior) y Jerez-Chapín (JER) (inferior) en el periodo año 2000-mayo 2020.



**Figura 3.3 (continuación).-** Diagramas de evolución estacional de  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{O}_3$  y  $\text{SO}_2$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de las estaciones Avda. Marconi (MAR) (superior) y Río San Pedro (RIO) (inferior) en el periodo año 2000-mayo 2020.

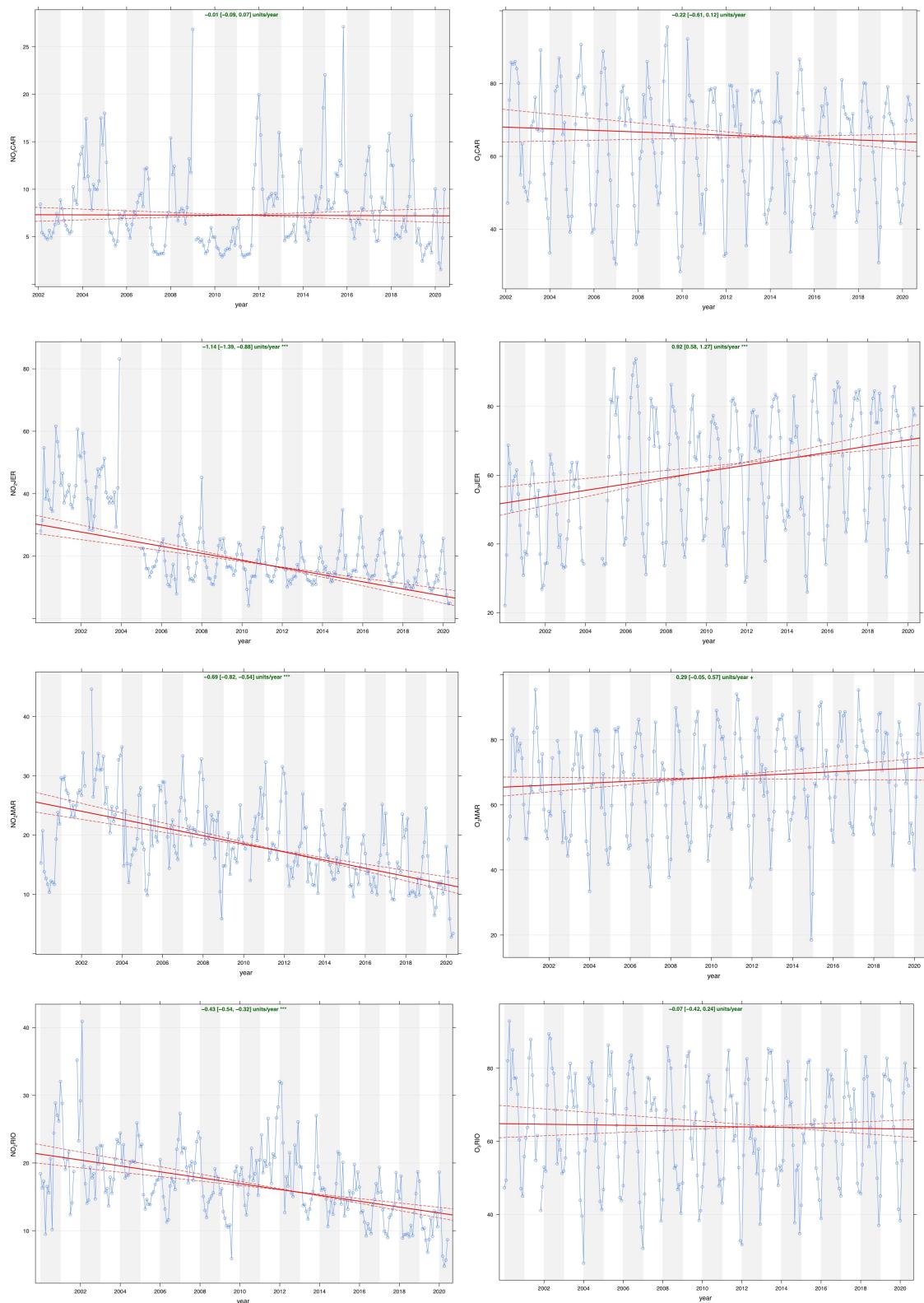


**Figura 3.3 (continuación).**- Diagramas de evolución estacional de  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}10$ ,  $\text{O}_3$  y  $\text{SO}_2$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de la estación de San Fernando (SAN) en el periodo año 2000-mayo 2020.

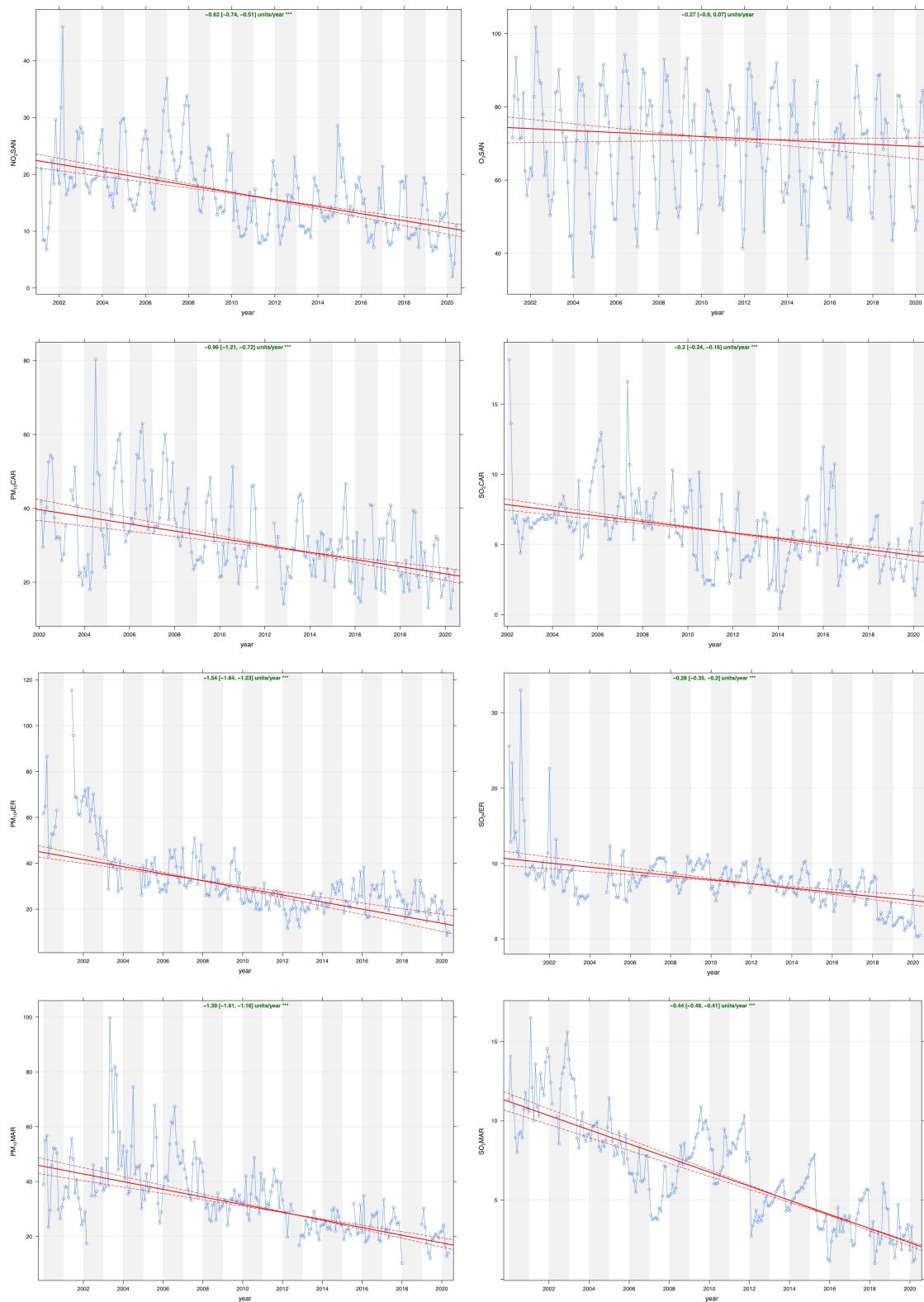
En la Tabla 3.2 se han representado las tasas de variación anual de cada uno de los contaminantes según los diagramas Theilsen (Fig. 3.4). Se destaca sobre todo el descenso en  $\text{NO}_2$  (Jerez-Chapín hasta  $1.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  año) y  $\text{PM}10$  (Jerez-Chapín hasta  $1.54 \mu\text{g}/\text{m}^3$  año).

**Tabla 3.2.-** Evolución Theilsen de  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{PM}10$  y  $\text{SO}_2$  en las estaciones estudiadas en el periodo año 2000 a mayo 2020.

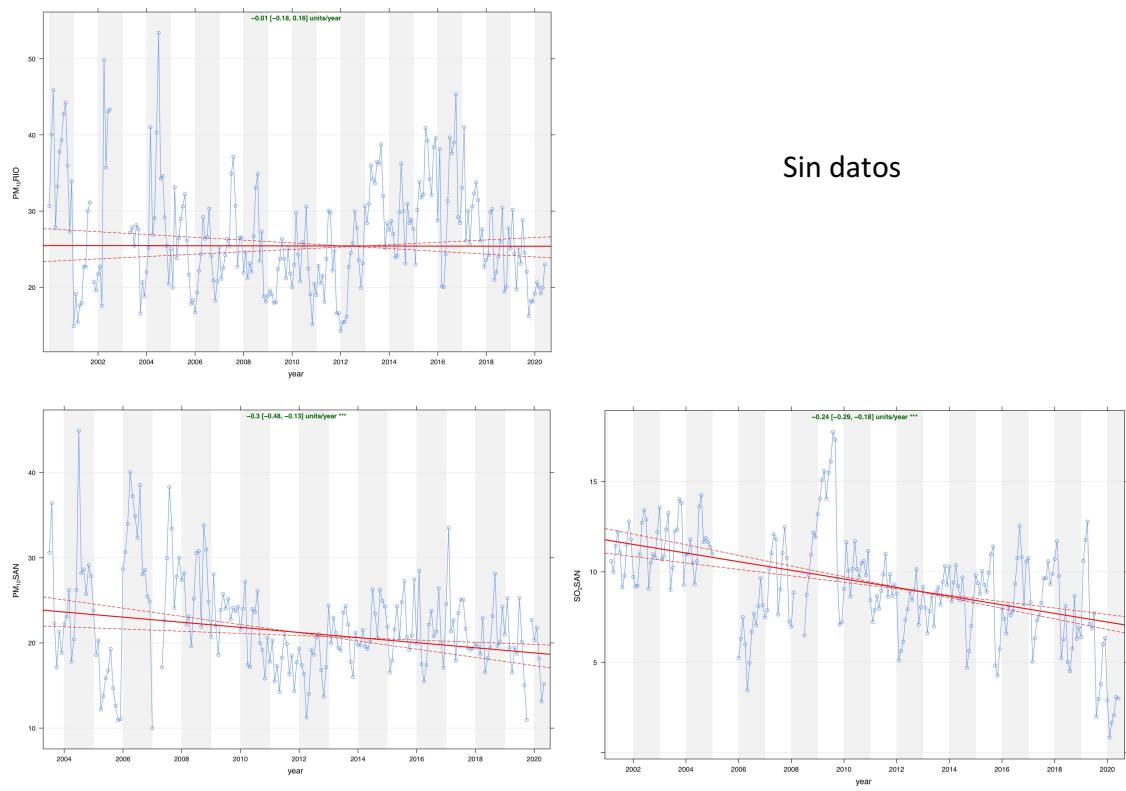
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ año	$\text{NO}_2$	$\text{O}_3$	$\text{PM}10$	$\text{SO}_2$
Cartuja	-0,01	-0,22	-0,96 ***	-0,2 ***
Jerez-Chapín	-1,14 ***	+0,92 ***	-1,54 ***	-0,28 ***
Avda. Marconi	-0,69 ***	+0,29 *	-1,39 ***	-0,44 ***
Río San Pedro	-0,43 ***	-0,07	-0,01	sin datos
San Fernando	-0,62 ***	-0,27	-0,3 ***	-0,24 ***



**Figura 3.4.-** Diagramas Theilsen de NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM10 y SO<sub>2</sub> en las estaciones estudiadas en el periodo año 2000 a mayo 2020



**Figura 3.4 (continuación).- Diagramas Theilsen de NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM10 y SO<sub>2</sub> en las estaciones estudiadas en el periodo año 2000 a mayo 2020.**

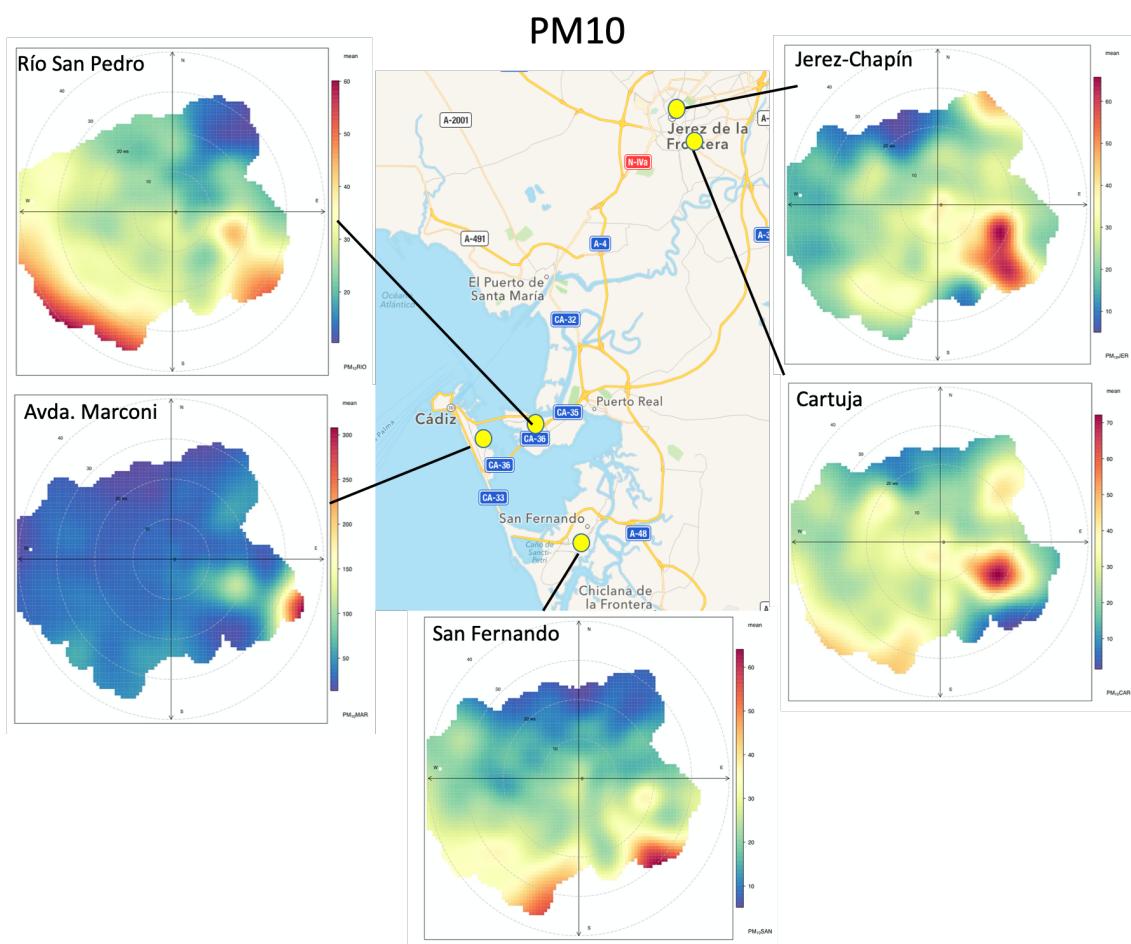


**Figura 3.4 (continuación).- Diagramas Theilsen de NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, PM10 y SO<sub>2</sub> en las estaciones estudiadas en el periodo año 2000 a mayo 2020.**

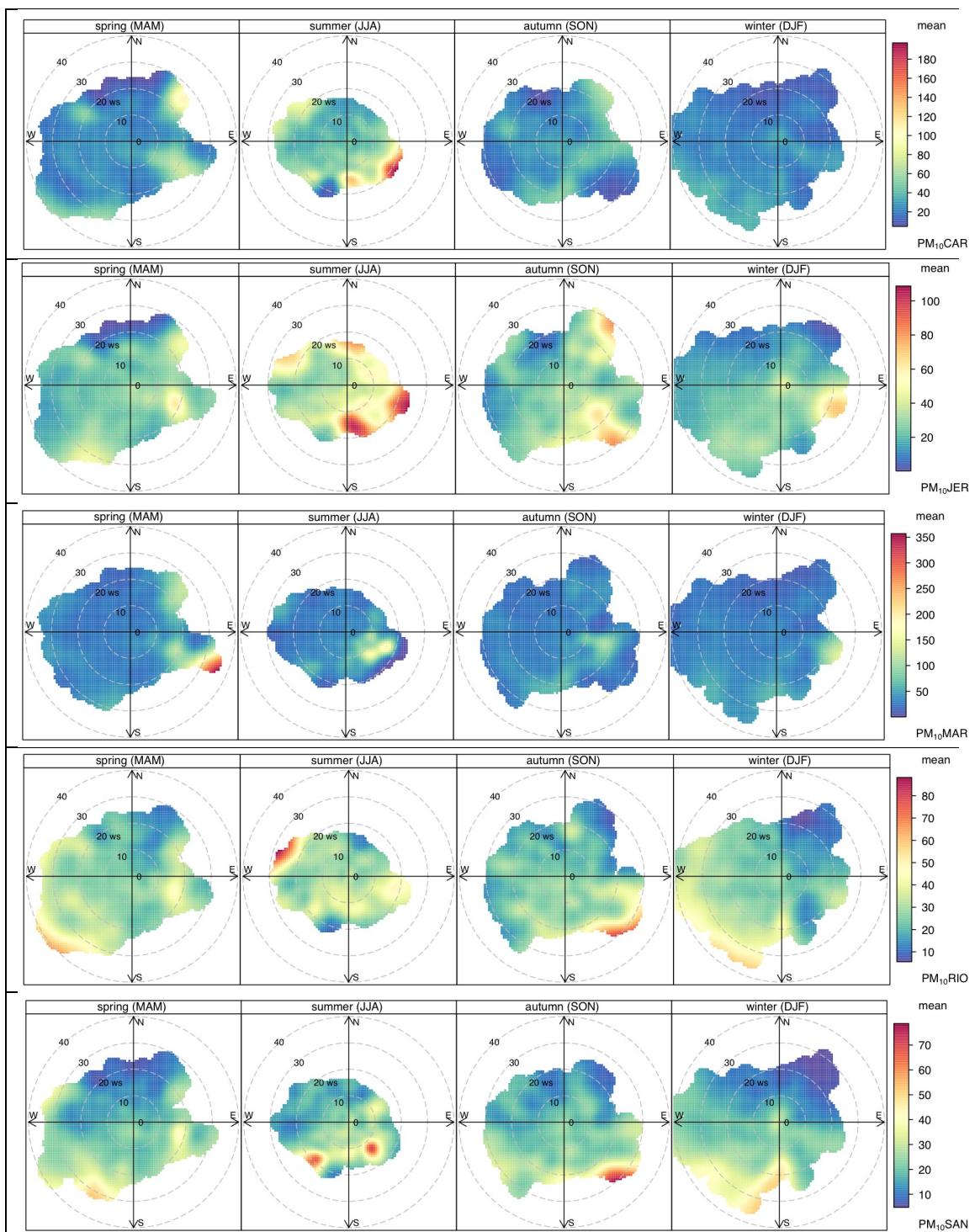
### 3.3.- Diagramas polares

El uso de diagramas polares con cada uno de los contaminantes y la dirección y velocidad del viento, informarán sobre la proximidad y ubicación de las fuentes según rosa de vientos.

