



TRABALLO FIN DE GRADO

OZONO TROPOSFÉRICO NA CIDADE DE OURENSE

Alicia Ardións Leis
Grado en Ciencias Ambientais

Universidade de Vigo
Facultade de Ciencias
Departamento: Física Aplicada
Convocatoria de Xuño 2018
Titores: Juan Antonio Añel Cabanelas
Ignacio Arturo Ramírez González

AGRADECEMENTOS

Quero agradecerlles aos meus titores Juan Antonio Añel Cabanelas e Ignacio Arturo Ramírez González a súa axuda e dedicación á hora de elaborar este traballo.

Agradézolles tamén ao profesor José Ángel Cid Fernández e aos meus compañeiros Jaime García e Noel Varela a súa axuda en canto á utilización do programa de software libre QGIS.

A Josua Outeiro agradézolle o seu apoio á hora de facer este traballo.

Finalmente agradézolle a MeteoGalicia, ó Concello de Ourense e á concesionaria da estación de calidade do aire do Concello de Ourense a súa colaboración.

ÍNDICE

1. Xustificación e obxectivos.....	1
2. Introducción.....	2
2.1 Atmosfera, xeneralidades.....	2
2.2 Ozono	3
2.2.1 Reaccións de formación de ozono	4
2.3 Cidade de Ourense	5
2.4 Calidade do aire en Ourense.....	6
2.4.1 Marco legal.	6
2.4.2 Estacións de calidade do aire de Ourense	7
2.4.3 Acontecementos salientábeis.....	9
2.4.4 Informes previos de calidade do aire da cidade	9
3. Procedemento	10
3.1 Ozonómetros.....	13
4. Resultados.....	15
4.1 Tratamento de datos	15
4.2 Medicións e comparativas	15
4.3. NO, NO ₂ , chuvia e radiación solar.	21
5. Conclusións	23
6. Referencias.....	26
Anexo I. Mapa coa localización dos ozonómetros.....	28

1. Xustificación e obxectivos.

Este traballo levouse a cabo coa finalidade de determinar se a actual rede de monitorización de calidade do aire en Ourense é capaz de rexistrar todas as singularidades que se poidan dar na súa área urbana e periurbana. A premisa da cal partimos é que as dúas estacións existentes na actualidade, localizadas na Alameda de Ourense e na rúa Eulogio Gómez Franqueira, son adecuadas para monitorizar valores máximos e proporcionar alertas, pero probablemente non son representativas da calidade do aire real existente en toda a área urbana e periurbana do Concello.

As estacións existentes atópanse en zonas diferentes da cidade, polo que pode haber variacións en canto aos niveis que rexistran, especialmente porque a estación da Xunta se localiza preto da estación de autobuses e da estación de tren. En cambio, a estación do Concello atópase na Alameda, cerca do centro da cidade, unha zona relativamente afastada da anterior.

O indicador que se usou para determinar a calidade do aire foi o ozono. Este gas contaminante está recibindo unha importante atención, xa que nos últimos anos se incrementou a súa concentración de forma considerable, principalmente en áreas urbanas. Un dos problemas de dito gas é a súa capacidade de oxidación, pois causa problemas no organismo dos seres vivos; no caso das persoas afecta ao aparato cardiorrespiratorio. A consecuencia disto está aumentando a súa monitorización a nivel mundial. Outro motivo polo que escollemos este indicador de calidade do aire é que era o máis doado de monitorizar tendo en conta os recursos dos que dispoñíamos. Ademais, é un contaminante que está moi presente nas cidades; isto débese a que o tráfico e a industria son fontes importantes de gases precursores de ozono que por reaccións fotoquímicas derivan na formación deste gas contaminante. Ditos axentes son: compostos orgánicos volátiles (COVs), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitróxeno (NO_x) e en menor medida metano (CH_4). Todos eles seguen un proceso de formación de ozono semellante, que se explica posteriormente [1].