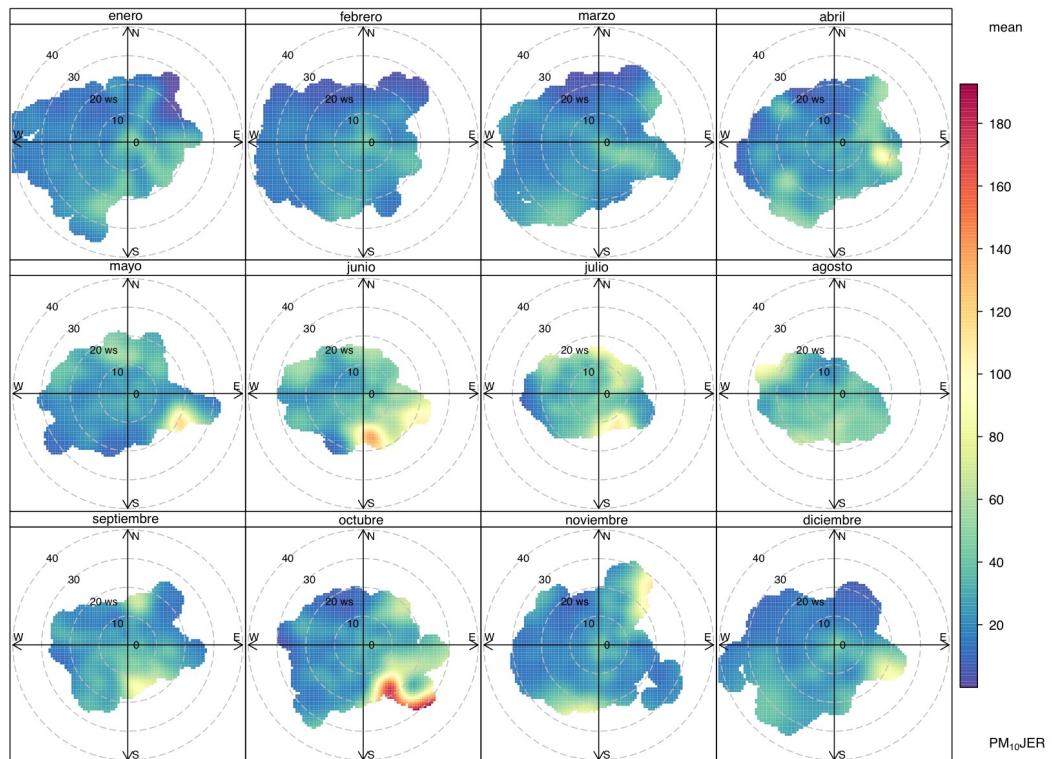
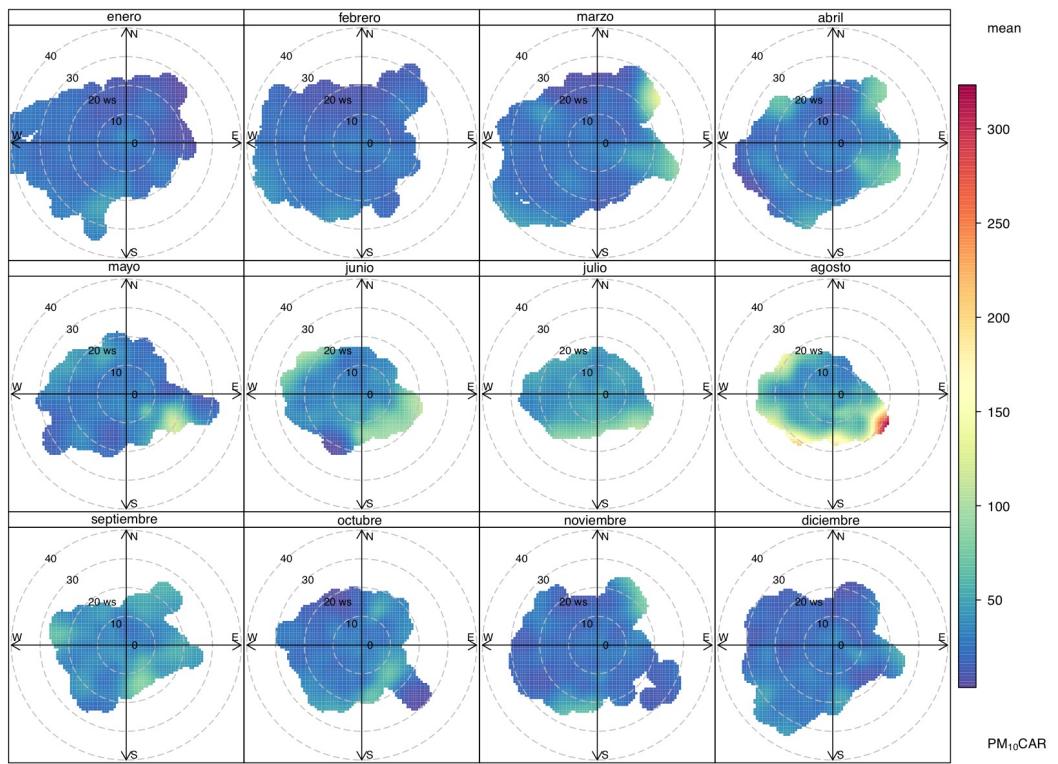
Las máximas concentraciones de PM10 en las estaciones estudiadas ocurren a larga distancia con respecto a la estación de muestreo, observándose dos focos, uno en el 2º cuadrante y otro en dirección Suroeste (Fig. 3.5). También se destaca, sobre todo Cartuja y Jerez-Chapín, como las máximas concentraciones ocurren en verano (Fig. 3.6 y Fig. 3.7), y principalmente durante la tarde (Fig. 3.8).



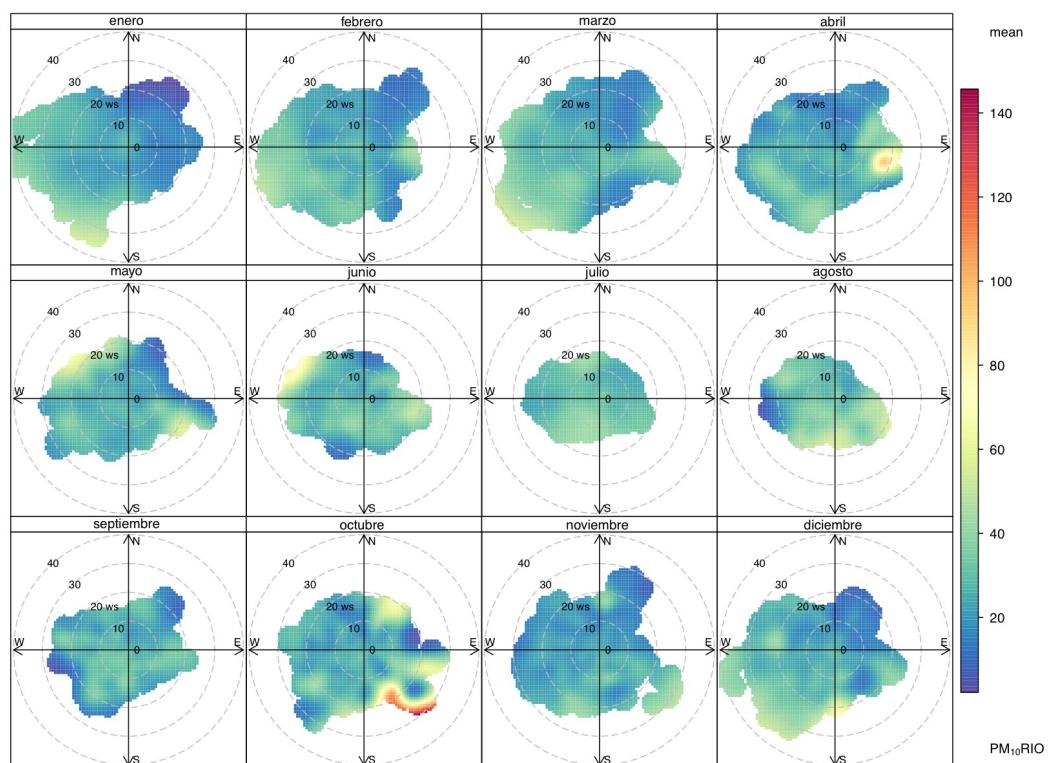
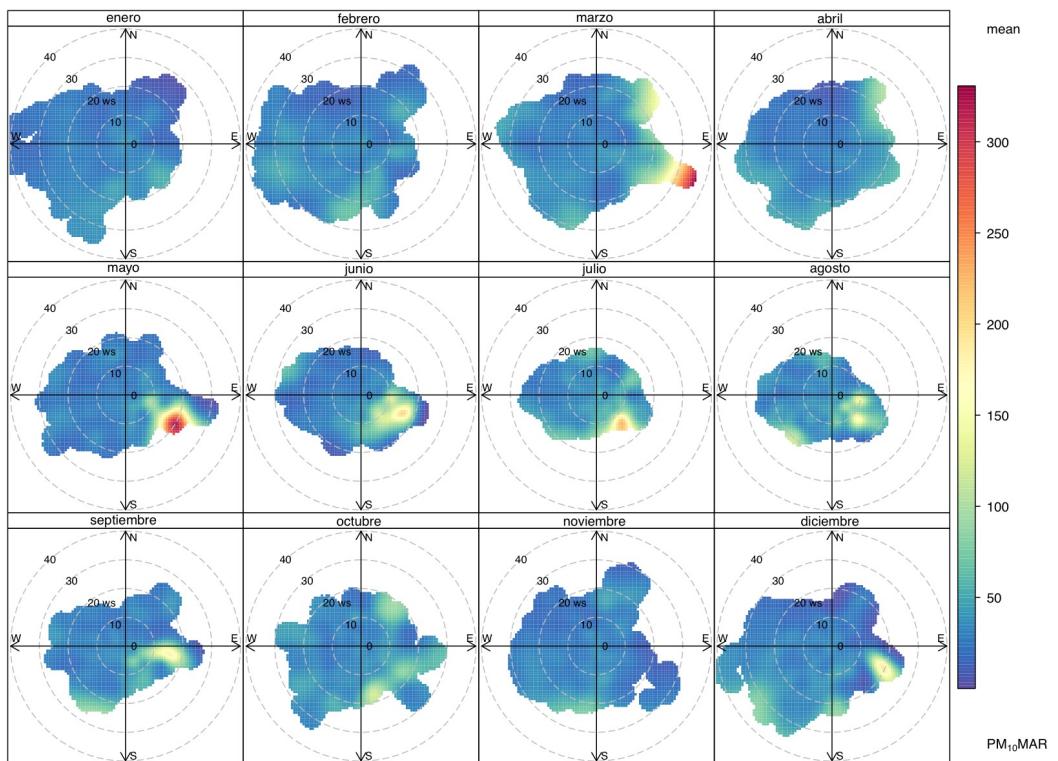
**Figura 3.5.-** Diagramas polares de PM10 en el periodo año 2000-mayo 2020 de las estaciones Cartuja, Jerez-Chapín, Avda. Marconi, Río San Pedro y San Fernando.



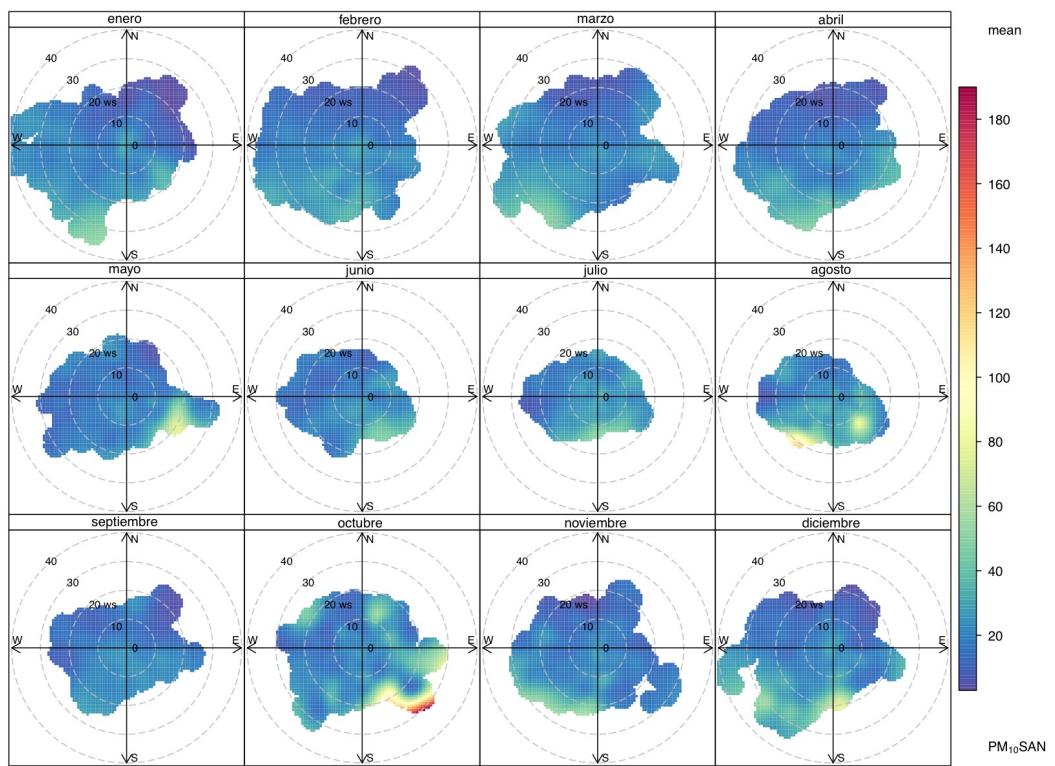
**Figura 3.6.-** Diagramas polares estacionales de PM10 de las estaciones Cartuja, Jerez-Chapí, Avda. Marconi, Río San Pedro y San Fernando en el periodo año 2000-mayo 2020.



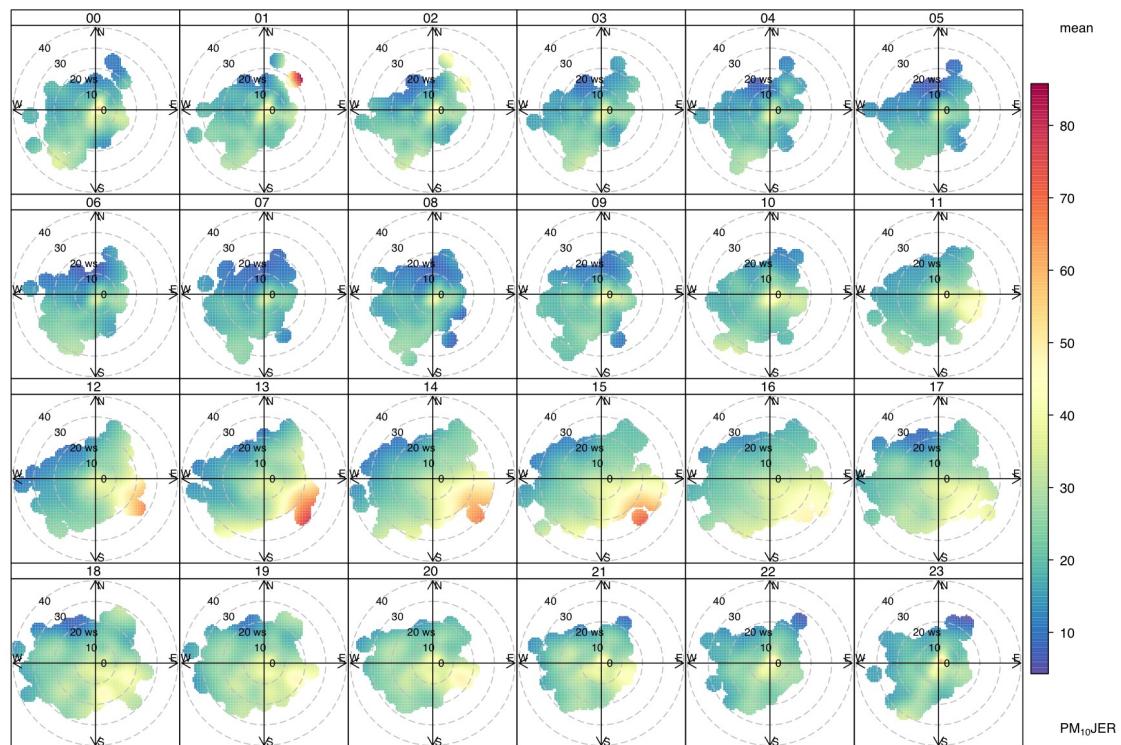
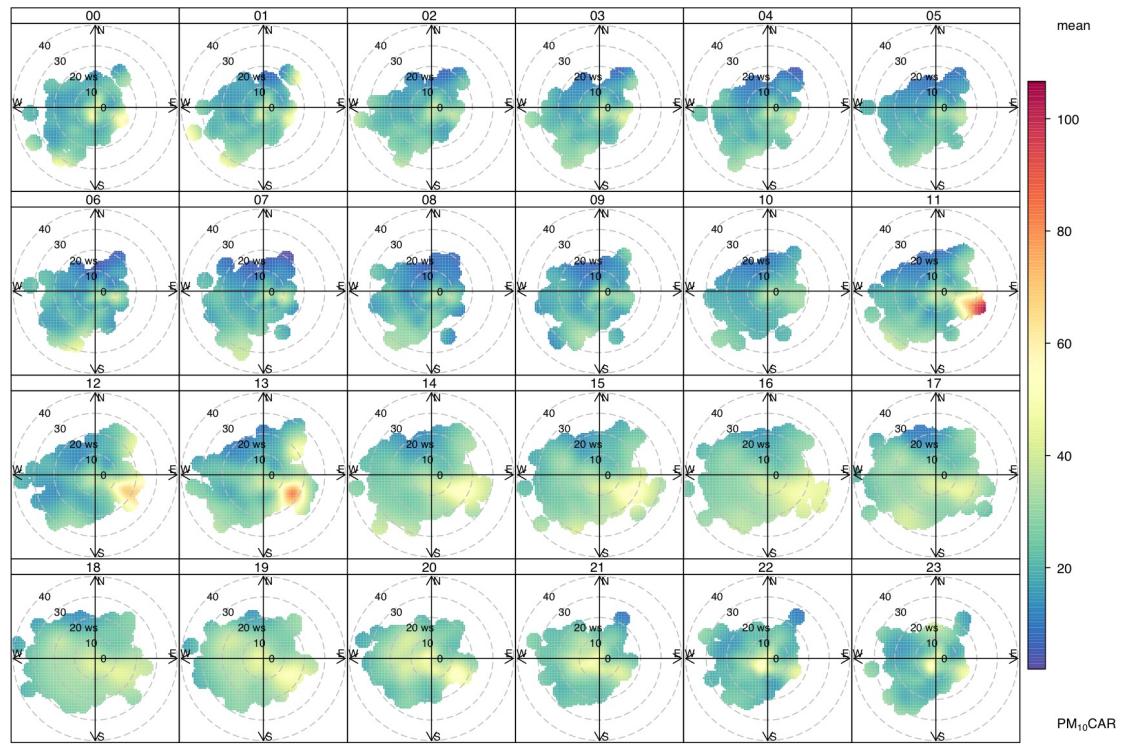
**Figura 3.7.-** Diagramas polares mensuales de PM<sub>10</sub> de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz durante el periodo año 2000-mayo 2020.