Nun principio quixéronse instalar puntos de medición de ozono en distintos lugares, incluíndo tanto puntos no centro da cidade como na periferia, pero a consecuencia de problemas técnicos (con diferentes equipos de medición) e burocráticos, esta opción quedou descartada.

Así pois, procedeuse á colocación de tres puntos de medición de ozono troposférico na cidade, a distintas altitudes: un ozonómetro instalouse na Subdelegación do Goberno, a 130 metros de altitude sobre o nivel do mar, que representa o nivel da rúa; outro punto de medición situouse no edificio A Torre, a unha altitude de 206 metros; finalmente o último ozonómetro instalado atopábase no Botánico de Montealegre, a unha altitude de 310 metros. Unha vez obtidos os datos destes puntos de mostreo (tendo tamén en conta as condicións meteorolóxicas dos días nos que se tomaron as medicións), comparáronse cos datos recollidos polas estacións de calidade do aire da Xunta de Galicia e do Concello de Ourense, e tamén con datos do modelo Chimere [2] proporcionados por MeteoGalicia. Con estes datos obtívose información dos niveis de ozono troposférico na cidade, de como varían ao longo do tempo e as diferenzas entre os distintos puntos de monitorización. Con todos estes datos, procedeuse a determinar se as instalacións actuais dos puntos de monitorización da Xunta de Galicia e do Concello de Ourense representaban a situación real da calidade do aire da cidade, ou se era necesario cambiar as estacións de lugar ou engadir outra estación a maiores.

2. Introducción

2.1 Atmosfera, xeneralidades.

A atmosfera do noso planeta é una mestura de gases, formada principalmente por nitróxeno (78,08%) e osíxeno (20,95%); o resto dos gases que a conforman están en menor proporción, como se mostra na Táboa 1, tendo certa importancia o argon. A proporción destes gases é constante ata os 80 km aproximadamente, sendo unha excepción o ozono (concéntrase na estratosfera inferior) e o vapor de auga (troposfera inferior) [3].

Compoñente	Símbolo	% en volume (aire seco)	Peso molecular (uma)
Nitróxeno	N ₂	78,08	28,02
Osíxeno	O ₂	20,95	32,00
Argon	Ar	0,93	39,88
Dióxido de carbono	CO ₂	0,035	44,00
Neon	Ne	0,0018	20,18
Helio	He	0,0005	4,00
Ozono	O ₃	0,00006	48,00
Hidróxeno	H	0,00005	2,02
Cripton	Kr	0,0011	167,60
Xenon	Xe	0,00009	262,58
Metano	CH ₄	0,00017	16,05

Táboa 1. Composición media da atmosfera seca por debaixo de 25 km [3].

A clasificación máis común das diferentes capas ou estratos nos que se pode dividir a atmosfera, realízase en función da temperatura. Segundo esta variable as capas que atopamos son:

- **troposfera:** é a capa que está máis preto da superficie terrestre, onde se producen os fenómenos meteorolóxicos e que contén o 75% da masa total da atmosfera, así como case todo o vapor de auga e os aerosois. A temperatura descende 6,5 °C/km. A súa altitude está limitada pola tropopausa e pode variar dende uns 16 km na zona ecuatorial ata 8 km na zona polar;
- **estratosfera:** esta capa comeza tras a tropopausa e pode alcanzar os 50 km. Contén o 90% do ozono [4], o cal absorbe a radiación solar ultravioleta (UV) producindo un aumento da temperatura, feito que se asocia á temperatura máxima alcanzada na estratopausa (pode superar os 0 °C) ;
- **mesosfera:** o seu límite atópase preto dos 90 km, onde se rexistra a temperatura mínima desta capa que son -133 °C. A zona de transición entre a mesosfera e a termosfera coñécese como mesopausa;
- **termosfera:** nesta capa as temperaturas volven aumentar como consecuencia de que o osíxeno molecular e atómico absorben radiación UV extrema, alcanzando posiblemente máis de 900 °C;
- **exosfera e magnetosfera:** a exosfera atópase tras a termopausa, e ten a súa base sobre os 500-750 km, onde se atopan átomos de osíxeno, hidróxeno e helio que poden escapar ao espazo. Canto maior é a altitude maior é a frecuencia de partículas

ionizadas, de feito na magnetosfera (200 km por encima da exosfera) existen só electróns e protóns procedentes do vento solar.

2.2 Ozono

Considérase que o ozono (gas formado por tres átomos de osíxeno) foi descuberto por C.F. Schönbein cando, en 1839, detectou este gas debido ao seu característico olor picante, ao que decidiu poñerlle o nome de ozono (procedente do termo «ozon», de orixe grego, que significa olor). Schönbein foi o primeiro en desenvolver a técnica para a monitorización de dito gas, que posteriormente, se empregou en múltiples observatorios meteorolóxicos a nivel mundial para as medicións de ozono [4].

En 1880 W.N. Hartley descubriu que o ozono causaba unha forte absorción na rexión de lonxitude de onda de 200-320 nm, e deduciu que as concentracións de ozono na estratosfera son moito maiores que preto da superficie terrestre, descubrindo así a capa de ozono estratosférico.

Así pois, podemos falar de dous tipos de ozono [5], segundo onde se atope:

- a) **ozono estratosférico**: denominado así xa que se produce de xeito natural na estratosfera, formando o que denominamos a capa de ozono. Esta capa protéxenos da nociva radiación solar ultravioleta, xa que a maior parte é absorbida polo ozono evitando que alcance a superficie terrestre. Certos produtos químicos de orixe antrópica, como os clorofluorocarbonos (CFCs), destrúen este bo ozono creando áreas onde a concentración de O_3 alcanza niveis mínimos ou inexistentes, por exemplo o burato da capa de ozono do Polo Sur. Para evitar a degradación da capa de ozono, creáronse protocolos internacionais para eliminar os produtos químicos que destrúen o O_3 , como por exemplo o Protocolo de Montreal en 1987 [6].
- b) **ozono troposférico**: designado con este nome debido a que se atopa na troposfera como consecuencia dos contaminantes emitidos polas actividades humanas. Estes contaminantes, en presenza da luz solar, reaccionan quimicamente e dan lugar á formación de ozono troposférico, que contamina o aire que respiramos afectando a nosa saúde.

En 1920, Fabry e Buisson realizaron a primeira medición cuantitativa do espesor da capa de ozono (medicións do espectro solar UV) e estimaron que era de 3 mm de ozono, en temperatura e presión estándar (STP). Nesta mesma década, G.M.B. Dobson realizou medicións sistemáticas do espesor desta capa (variacións estacionais e latitudinais) usando un espectrógrafo UV que el mesmo creou en 1924. Actualmente, o espesor desta capa mídese en unidades Dobson (DU); polo tanto, como 100 DU equivalen a 1 mm STP, o valor obtido en 1920 por Fabry e Buisson equivale a 300 DU. O descubrimento en 1984 do burato da capa de ozono na Antártida [4], a pesar de que xa había sensores en satélites operativos, debeuse á súa monitorización en terra con espectrofotómetros Dobson. Os buratos máis profundos da capa de ozono medíronse durante o mes de outubro dos anos 1987, 1989, 1990 e 1991 con niveis de 120 DU [4].

En canto aos niveis de ozono troposférico en áreas metropolitanas, é interesante saber que París foi unha das primeiras cidades que iniciou a monitorización da calidade do aire, incluíndo medicións de ozono en particular, en 1865. Os niveis de ozono nesta época na que a contaminación do aire era case insignificante, indicaban valores de

ozono de aproximadamente 10 ppb. Este valor contrasta cos niveis máximos obtidos en 1980 en Los Angeles (Estados Unidos) de 400 ppb, que grazas á introdución de regulaci3ns de emisi3ns eficientes, se reduciu a niveis actuais que non superan m3is de 170 ppb, a3nda que este valor segue superando os l3mites de referencia legais (70 ppb) [7].