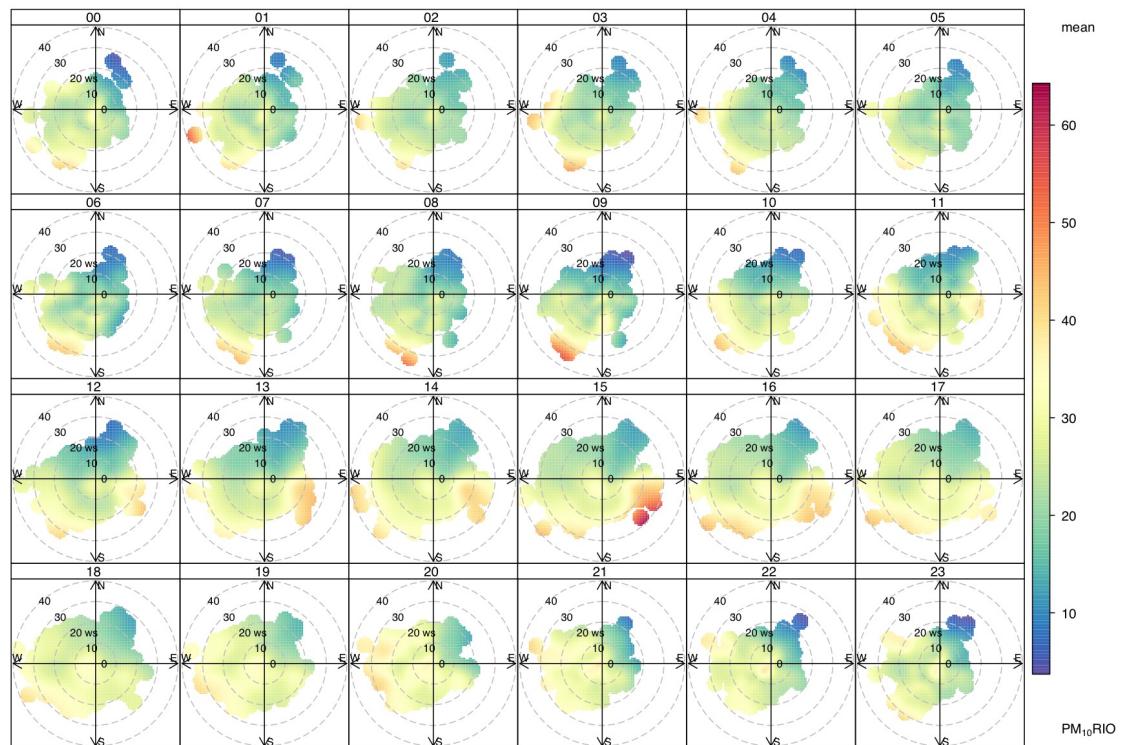
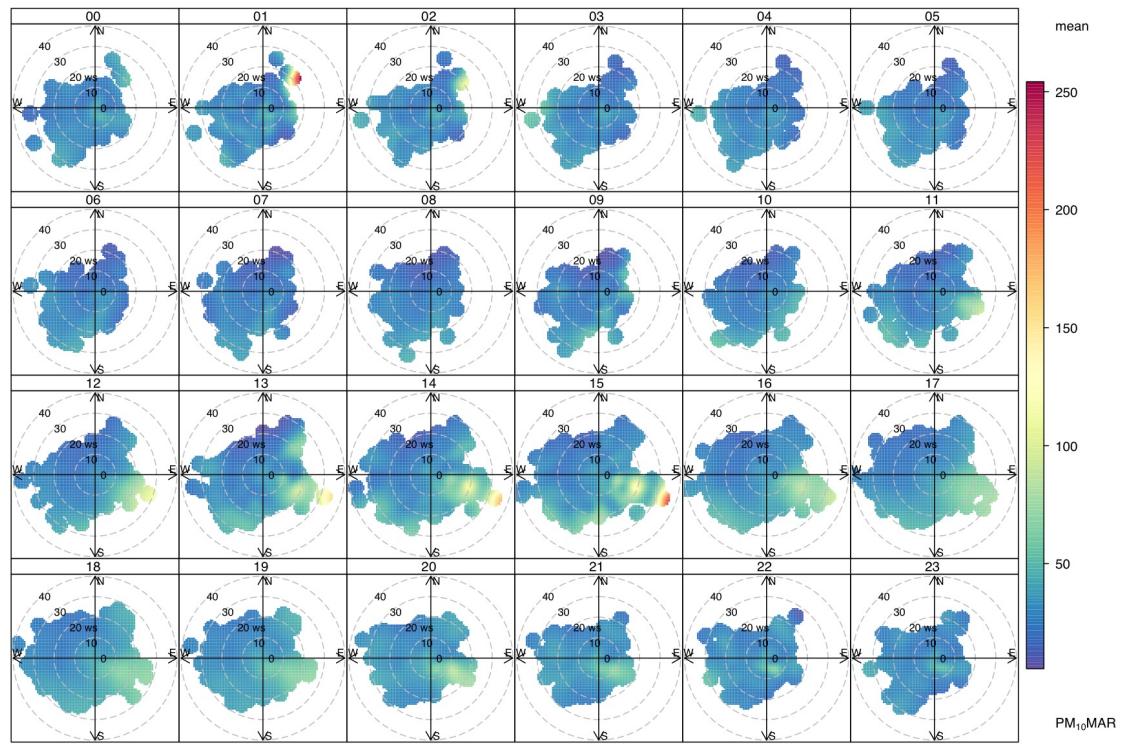
**Figura 3.7 (continuación).-** Diagramas polares mensuales de PM10 de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz durante el período año 2000-mayo 2020.



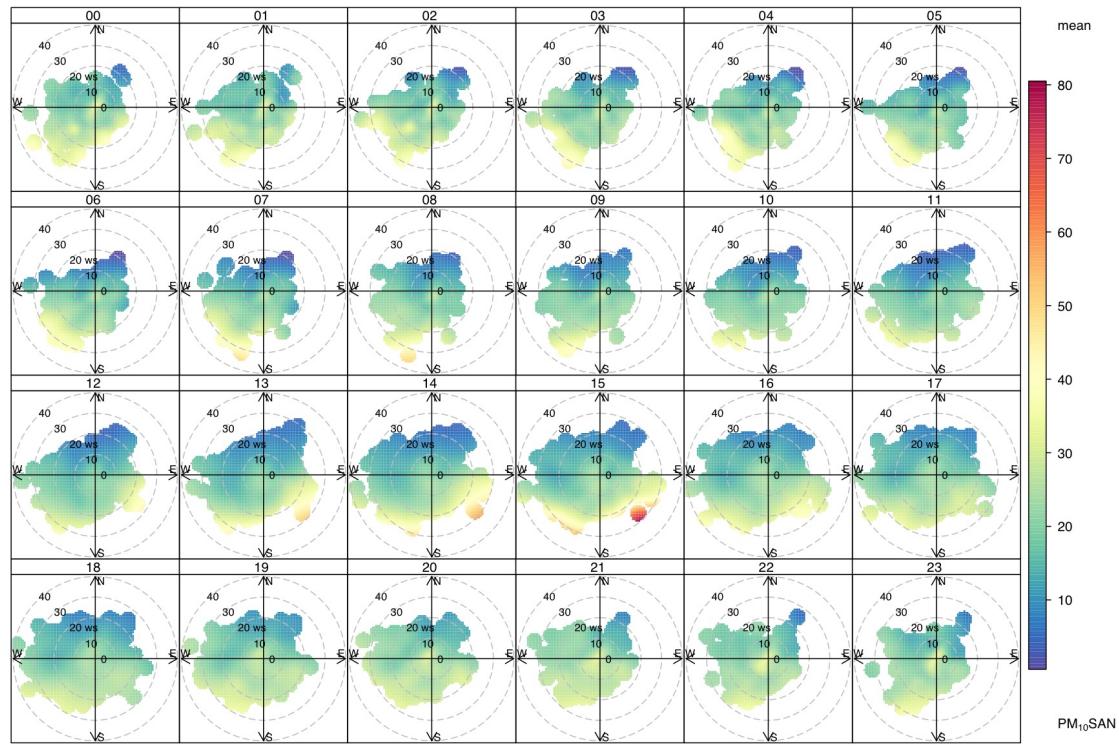
**Figura 3.7 (continuación).**- Diagramas polares mensuales de PM10 de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz durante el periodo año 2000-mayo 2020.



**Figura 3.8.-** Diagramas polares horarios de PM<sub>10</sub> de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz durante el periodo año 2000-mayo 2020.

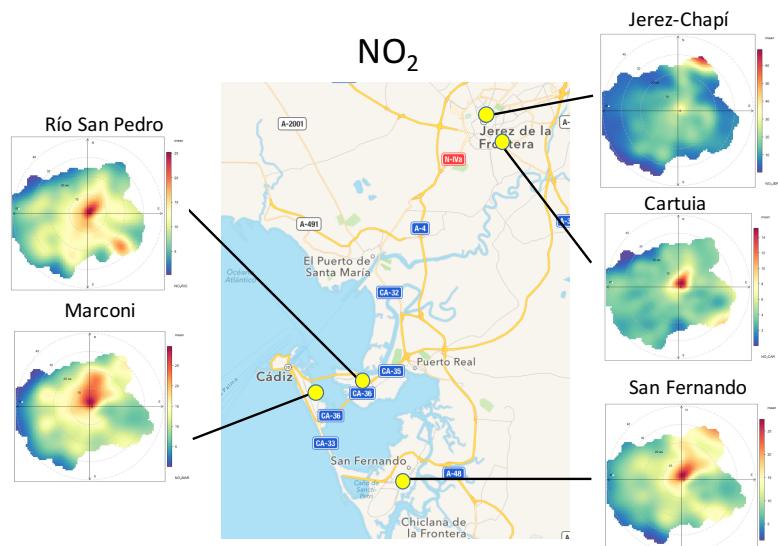


**Figura 3.8 (continuación).**- Diagramas polares horarios de PM<sub>10</sub> de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz durante el periodo año 2000-mayo 2020.

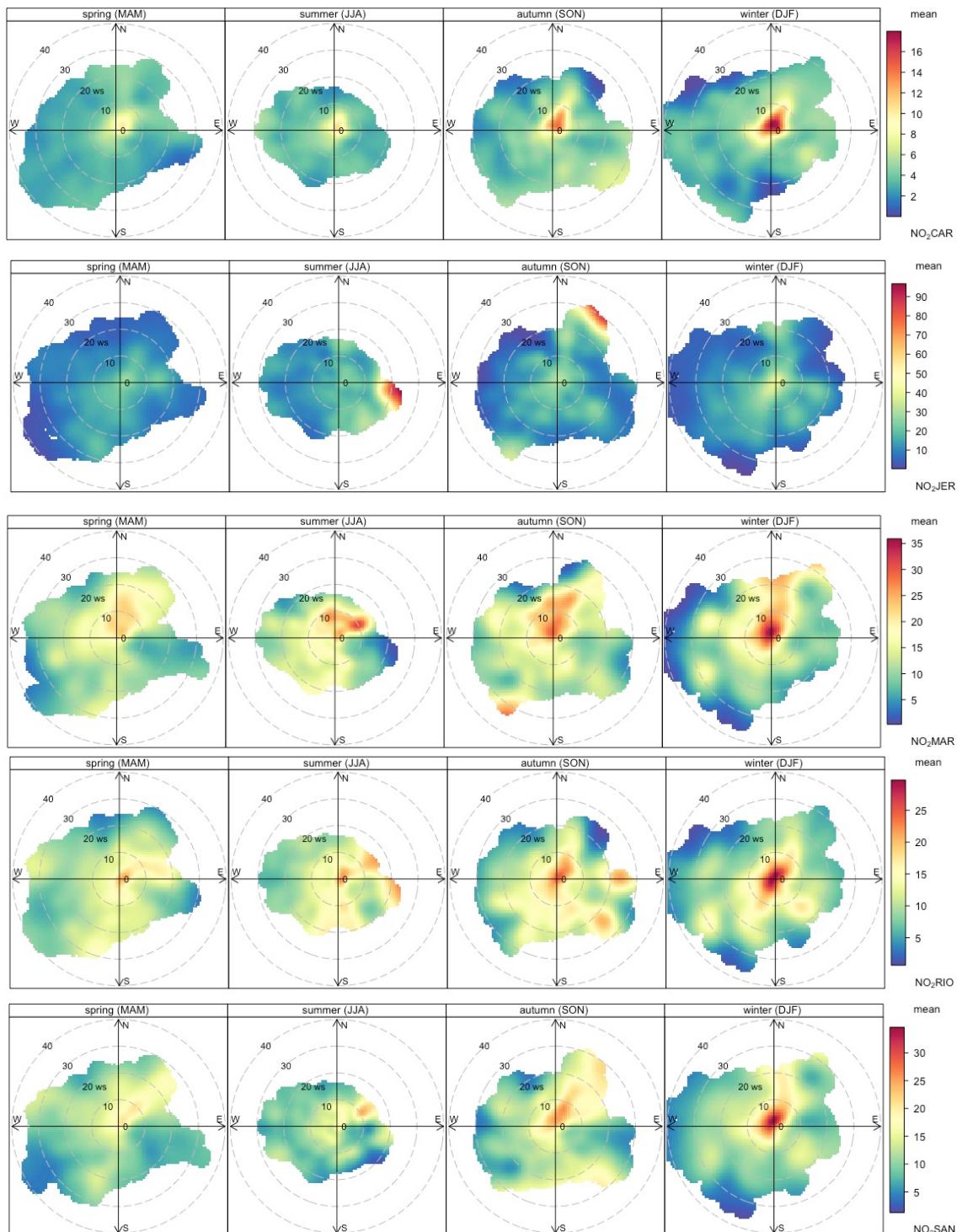


**Figura 3.8 (continuación).-** Diagramas polares horarios de PM10 de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz durante el periodo año 2000-mayo 2020.

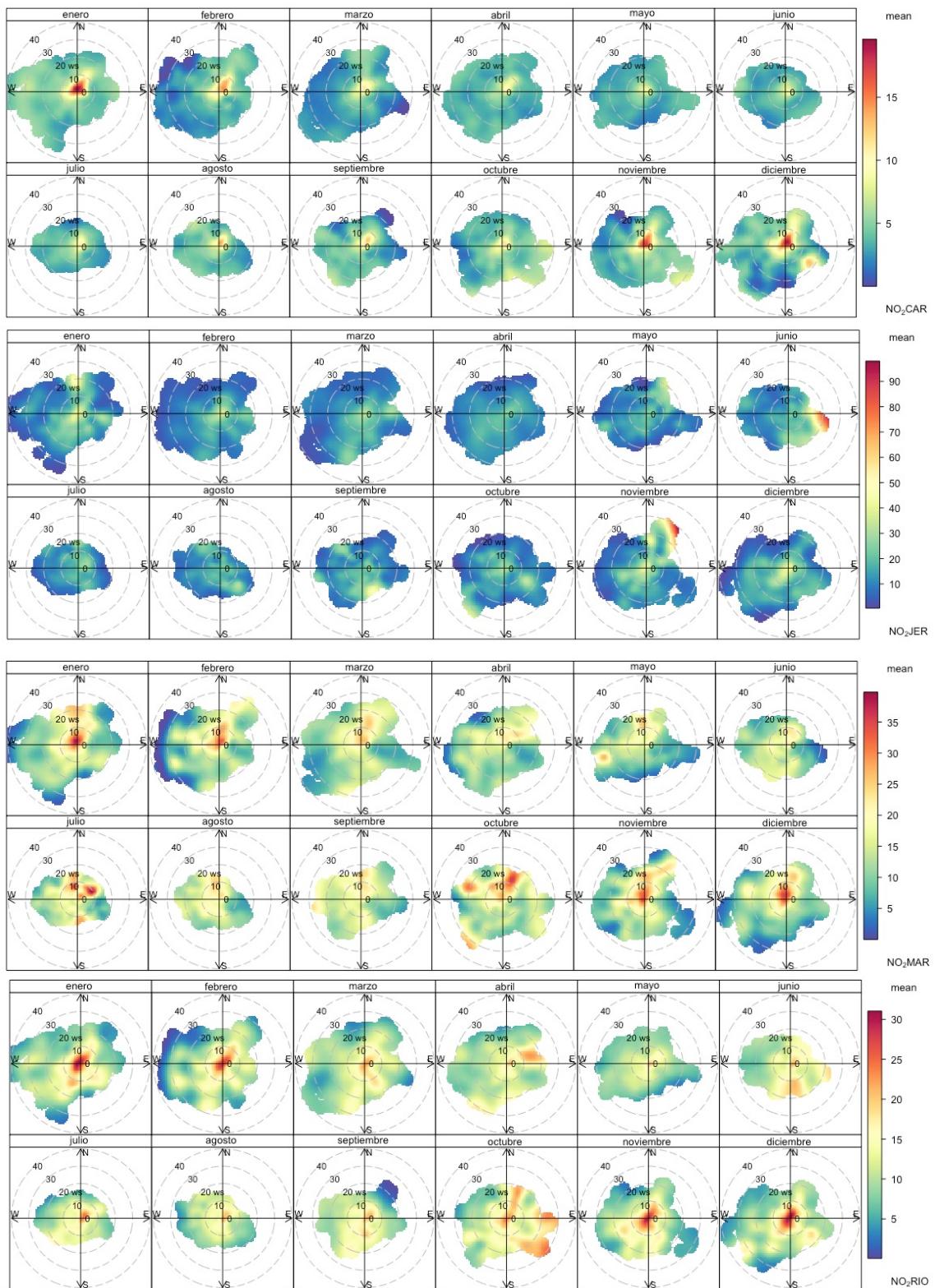
En relación a NO<sub>2</sub>, las máximas concentraciones proceden en las proximidades de las estaciones (Fig. 3.9), salvo en Jerez-Chapín, donde la fuente principal se encuentra al Noroeste. Desde un punto de vista estacional, las máximas concentraciones ocurren en otoño-invierno (Fig. 3.10 y Fig. 3.11), y entre 9-10 horas y 20-22 horas (Fig. 3.12).