2.2.1 Reacci3ns de formaci3n de ozono

O ciclo de Chapman describe as principais reacci3ns de formaci3n do ozono na estratosfera, que se mostran na Figura 1. Dito ciclo comeza con unha mol3cula de os3xeno que, por fot3lise (debido a radiaci3n solar UV de lonxitudes de onda menores de 242 nm), se rompe formando dous 3tomos libres. Posteriormente, un destes 3tomos reacciona con unha mol3cula de os3xeno, producindo a formaci3n de unha mol3cula de ozono, proceso no que interv3n unha part3cula neutra representada pola letra M. As mol3culas de ozono poden sufrir un proceso de fot3lise con lonxitudes de onda menores a 1200 nm, e descompoñerse dando lugar 3 formaci3n de un 3tomo e unha mol3cula de os3xeno. Cando se produce a colisi3n entre un 3tomo de os3xeno e unha mol3cula de ozono, f3rmanse d3as mol3culas de os3xeno. Finalmente, dous 3tomos de os3xeno forman unha mol3cula de os3xeno, e volver3a comezar o ciclo.

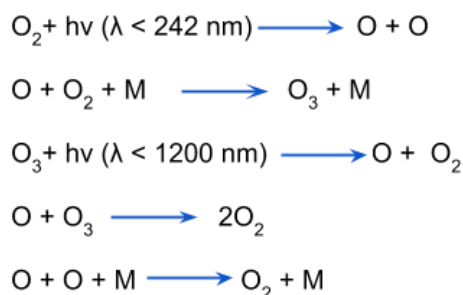


Figura 1. Ciclo de Champan [4].

A radiaci3n solar UV de lonxitude menor a 242 nm 3 totalmente absorbida nas capas superiores 3 troposfera, polo que non interv3n na formaci3n de ozono troposf3rico. A produci3n deste ozono superficial d3bese principalmente a reacci3ns fotoqu3micas de outros contaminantes, que est3n presentes na atmosfera debido a fontes antr3picas (actividades industriais, tr3fico). Os COVs e o CO ox3danse en presenza de NO_x e luz solar, onde o NO act3a como catalizador, que soe limitar a formaci3n de O₃ [8]. Na Figura 2 m3stranse as reacci3ns que te3nen lugar en presenza de NO_x: a fot3lise de NO₂ mediante radiaci3n UV de lonxitudes de onda maiores a 420 nm, d3a lugar a mol3culas de NO e 3tomos de os3xeno, que facilmente se unen a mol3culas de O₂ formando ozono.

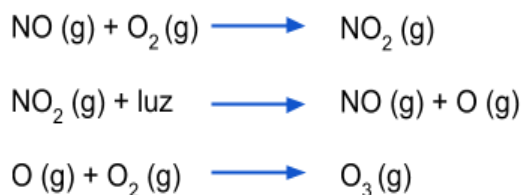
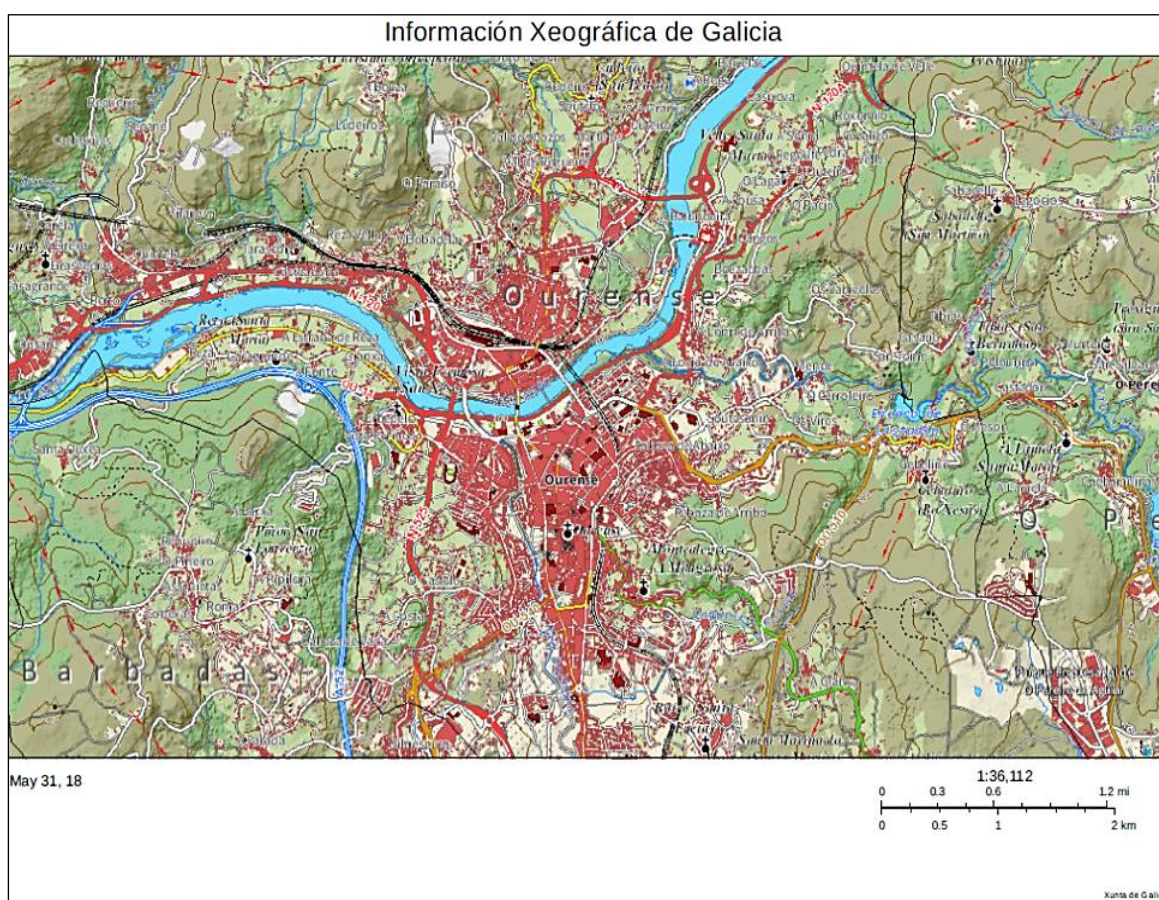


Figura 2. Reacci3ns de formaci3n de ozono en presenza de NO_x [1].

2.3 Cidade de Ourense

A cidade de Ourense conta con 107.314 habitantes, segundo os datos de 2017 do IGE (Instituto Galego de Estatística) [9]. Unha das características desta cidade é a súa situación xeográfica, pois atópase nun val atravesado polo río Miño, como se mostra na Imaxe 1. Esa situación ten certa influencia na concentración de contaminantes atmosféricos, pois ao estar rodeado de montañas obstaculiza a mestura difusa de ditos contaminantes a outras áreas. O clima de Ourense clasifícase como Csa no sistema Köppen-Geiger, o que quere dicir que é un clima mediterráneo típico. Os niveis de precipitación varían fortemente, xa que os meses de inverno son moito máis chuviosos que os de verán: o mes máis seco é o de xullo, que rexistra 20 mm de chuva; en cambio o mes de maior precipitación, decembro, acumula unha media de 131 mm, deixando unha diferenza de 111 mm. Tamén cabe mencionar que a temperatura media de Ourense é de 14.5 °C, e que se producen grandes contrastes entre o verán e inverno, chegando a haber variacións de 14.8 °C entre o mes máis cálido (xullo) e o máis frío (xaneiro) [10].