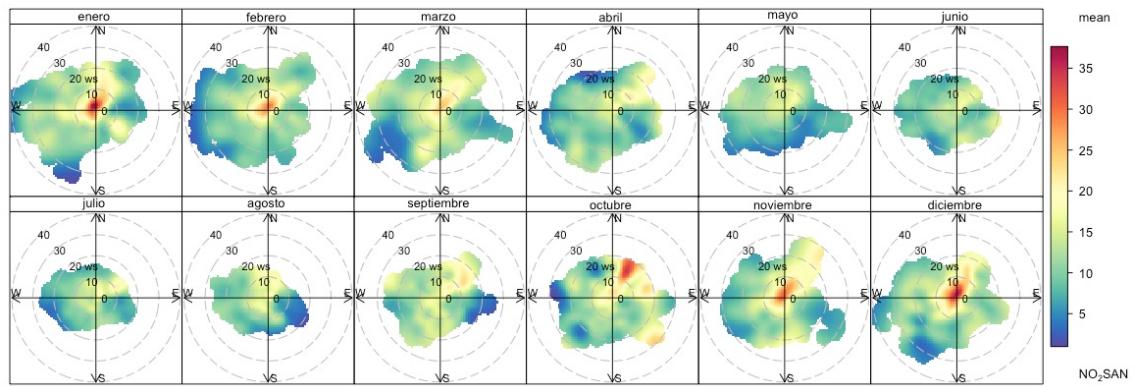
**Figura 3.9.-** Diagramas polares de NO<sub>2</sub> en el periodo año 2000-mayo 2020 de las estaciones Cartuja, Jerez-Chapín, Avda. Marconi, Río San Pedro y San Fernando.



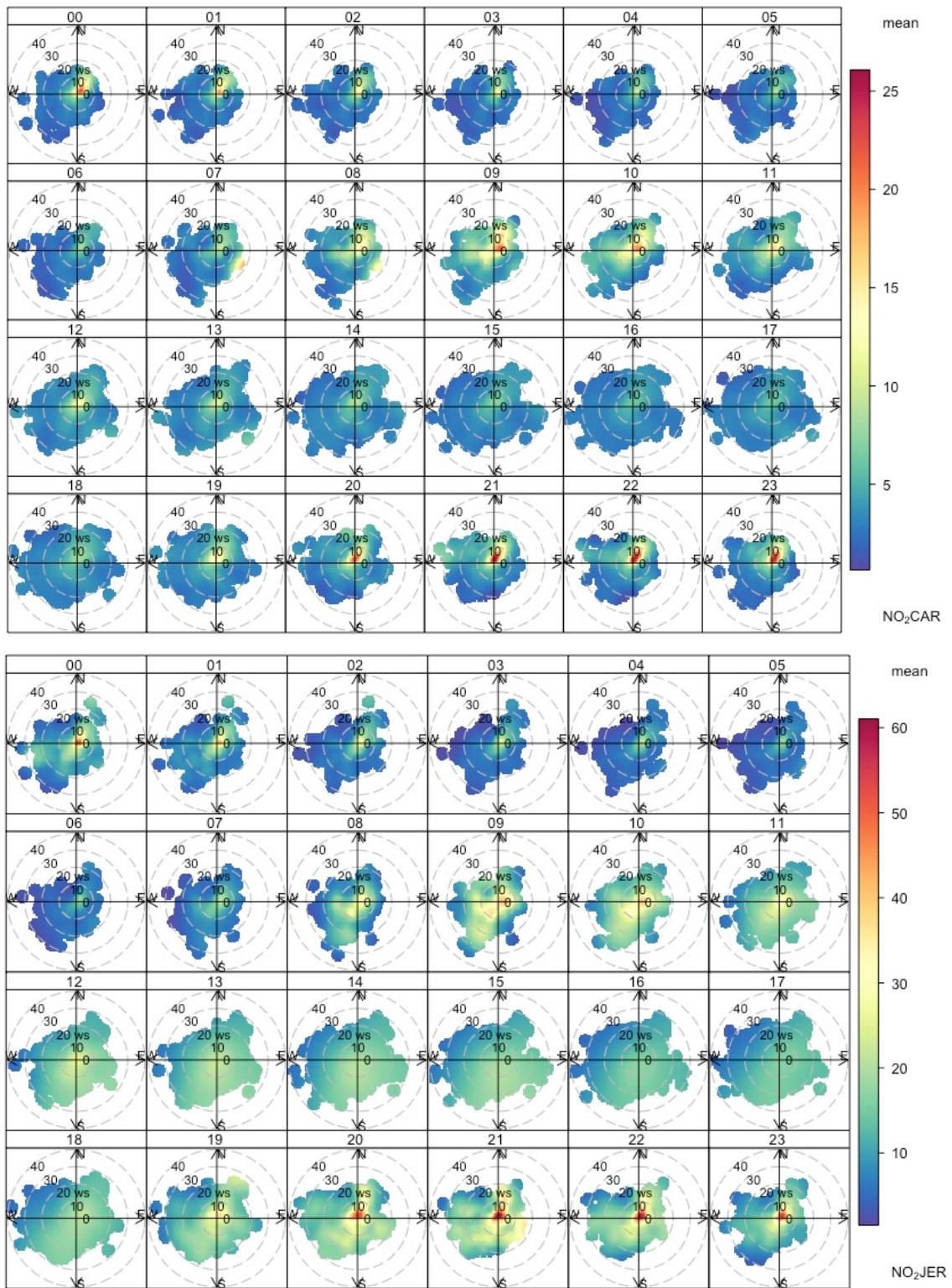
**Figura 3.10.-** Diagramas polares estacionales de NO<sub>2</sub> de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz durante el periodo año 2000-mayo 2020.



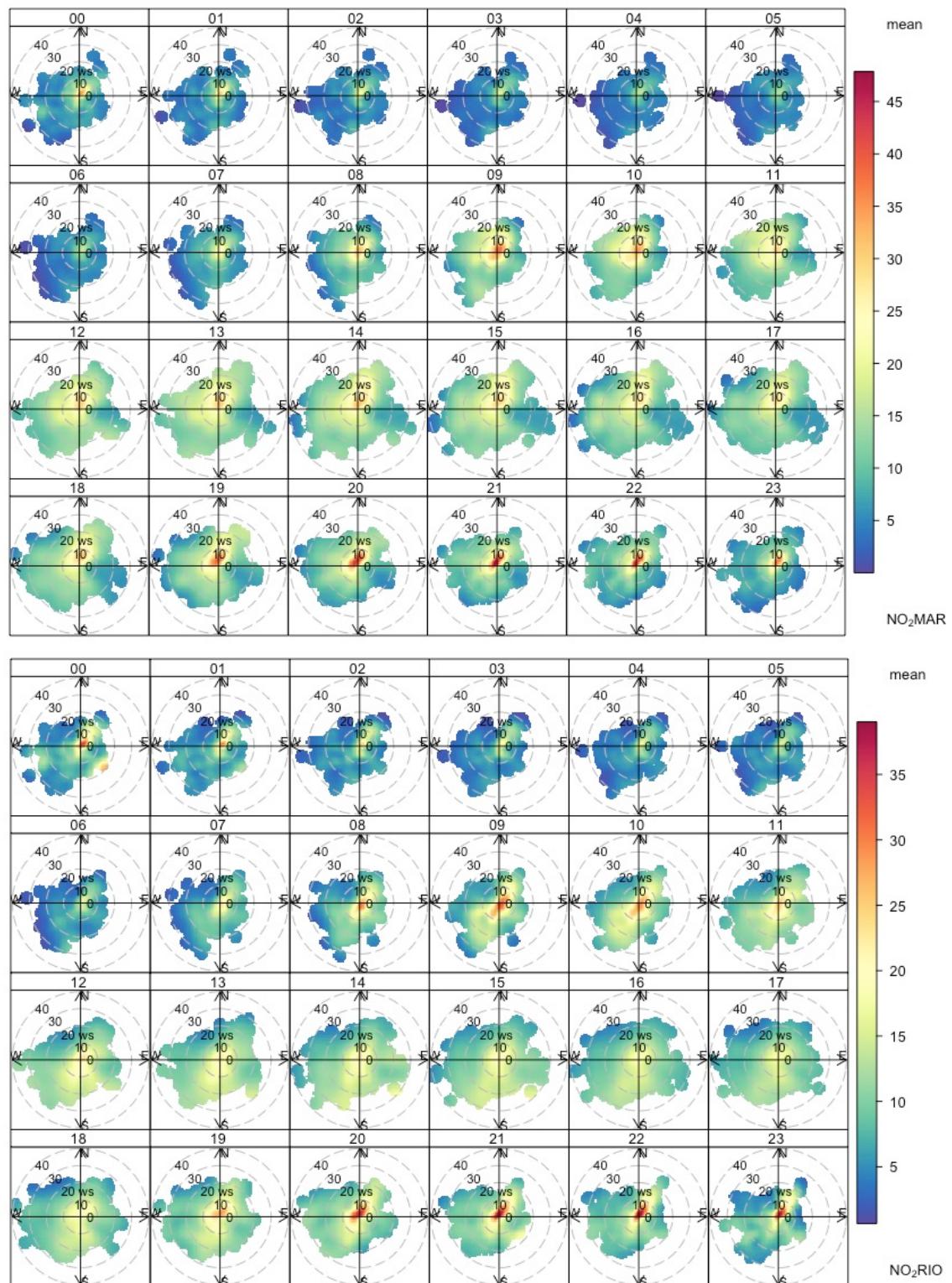
**Figura 3.11.-** Diagramas polares mensuales de NO<sub>2</sub> de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz durante el periodo año 2000-mayo 2020.



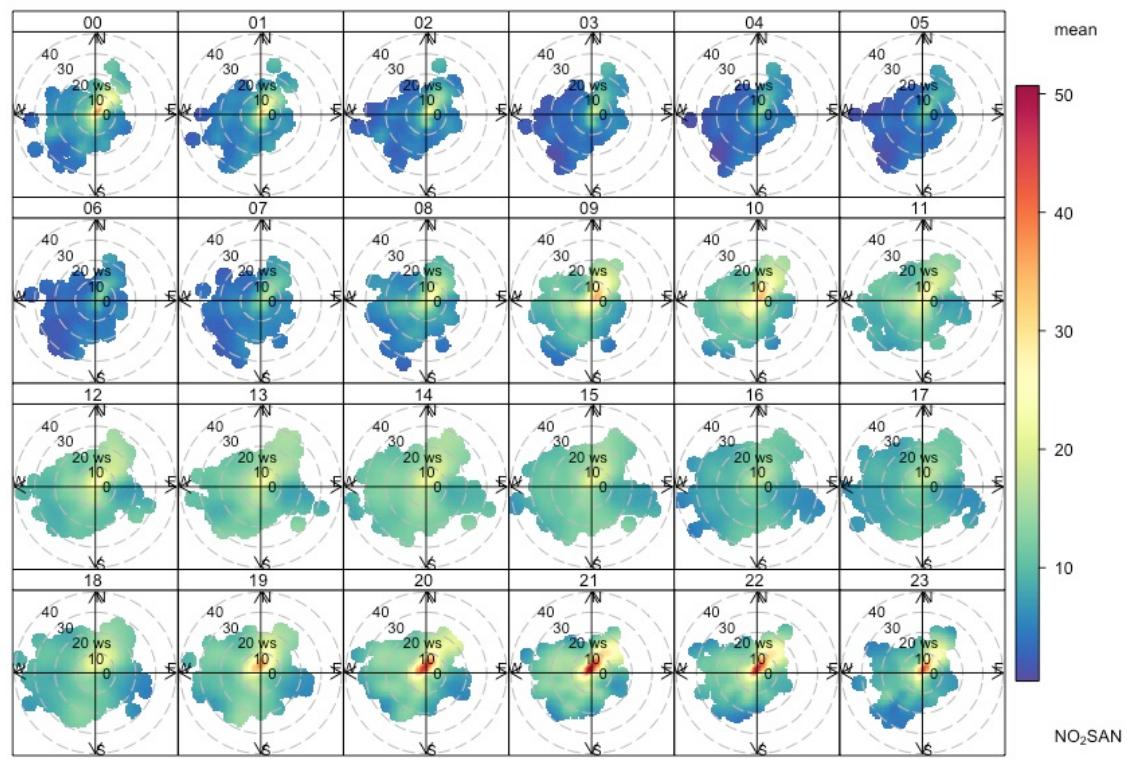
**Figura 3.11 (continuación).**- Diagramas polares mensuales de NO<sub>2</sub> de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz durante el periodo año 2000-mayo 2020.



**Figura 3.12.-** Diagramas polares horarios de NO<sub>2</sub> de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz durante el periodo año 2000-mayo 2020.

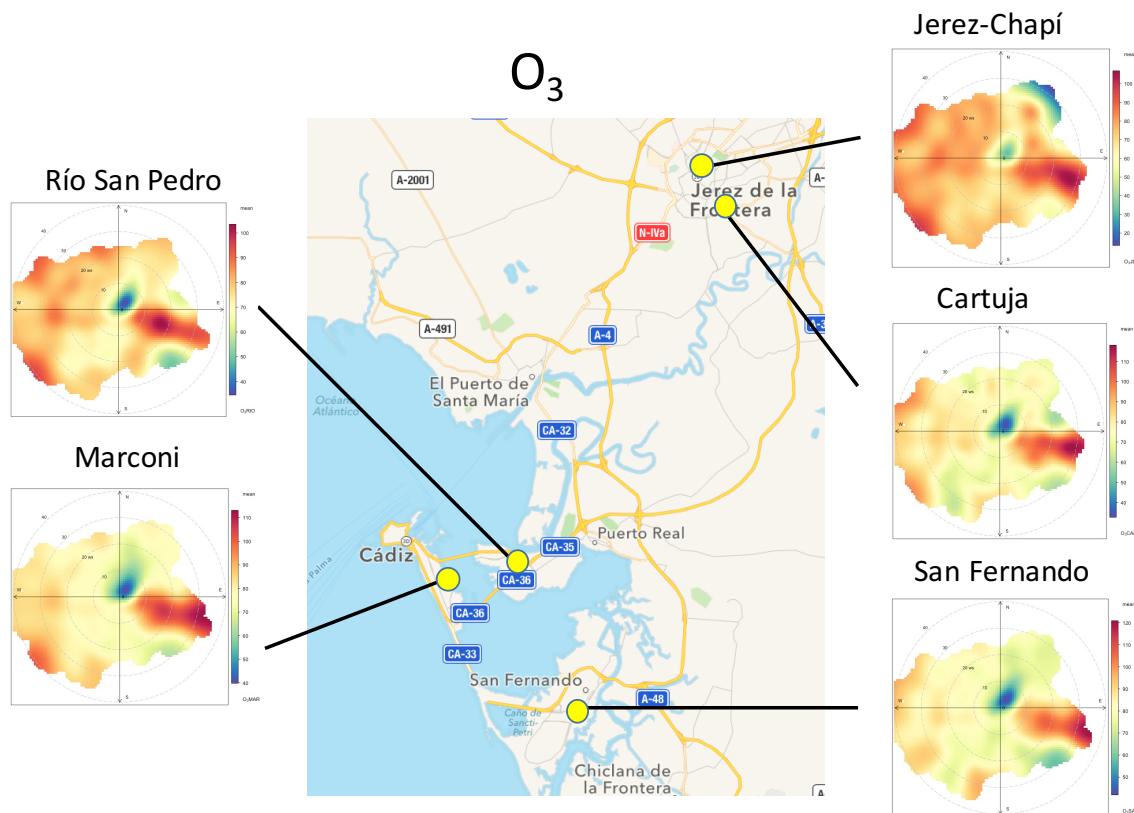


**Figura 3.12 (continuación).-** Diagramas polares horarios de  $\text{NO}_2$  de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz durante el periodo año 2000-mayo 2020.

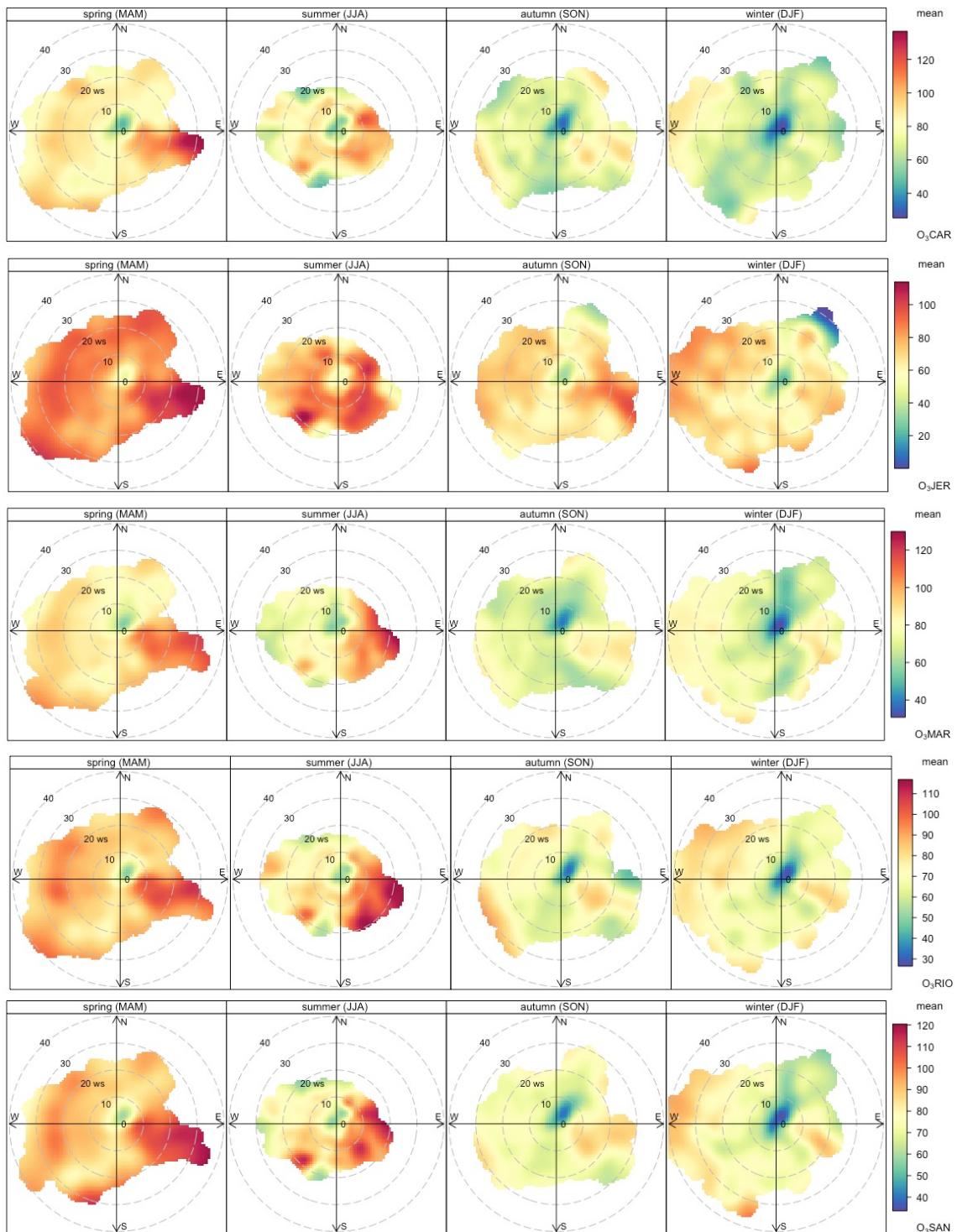


**Figura 3.12 (continuación).-** Diagramas polares horarios de NO<sub>2</sub> de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz durante el periodo año 2000-mayo 2020.

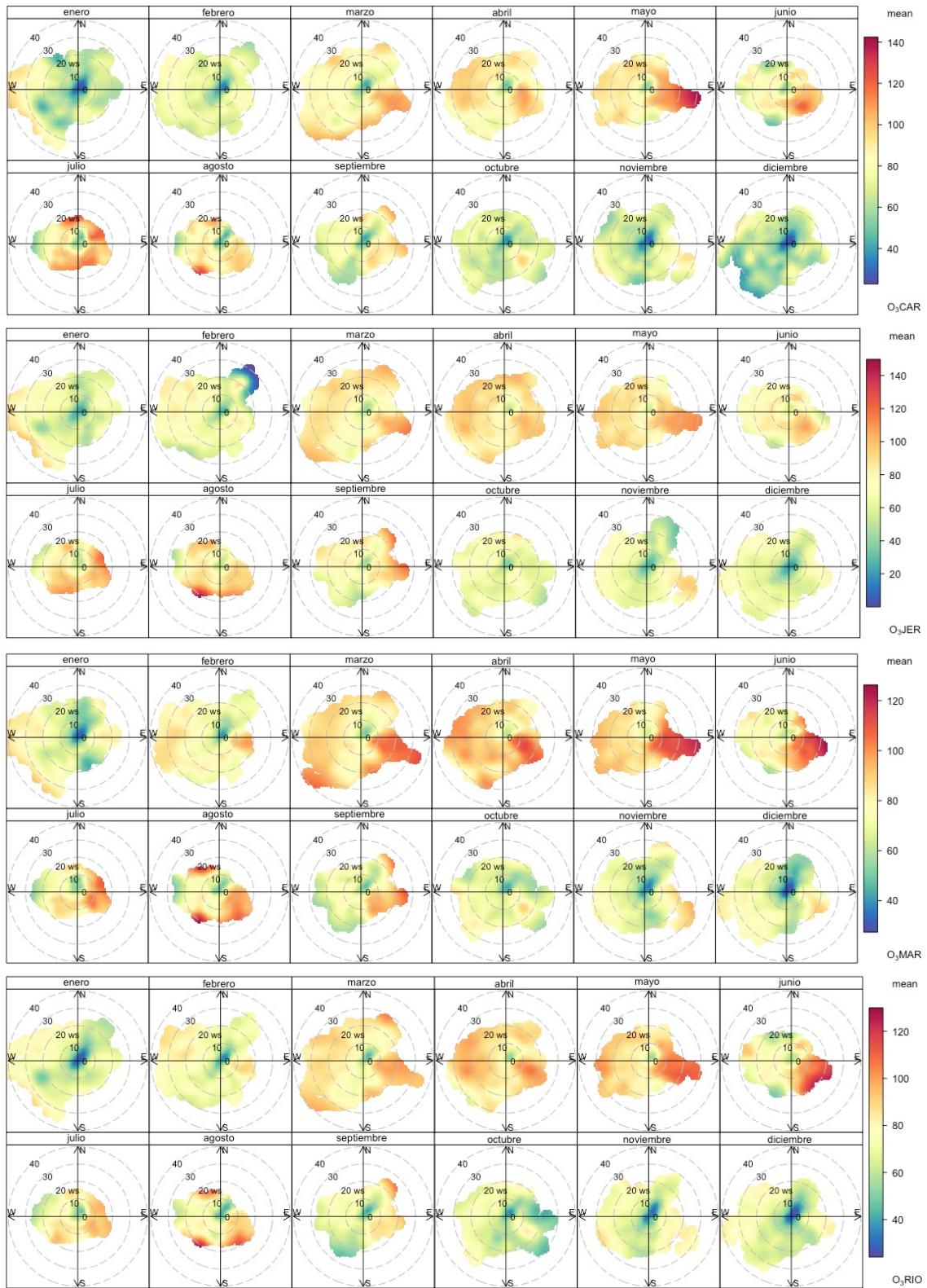
En el periodo de estudio, las máximas concentraciones de ozono proceden del segundo cuadrante y Océano Atlántico (Oeste) (Fig. 3.13), ocurriendo los máximos en los meses primavera y verano (Fig. 3.14 y Fig. 3.15) y entre las 12-21 horas (Fig. 3.16).



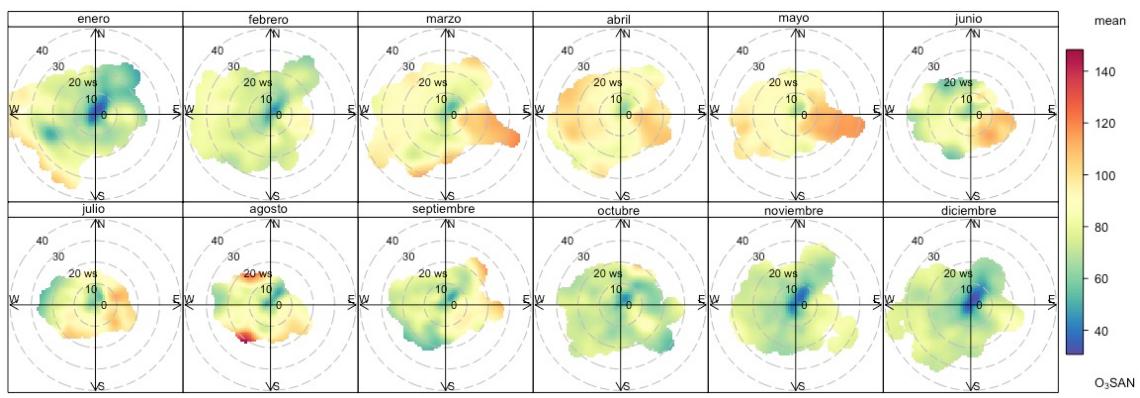
**Figura 3.13.-** Diagramas polares de  $O_3$  de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz durante el periodo año 2000-mayo 2020.



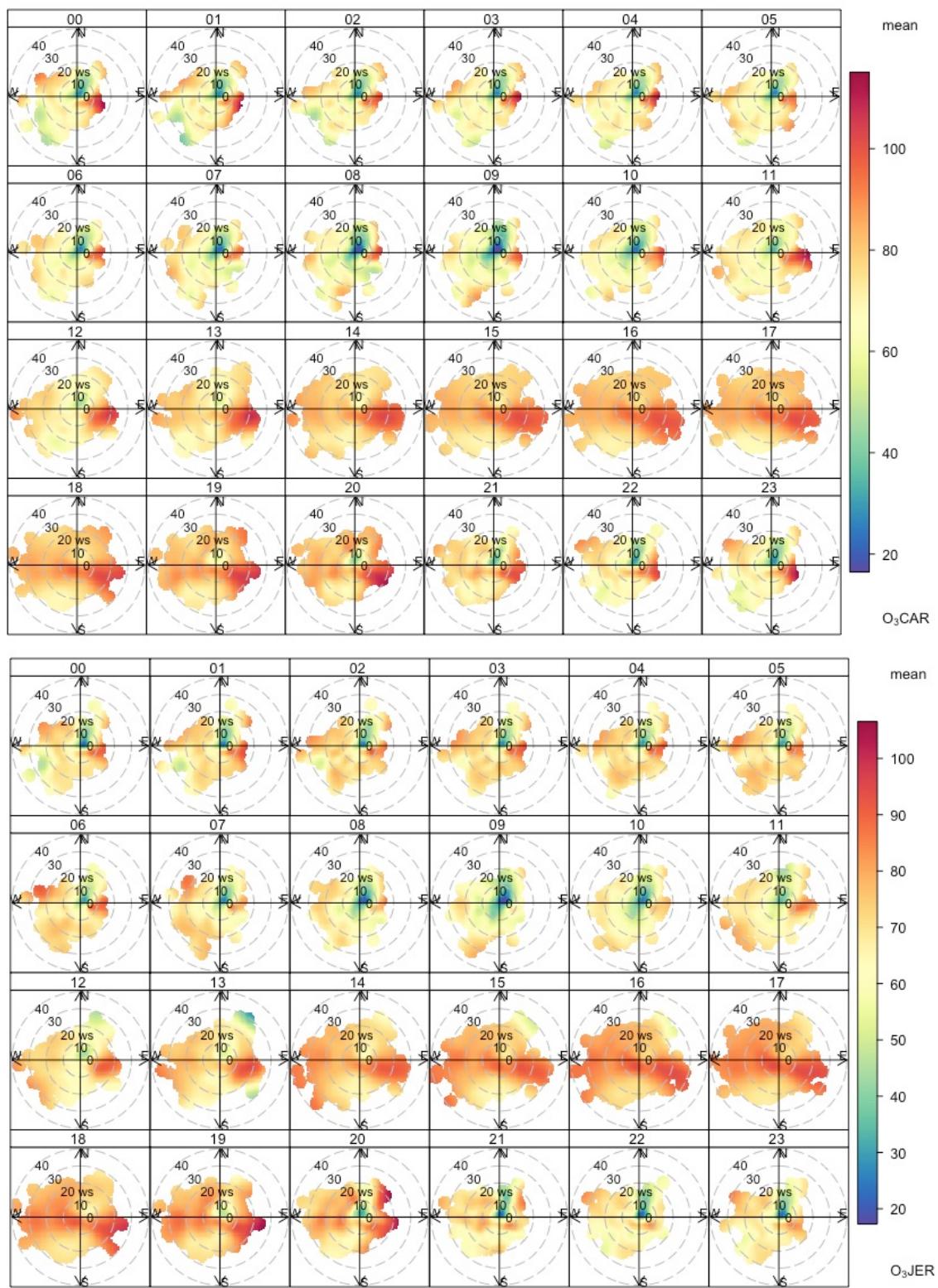
**Figura 3.14.-** Diagramas polares estacionales de  $O_3$  de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz durante el periodo año 2000-mayo 2020.



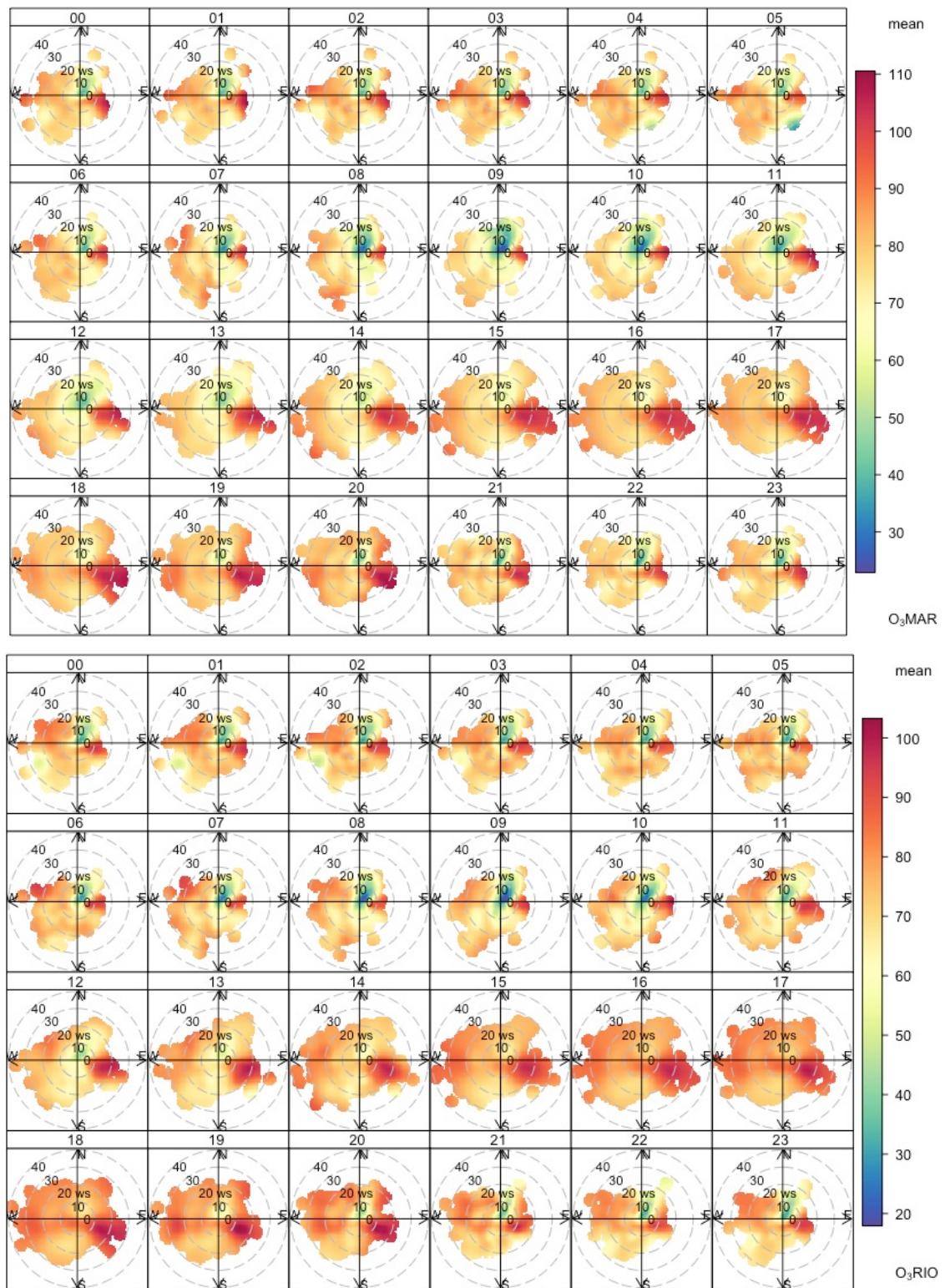
**Figura 3.15.-** Diagramas polares mensuales de O<sub>3</sub> de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz durante el periodo año 2000-mayo 2020.



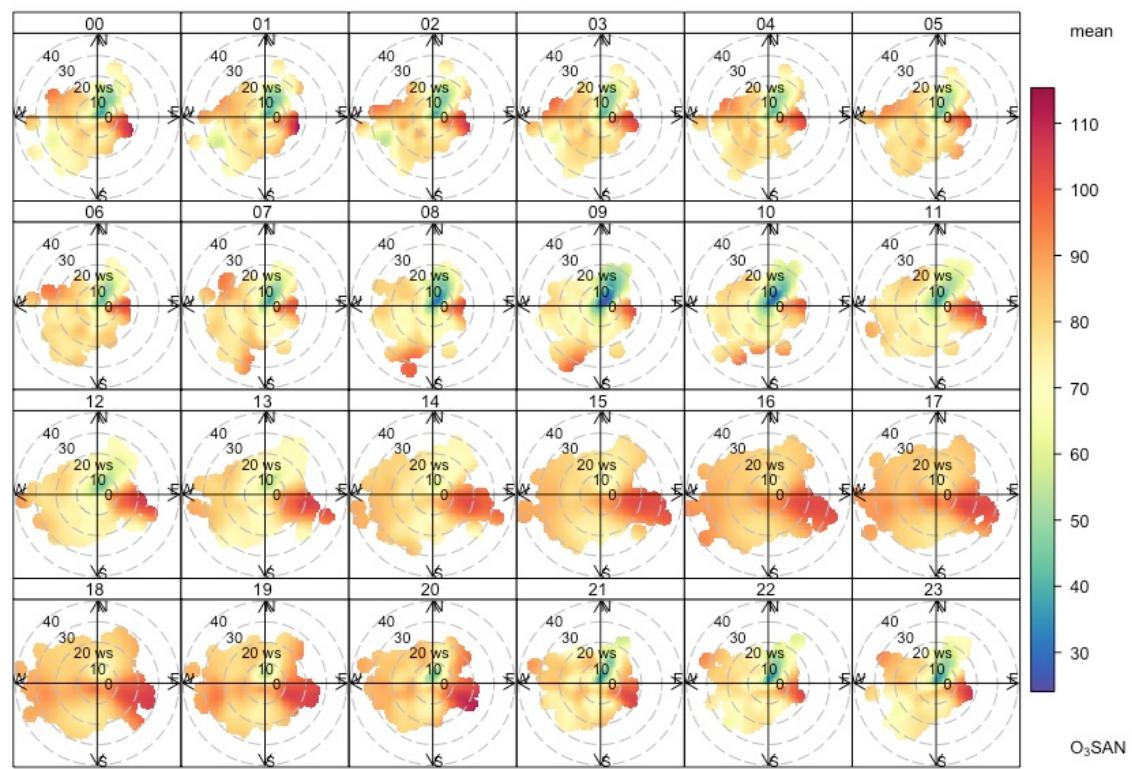
**Figura 3.15 (continuación).-** Diagramas polares mensuales de O<sub>3</sub> de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz durante el periodo año 2000-mayo 2020.



**Figura 3.16.-** Diagramas polares horarios de  $O_3$  de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz durante el periodo año 2000-mayo 2020.

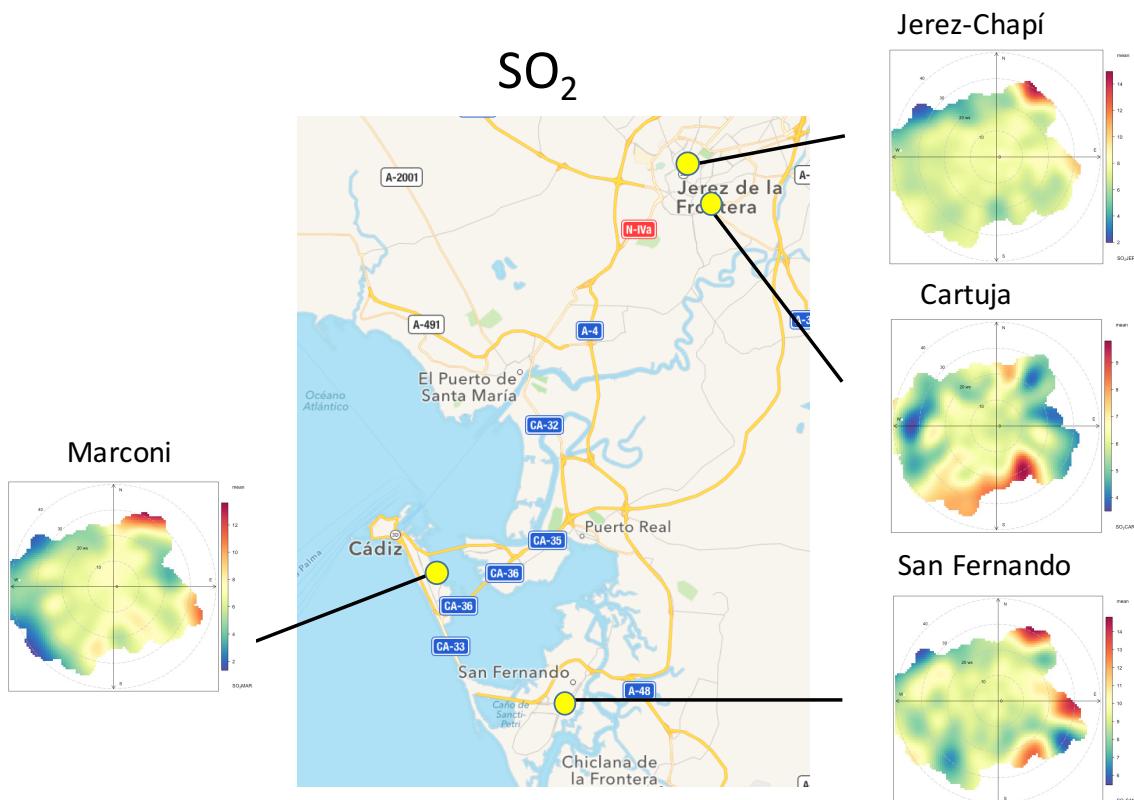


**Figura 3.16 (continuación).-** Diagramas polares horarios de  $O_3$  de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz durante el periodo año 2000-mayo 2020.

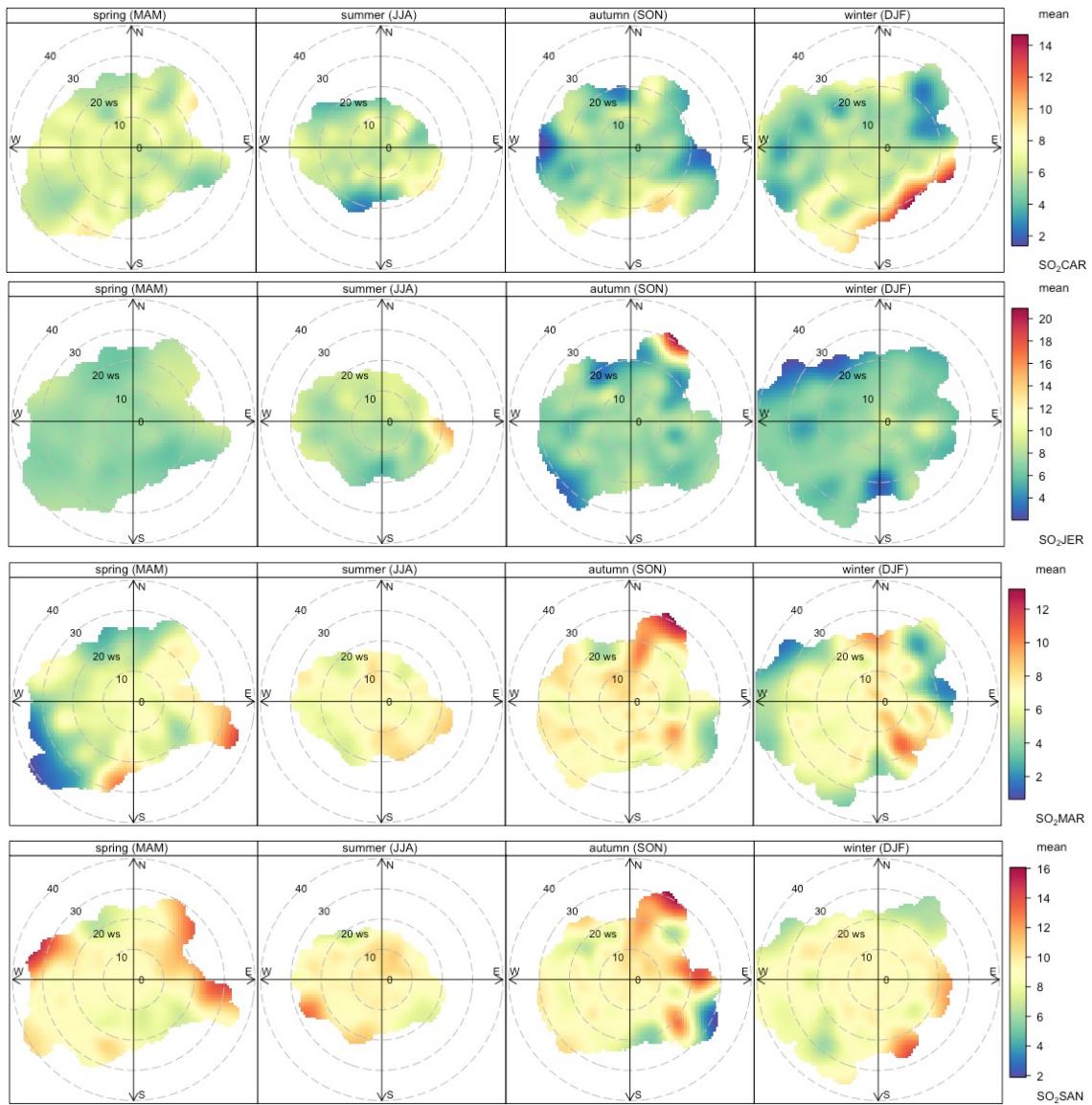


**Figura 3.16 (continuación).-** Diagramas polares horarios de  $O_3$  de las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz durante el periodo año 2000-mayo 2020.

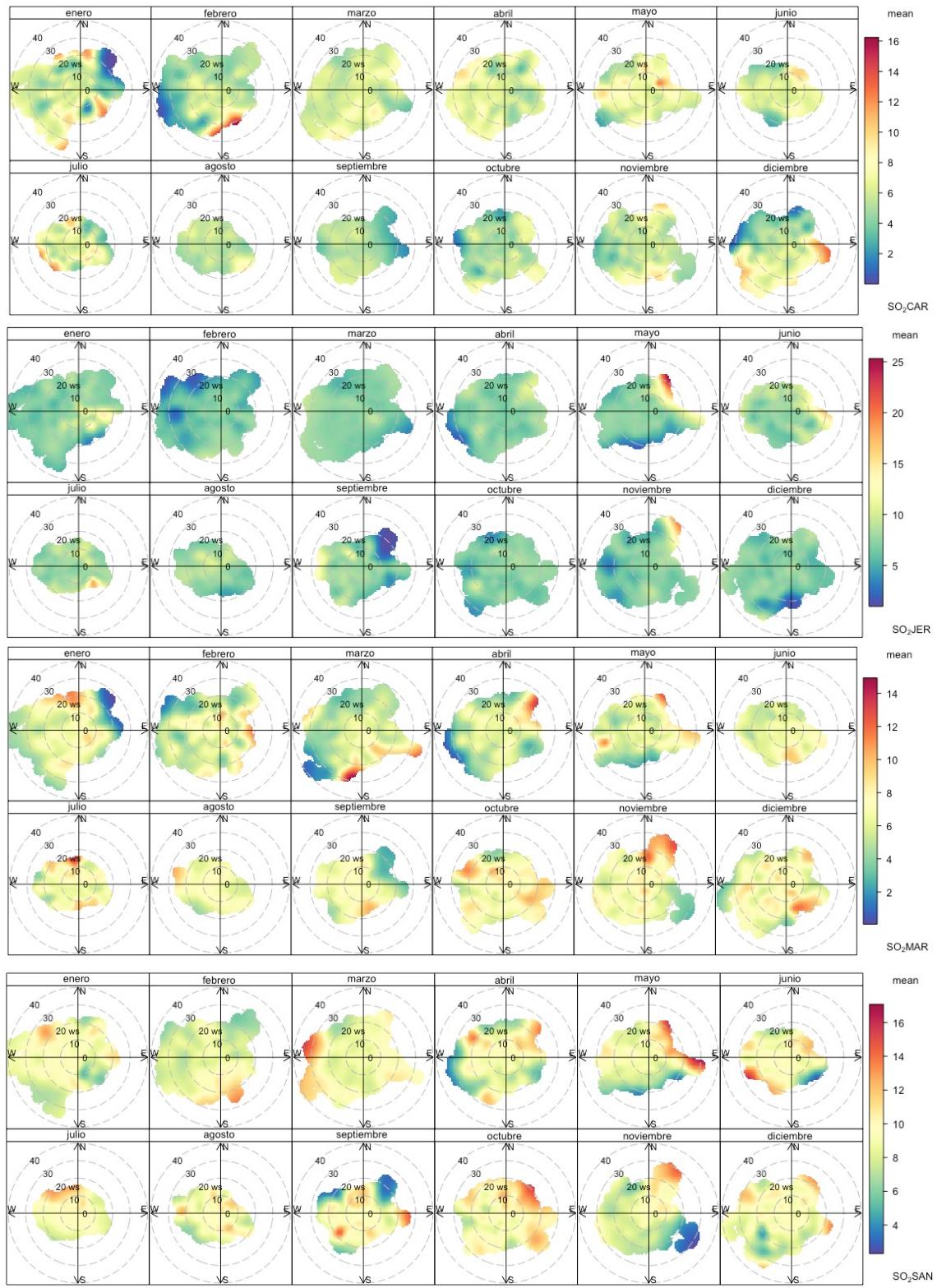
Como se describió en el apartado 3.1 de este informe, las concentraciones de  $\text{SO}_2$  son muy bajas en la Bahía de Cádiz en comparación con otras zonas de la provincia de Cádiz (Campo de Gibraltar) y Entorno de la Ría de Huelva. No obstante, se destacan orígenes en el NE y SE en las estaciones de Jerez-Chapín, Cartuja, San Fernando y Avda. Marconi (Fig. 3.17). No se observa un patrón de variación uniforme desde un punto de vista estacional (Fig. 3.18) mensual (Fig. 3.19) y horario (Fig. 3.20).



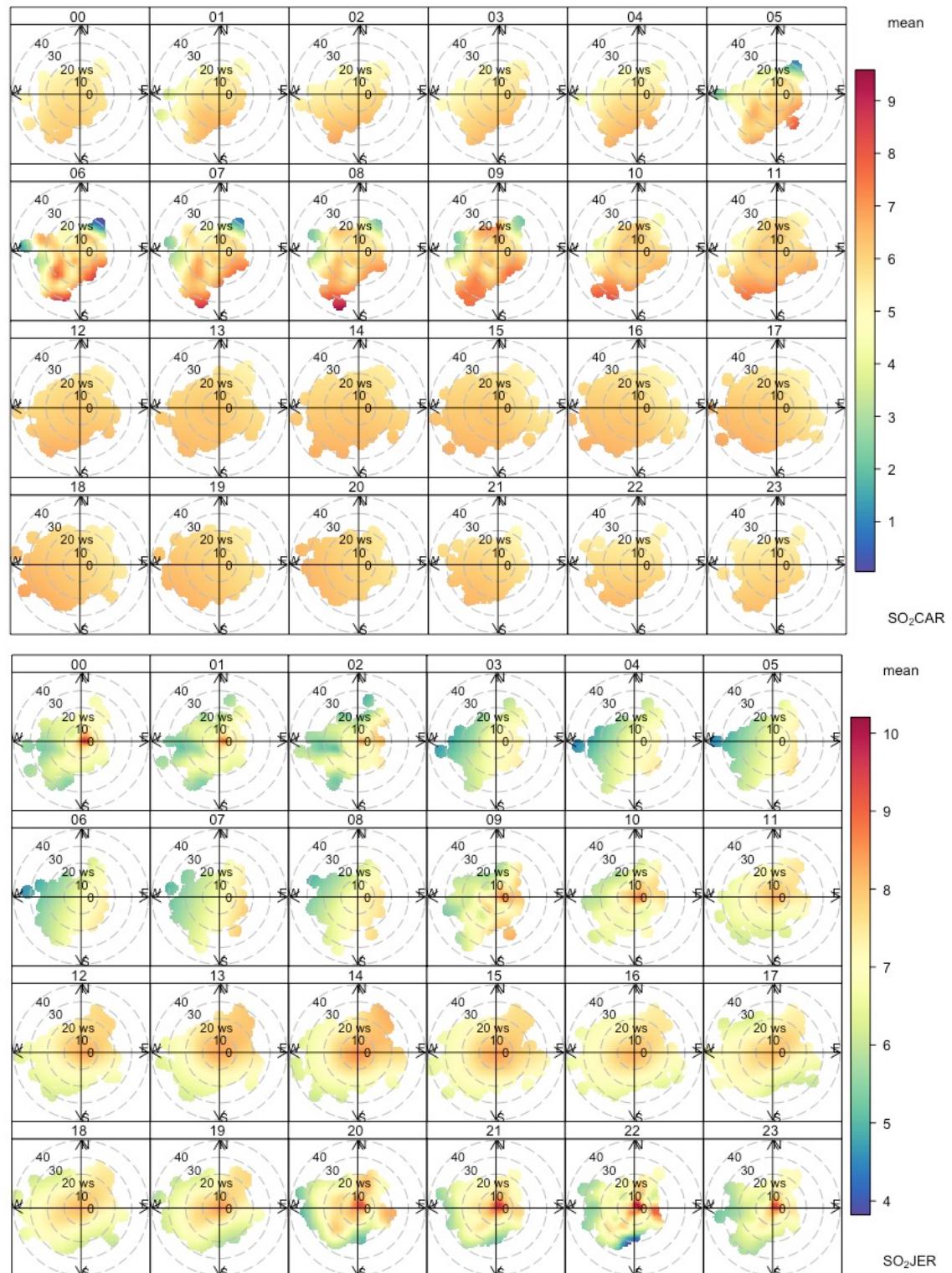
**Figura 3.17.-** Diagramas polares de  $\text{SO}_2$  en el periodo año 2000-mayo 2020 de las estaciones Cartuja, Jerez-Chapín, Avda. Marconi, Río San Pedro y San Fernando.



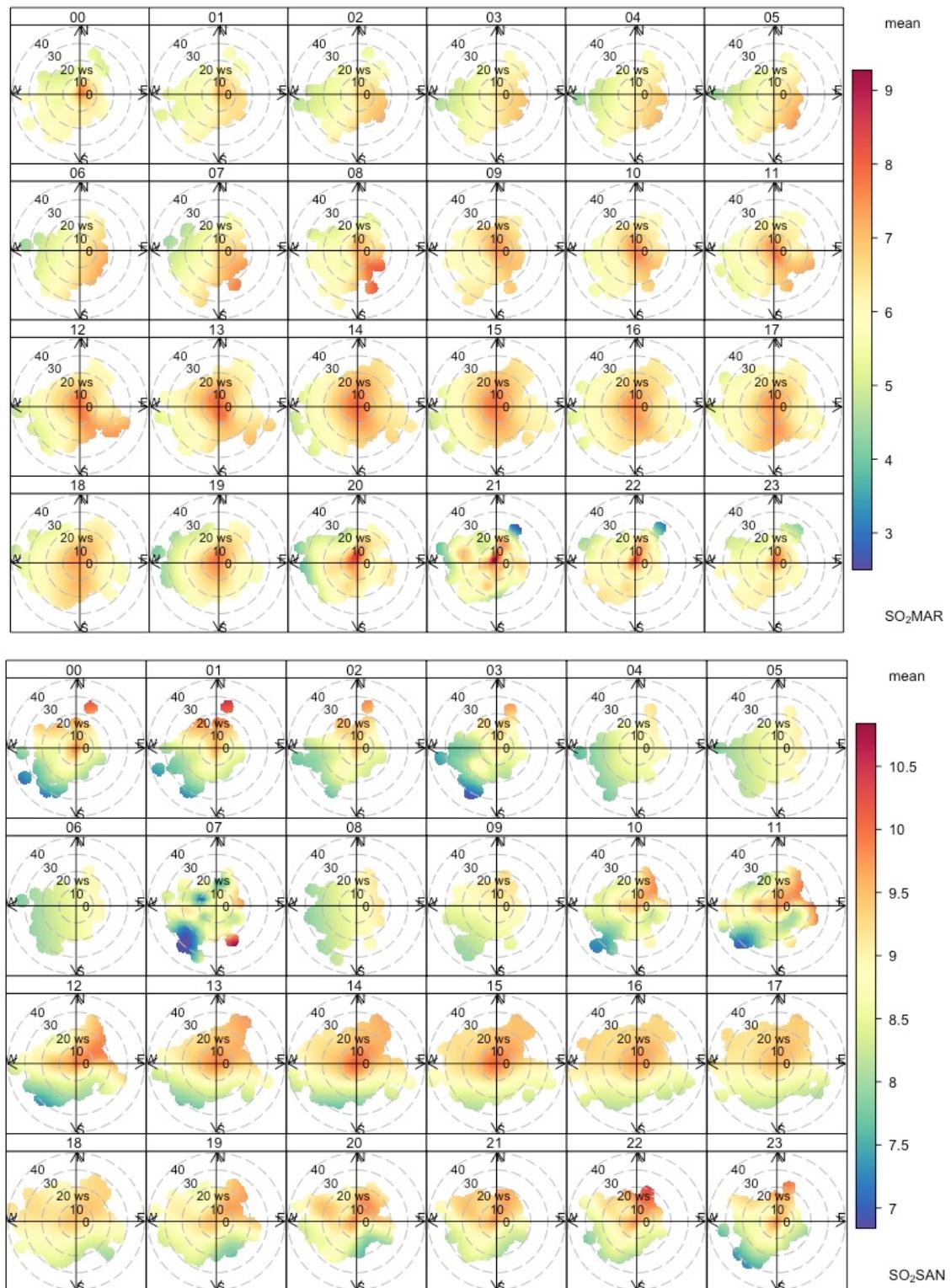
**Figura 3.18.-** Diagramas polares estacionales de SO<sub>2</sub> de las estaciones Cartuja, Jerez-Chapín, Avda. Marconi, Río San Pedro y San Fernando en el periodo año 2000-mayo 2020.



**Figura 3.19.-** Diagramas polares mensuales de SO<sub>2</sub> de las estaciones Cartuja, Jerez-Chapín, Avda. Marconi, Río San Pedro y San Fernando en el periodo año 2000-mayo 2020.



**Figura 3.20.-** Diagramas polares horarios de SO<sub>2</sub> de las estaciones Cartuja, Jerez-Chapín, Avda. Marconi, Río San Pedro y San Fernando en el periodo año 2000-mayo 2020.



**Figura 3.20 (continuación).-** Diagramas polares horarios de SO<sub>2</sub> de las estaciones Cartuja, Jerez-Chapín, Avda. Marconi, Río San Pedro y San Fernando en el periodo año 2000-mayo 2020.

### 3.4. Origen de masas de aire

Se ha realizado un estudio de orígenes de masas de aire en Andalucía Occidental (coordenadas 37°N 6°W) entre los años 1996 y 2019. Para ello se ha utilizado el modelo lagrangiano HYSPLIT4 tomando como base meteorológica los archivos de FNL (1996 a 2005) y GDAS (2006-2019).

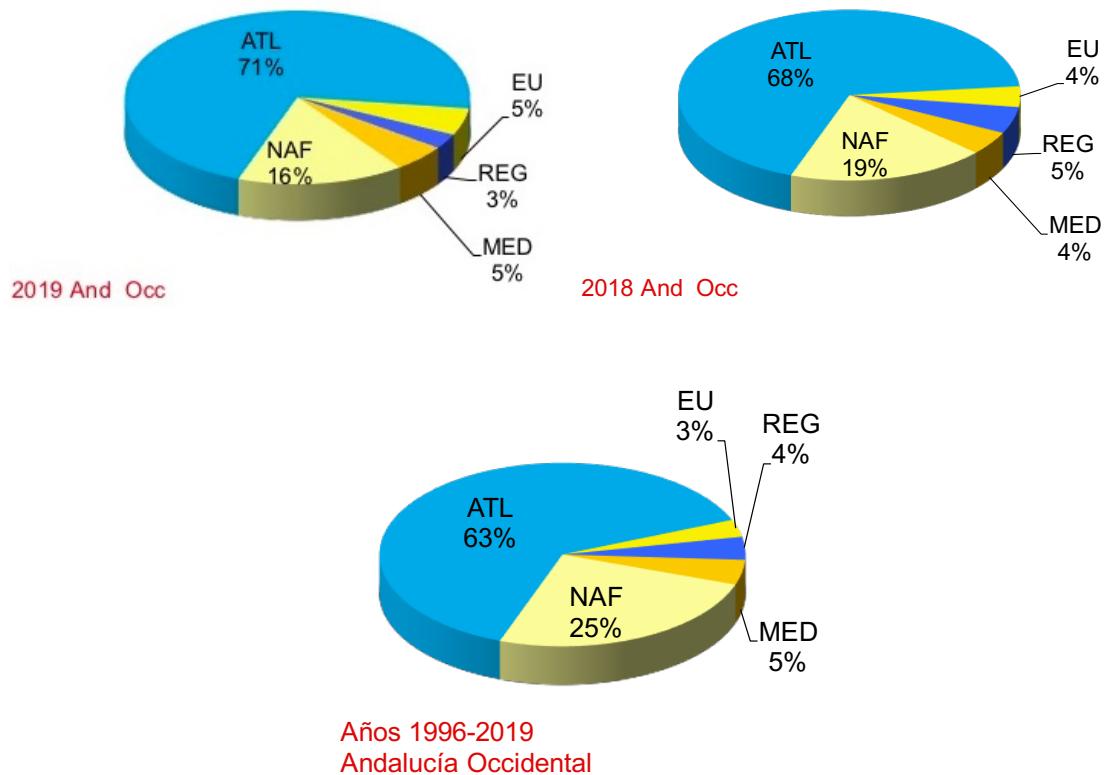
En la [Tabla 3.3](#) se resume los días con orígenes de masas de aire en Andalucía Occidental entre los años 1996 y 2019 (agosto). Además, se incluye el promedio anual en el mismo periodo y el porcentaje.

**Tabla 3.3.-** Orígenes de masas de aire en Andalucía en los años 1996-2019 -enero a agosto- (días y % anual).

AÑO	AN	ANW	AW	NAF	ME	EU	REG
1996	47	130	89	54	21	5	20
1997	30	98	95	68	50	10	14
1998	47	139	62	71	29	8	9
1999	49	107	88	62	24	19	15
2000	36	114	94	78	24	7	13
2001	43	90	103	85	10	4	20
2002	28	112	131	74	4	13	3
2003	45	80	92	134	0	7	7
2004	56	63	80	147	6	8	6
2005	54	69	103	105	6	19	9
2006	29	73	118	115	6	8	16
2007	45	97	47	108	1	17	26
2008	36	130	62	87	6	14	5
2009	50	87	79	97	10	5	8
2010	47	109	83	92	8	2	11
2011	23	111	46	114	34	6	12
2012	54	95	79	85	6	12	17
2013	58	87	71	81	17	22	18
2014	23	134	89	72	11	5	20
2015	38	54	88	100	14	11	50
2016	30	71	118	85	33	4	9
2017	35	87	75	112	18	22	12
2018	25	81	136	67	16	14	18
2019	23	70	79	39	17	16	3
1996-2019	40	95	88	89	15	11	14
%	11	26	24	24	4	3	4

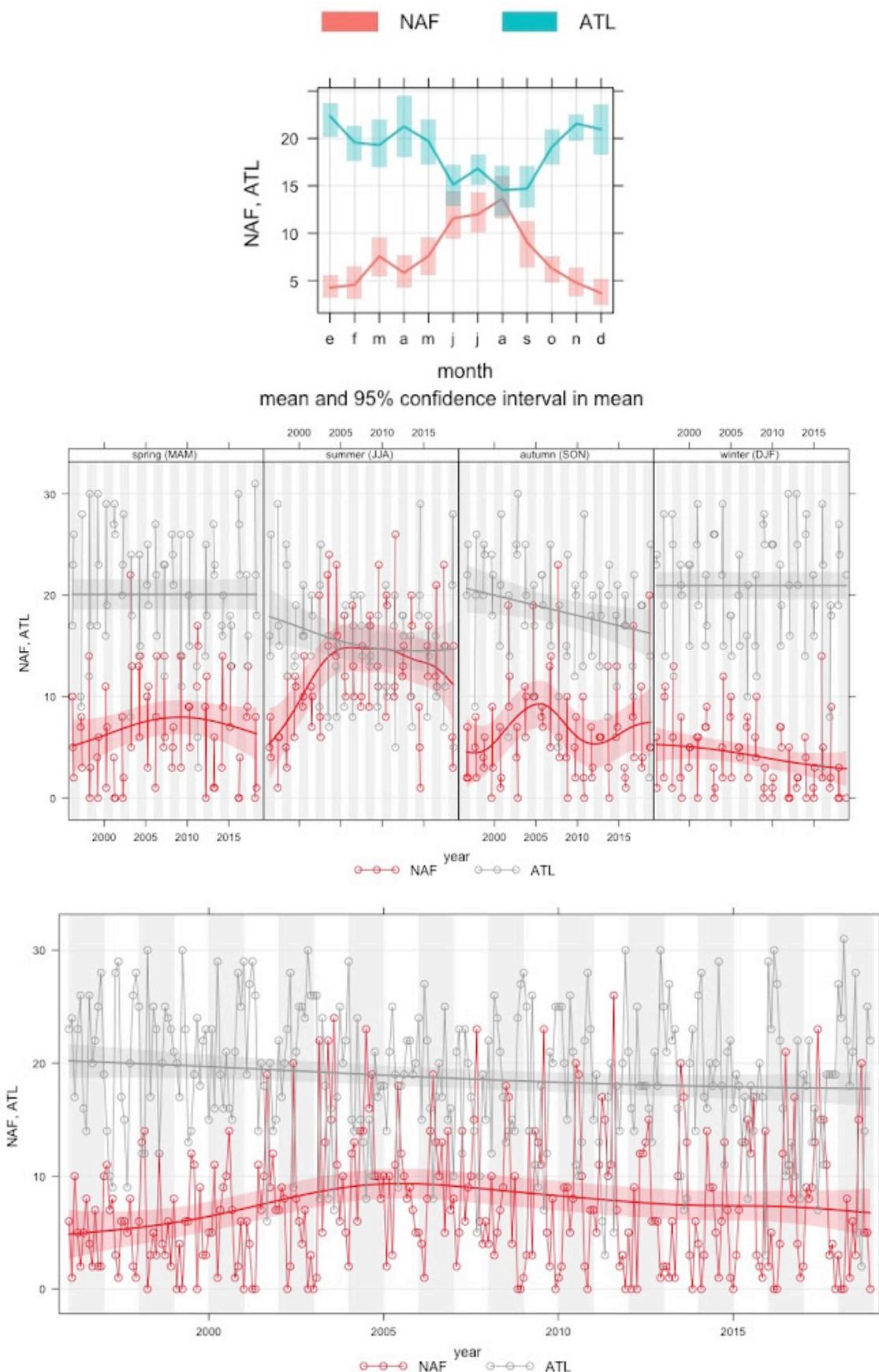
La [Figura 3.21](#) muestra la evolución de masas de aire en Andalucía Occidental en el año 2019 y 2018 y entre los años 1996-2019. En 2019, el origen más frecuente en Andalucía Occidental es Atlántico (71% días al año) en comparación con Norteafricano (NAF, 16%).

La mayor contribución de masas de aire sahariano ocurre entre los meses de junio a septiembre ([Fig. 3.22](#)). En estos momentos, y sobre todo en verano, nos encontramos en un ciclo descendente que se inició en el año 2010 si se compara con el promedio de días al año desde un punto de vista climático (25% días).

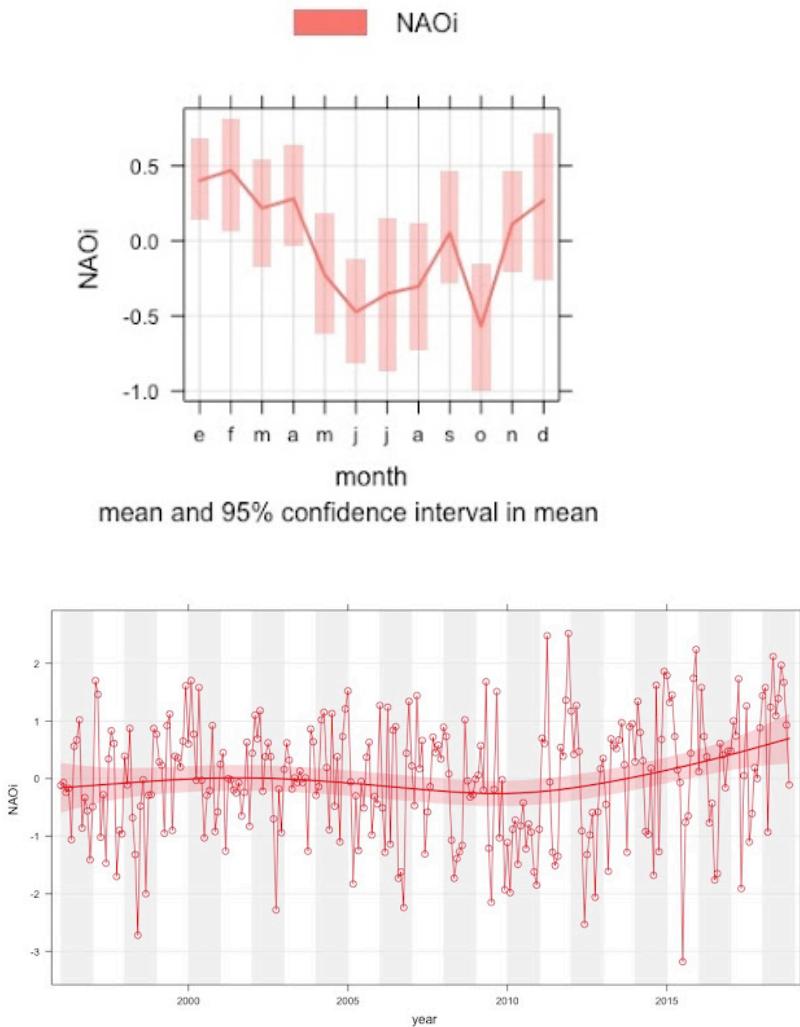


**Figura. 3.21.-** Evolución de las masas de aire en Andalucía Occidental durante el año 2019 y entre los años 1996-2019.

Este descenso se relaciona con valores negativos en julio de 2014 de NAO index, lo que permite el dominio de bajas presiones frente H de Azores en latitudes medias (Fig. 3.23). La oscilación del Atlántico Norte (NAO) es un fenómeno climático en el Norte del Océano Atlántico, de fluctuaciones en la diferencia de presión atmosférica entre un sistema de baja presión permanente sobre Islandia (la baja de Islandia) y un sistema de alta presión permanente sobre Azores (el anticiclón de Azores). La borrasca de Islandia y el anticiclón de las Azores van a controlar la dirección y la fuerza de los vientos del oeste dentro de Europa. Y sus relativas fuerzas y posiciones de esos dos sistemas varían de año a año, conociéndose tal variación como NAO. Una gran diferencia en la presión en las dos estaciones (un índice anual alto, se denota NAO+) hará incrementar los vientos del oeste y, consecuentemente, veranos frescos, los inviernos suaves y las lluvias frecuentes. En contraste, si el índice es bajo (NAO-), desaparecen los vientos del oeste, las temperaturas son más extremas tanto en verano como en invierno, produciendo canículas (ola de calor), heladas y lluvias reducidas.



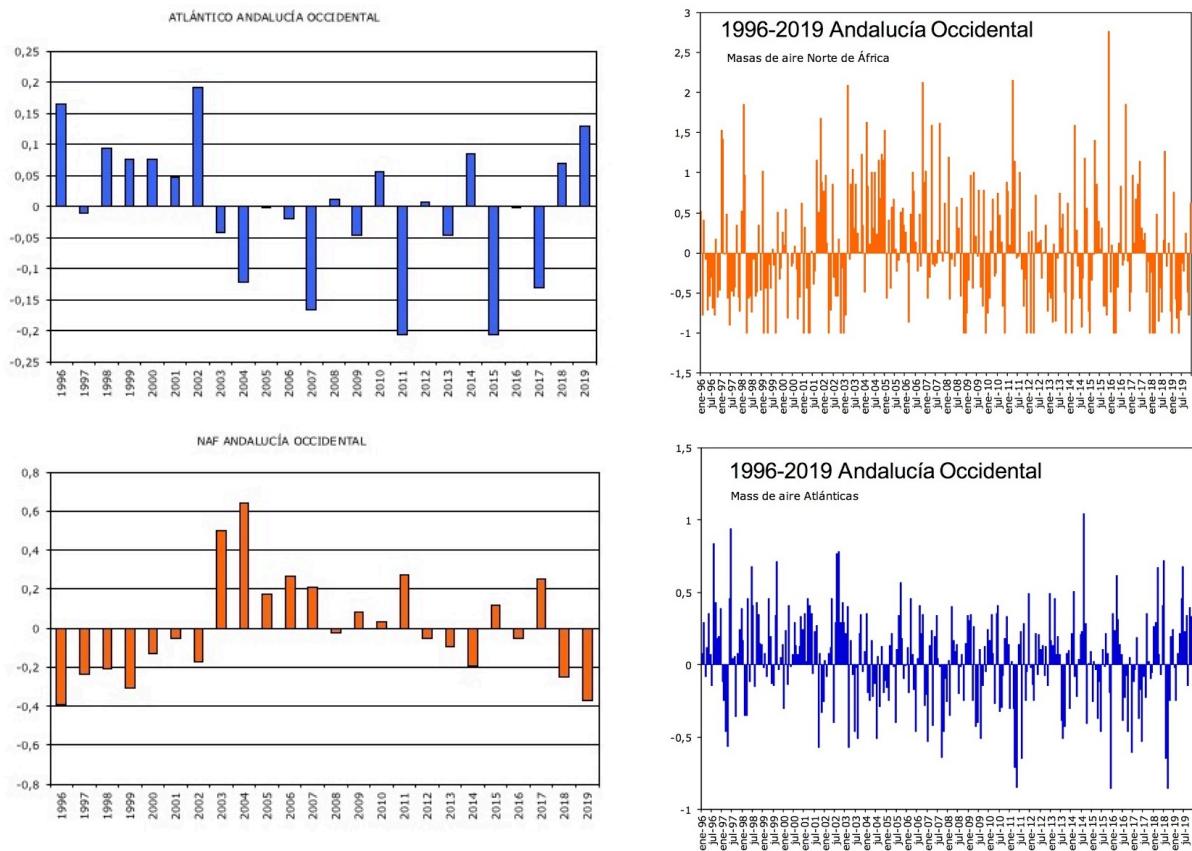
**Figura. 3.22.-** Evolución estacional de las masas de aire de origen Atlántico y Sahariano (NAF) durante el periodo 1996-2019 en Andalucía occidental.



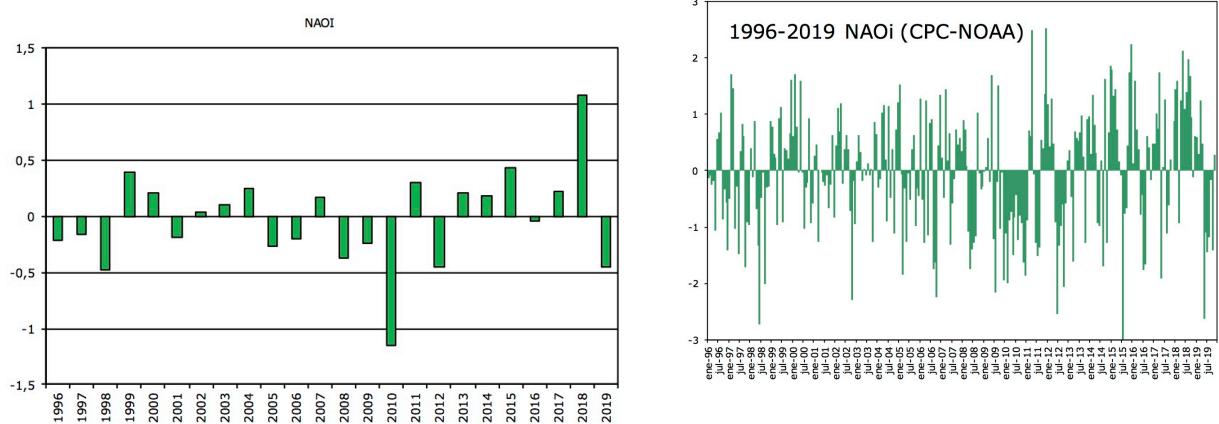
**Figura. 3.23.-** Evolución estacional del índice NAO durante el periodo 1996-2019.

En las Figuras 3.24 y 3.25 se han representado los diagramas de orígenes de masas de aire Norteafricana (NAF) y Atlántica (ATL) normalizada a la media del periodo 1996-2019 en Andalucía Occidental según promedio anual y mensual y NAOi.

En el caso del promedio anual, en el año 2018 se observa un aumento en el número de masas de aire de origen atlántico y un descenso de las masas de aire norteafricano con respecto al promedio 1996-2019.



**Figura 3.24.-** Diagramas de orígenes de masas de aire Norteafricana (NAF) y Atlántica (ATL) normalizada a la media del periodo 1996-2019 en Andalucía occidental. Promedio anual.



**Figura 3.25.-** Diagramas de diferencia de orígenes de masas de aire Norteafricana (NAF) y Atlántica (ATL) normalizada a la media del periodo 1996-2019 en Andalucía. Promedio mensual.

### 3.5.- Calidad del aire durante el confinamiento COVID-19 (C-19)

Se ha realizado un estudio comparativo de niveles diarios de gases contaminantes y PM10 en las estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía en Bahía de Cádiz en el periodo de enero a mayo del año 2020 y promedio 2011 a 2019 con objeto de conocer las variaciones que han supuesto las restricciones de movilidad en la calidad del aire derivadas de la implantación del Estado de Alerta en España desde el 14 de marzo de 2020. Durante este periodo, y como servicio esencial, la actividad portuaria mantuvo su actividad. La normalización del valor diario con respecto a un periodo de diez años ajustará las posibles variaciones desde un punto de vista meteorológico.

En la [Tabla 3.4](#) se resume el valor promedio entre el 14 de marzo a 31 de mayo del factor obtenido a partir de la normalización del valor del contaminante en el año 2020/ promedio 2011-2019.

**Tabla 3.4.-** valor promedio entre el 14 de marzo a 31 de mayo del factor obtenido a partir de la normalización del valor del contaminante en el año 2020/ promedio 2011-2019.

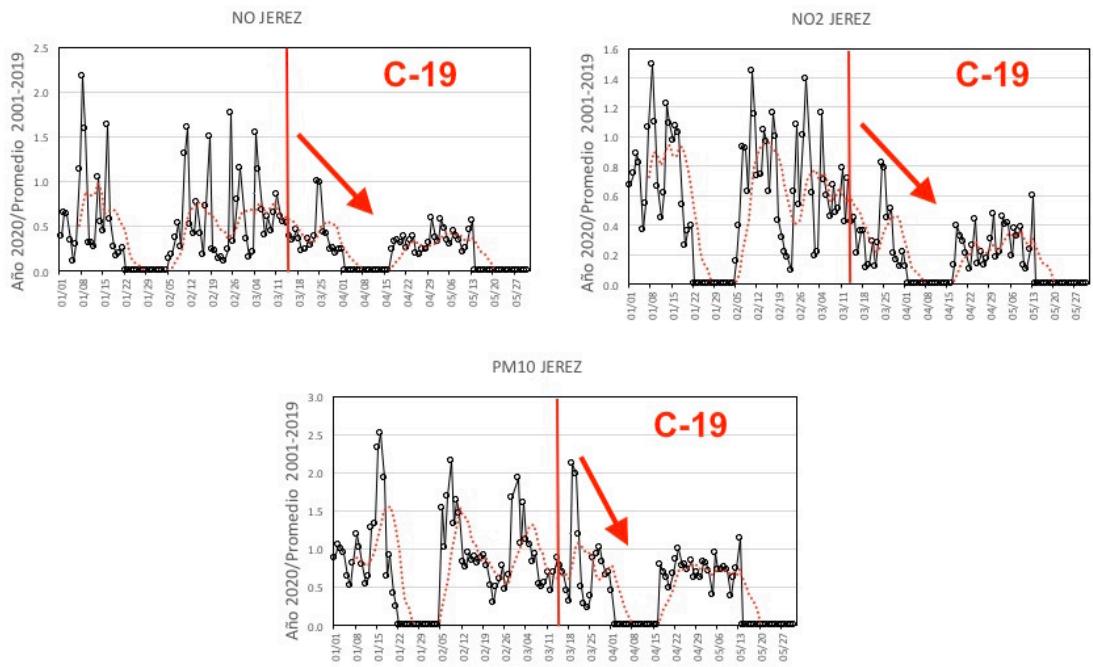
Estación	CO	NO <sub>2</sub>	NO	NOx	PM10	O <sub>3</sub>	SO <sub>2</sub>
Cartuja	1.43	0.89	1.11	0.94	0.77	1.08	1.25
Jerez-Chapín	-	0.28	0.35	0.38	0.73	-	0.42
Avda. Marconi	2.15	0.25	0.33	0.35	0.74	0.99	0.39
Río San Pedro	-	0.46	0.14	0.34	0.77	0.99	-
San Fernando	1.88	0.43	0.17	0.31	0.78	1.06	0.34

Los descensos principales se han observado en NO<sub>2</sub> y PM10. El NO<sub>2</sub> posee descensos importantes en las estaciones de Jerez-Chapín (72%) y Marconi (75%), seguidos de San Fernando (57%) y Río San Pedro (54%). En Cartuja, el descenso alcanza 11%, debido a que los niveles de NO<sub>2</sub> en esta estación son bajos (8 µg/m<sup>3</sup>, promedio 2000-mayo 2020) en comparación con el resto de las estaciones de la zona (22-17 µg/m<sup>3</sup>).

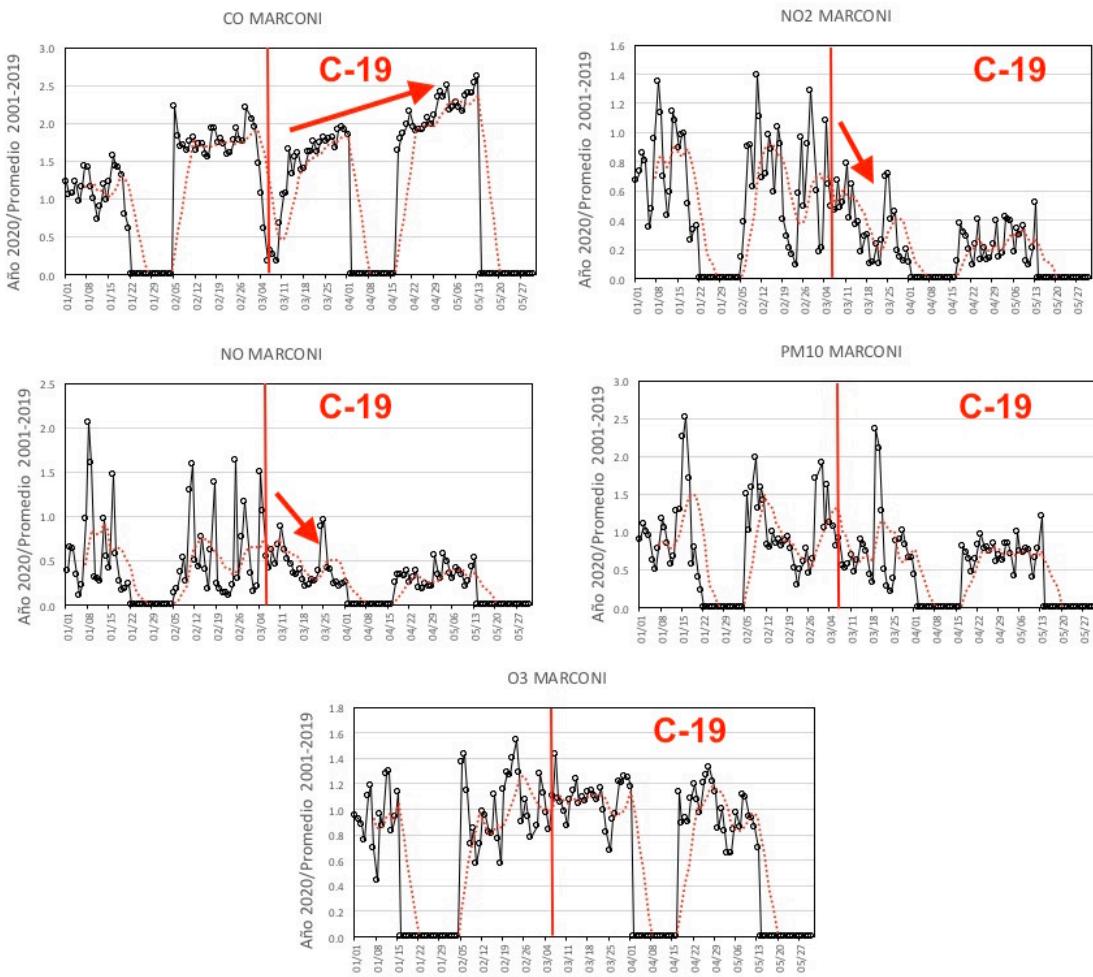
PM10 posee descensos muy parecidos en todas las estaciones y comprendidos entre el 22% (San Fernando) y 27% (Jerez-Chapín). Entre el 18 y 20 de marzo ocurrió un importante evento de calima en Andalucía, alcanzándose niveles horarios superiores a 300 µg/m<sup>3</sup>. En Río San Pedro se destaca un descenso de hasta 23%.

Si se tiene en cuenta la variación diaria de PM10 en San Fernando y contagios en la provincia de Cádiz, se observa como el máximo de contagios está desplazado 13 días con respecto al evento de calima descrito anteriormente ([Fig. 3.26](#)). Esta observación es generalizada en todas las provincias de Andalucía, salvo Almería, y aunque pueda coincidir con el periodo de posible incubación de C-19, se interpreta este hecho como una casualidad dado que no se ha repetido esta observación hecho en otros periodos de primavera y verano.

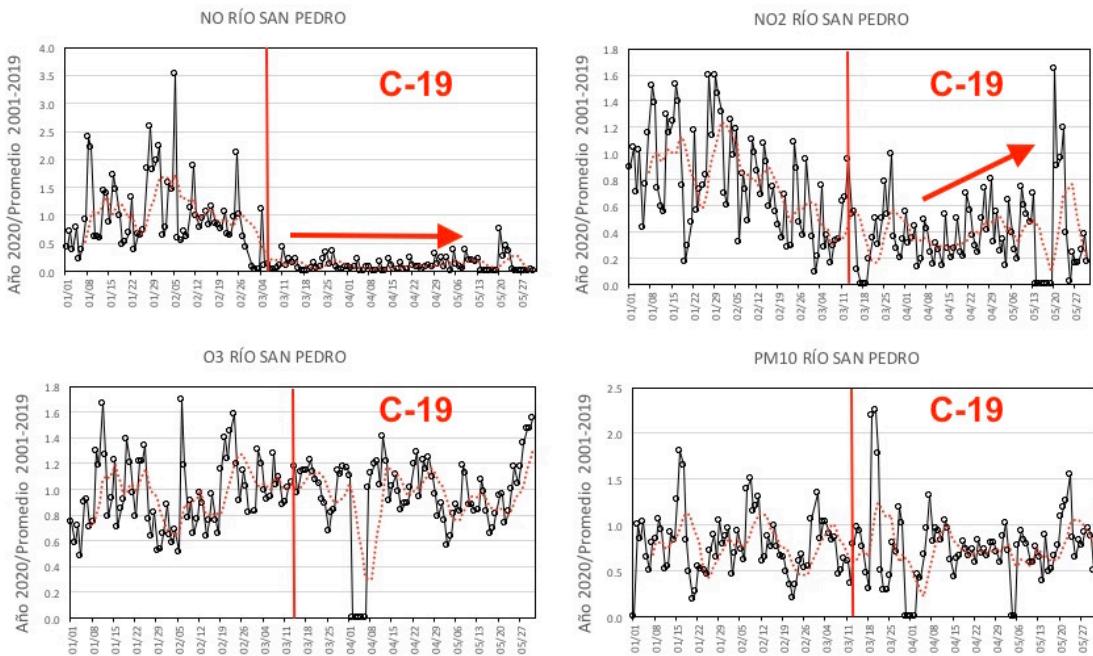
La variación de O<sub>3</sub> es inapreciable en Avda. Marconi, la evolución se observa de forma discontinua al existir cortes en la serie de datos en enero, abril y mayo.



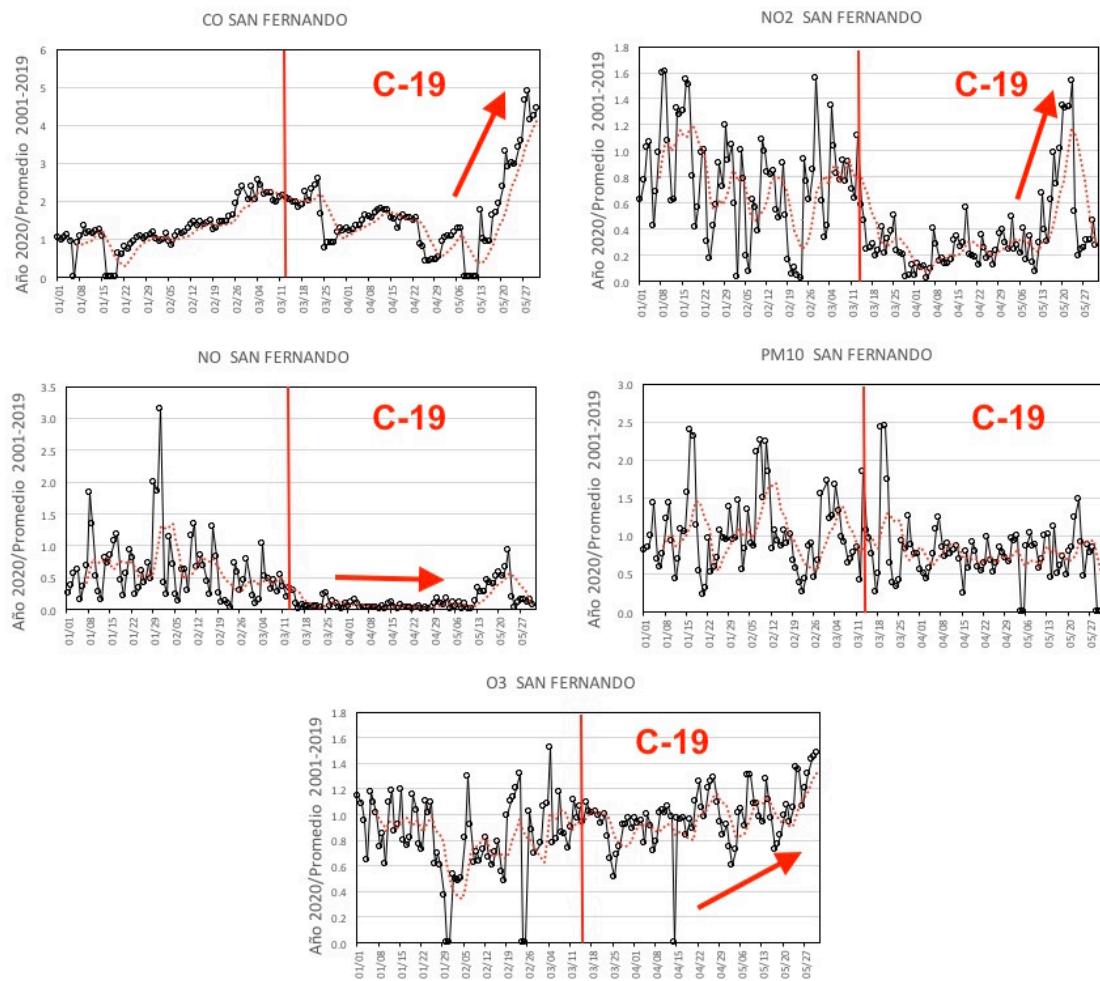
**Figura 3.28.-** Evolución entre el 1 de enero a 31 de mayo de los niveles diarios de contaminantes gaseosos y PM10 normalizados del año 2020 en comparación con el periodo 2011-2019. Estación de Jerez-Chapín. Línea roja discontinua: media móvil 7 días. C-19: periodo COVID-19.



**Figura 3.29.-** Evolución entre el 1 de enero a 31 de mayo de los niveles diarios de contaminantes gaseosos y PM10 normalizados del año 2020 en comparación con el periodo 2011-2019. Estación de Marconi. Línea roja discontinua: media móvil 7 días. C-19: periodo COVID-19.



**Figura 3.30.-** Evolución entre el 1 de enero a 31 de mayo de los niveles diarios de contaminantes gaseosos y PM10 normalizados del año 2020 en comparación con el periodo 2011-2019. Estación de Río San Pedro. Línea roja discontinua: media móvil 7 días. C-19: periodo COVID-19.



**Figura 3.31.-** Evolución entre el 1 de enero a 31 de mayo de los niveles diarios de contaminantes gaseosos y PM10 normalizados del año 2020 en comparación con el periodo 2011-2019. Estación de San Fernando. Línea roja discontinua: media móvil 7 días. C-19: periodo COVID-19.

## 4.- Conclusiones

En este informe se ha realizado un estudio de niveles de gases contaminantes y PM10 en las estaciones de la Red de Calidad del Aire de la Bahía de Cádiz entre los años 2000 a mayo 2020.

Los valores anuales y diarios según los contaminantes estudiados son bajos, y salvo circunstancias excepcionales, sobre todo calimas, los niveles no superan los límites descritos por las Directivas Europeas. Jerez-Chapín se destaca por las máximas concentraciones de **NO<sub>2</sub>** (22 µg/m<sup>3</sup>), Avda. Marconi en **CO** (630 µg/m<sup>3</sup>), San Fernando en **Ozono troposférico** (70 µg/m<sup>3</sup>), y Avda. Marconi en **PM10** (35 µg/m<sup>3</sup>). Río San Pedro (27 µg/m<sup>3</sup>) y San Fernando (23 µg/m<sup>3</sup>) destacan por registrar las mínimas concentraciones en PM10 en la Bahía de Cádiz.

Los patrones de variación semanal reflejan claramente la actividad del tráfico sobre todo en dióxido de nitrógeno, con máximos entre lunes a viernes y picos máximos entre 9-10h y 21-22h. Las máximas concentraciones de PM10 ocurren en verano y sobre todo durante la tarde. Un contaminante de especial atención es ozono, aunque su comportamiento depende de las emisiones de precursores (óxidos de nitrógeno y compuestos orgánico volátiles, COV) sus máximas concentraciones están también favorecidas por la radiación solar, ocurriendo en los meses de verano.

La proclamación del Estado de Alarma en España a partir del 14 de marzo de 2020 ha supuesto una parada en la movilidad del país, derivada del confinamiento al que ha estado sometido la población. La actividad portuaria (APBC) se mantuvo durante el Estado de Alarma al tratarse de servicios esenciales. Estas medidas excepcionales, han influenciado en la calidad del aire de Bahía de Cádiz. Teniendo en cuenta el periodo 14 de marzo a 31 de mayo del año 2020, los descensos principales se han observado en NO<sub>2</sub> (54-72%) y PM10 (22-27%), siendo inapreciables en ozono troposférico. A partir de la segunda semana de mayo, se observa el incremento de niveles en los contaminantes estudiados.

En la actualidad se está realizando el muestreo de PM10 mediante un equipo captador secuencial de bajo volumen y niveles diezminutales mediante un equipo de attenuación beta en dos nuevas cabinas temporales y empíricas, ubicadas en La Cabezuela (Puerto Real) y CN Viento de Levante (Cádiz Capital).

Además, se ha desplegado una red de 7 nodos de PM10, CO<sub>2</sub>, T y HR en la zona portuaria con objeto de conocer las variaciones de niveles de partículas con mayor resolución espacial.

## 5.- Agradecimientos

A la Agencia de Medio Ambiente y Agua (AMAYA) y Jefatura de Servicio de Calidad del Aire de la Junta de Andalucía por los datos históricos de gases contaminantes y PM10 empleados en este estudio.