Cómpre tamén destacar o papel das condicións meteorolóxicas en canto á calidade do aire; concretamente para o ozono, as condicións que fomentarían unha alta concentración de dito gas (xa que favorecen a súa formación) serían: altas temperaturas, pouca cobertura de nubes e baixa velocidade do vento [11]. O papel da precipitación tamén é importante, xa que ao chover realízanse lavados atmosféricos, descendendo a concentración de contaminantes no aire.



Imaxe 1. Mapa de Ourense. Fonte: Xunta de Galicia. [12].

2.4 Calidade do aire en Ourense

2.4.1 Marco legal.

En canto á lexislación referente á calidade do aire [13] podemos clasificalas segundo sexan lexislación europea, española ou galega.

○ Europea:

- Directiva 2004/107/CE do parlamento europeo e do consello de 15 de decembro de 2004 relativa ao arsénico, o cadmio, o mercurio, o níquel e os hidrocarburos aromáticos policíclicos no aire ambiente.
- Directiva 2008/50/CE do parlamento Europeo e do Consello do 21 de maio de 2008 relativa á calidade do aire ambiente e a unha atmosfera máis limpa en Europa.
- Directiva (UE) 2015/1480 da comisión de 28 de agosto de 2015 pola que se modifican varios anexos das Directivas 2004/107/CE e 2008/50/CE do Parlamento Europeo e do Consello nos que se establecen as normas relativas aos métodos de referencia, a validación de datos e a localización dos puntos de mostraxe para a avaliación da calidade do aire ambiente.

○ Española:

- Lei 34/2007, de 15 de novembro, de calidade do aire e protección da atmosfera.
- REAL DECRETO 102/2011, do 28 de xaneiro, relativo á mellora da calidade do aire.
- REAL DECRETO 39/2017, do 27 de xaneiro, polo que se modifica o Real Decreto 102/2011, do 28 de xaneiro, relativo á mellora da calidade do aire.

○ Galega:

- Lei 8/2002, do 18 de decembro, de protección do ambiente atmosférico de Galicia.

Os datos de interese sobre o ozono troposférico que podemos adquirir desta lexislación son os seguintes:

- I. Valores obxectivo, obxectivos a longo prazo e limiares de información e alerta respecto á saúde humana.

A continuación, na Táboa 2, móstranse datos obtidos do apartado H do Anexo I do REAL DECRETO 102/2011, do 28 de xaneiro, relativo á mellora da calidade do aire. Os datos exprésanse en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, referidos a unha temperatura de 293,15 Kelvin (20 °C) e a 101,3 kPa de presión.

Dato	Parámetro	Valor	Data de cumprimento
Valor obxectivo	Máxima diaria das medias móbiles octohorarias.	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ que non se deberán superar máis de 25 días por cada ano civil de media nun período de 3 anos.	01/01/2010
Obxectivo a longo prazo	Máxima diaria das medias móbiles octohorarias nun ano civil.	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Non definida
Limiar de información	Media horaria.	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
Limiar de alerta.	Media horaria, durante 3 horas consecutivas	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	

Táboa 2. Valores obxectivo e límite de ozono.

II. Método de referencia para medición de ozono.

O método para a medida da concentración de ozono é por fotometría ultravioleta. Esta información atópase no apartado 8 da sección A do Anexo VII do REAL DECRETO 102/2011, onde di que este método está descrito na norma UNE-EN 14625:2005.

III. Puntos de medición para avaliar as concentracións de ozono.

Neste caso sería unha estación urbana que tería como obxectivo a protección da saúde humana, polo tanto os puntos de medición de ozono deben cumprir as seguintes características:

- Situarse lonxe de fontes de emisión de contaminantes.
- Localizarse en zonas ventiladas para que poida medirse unha mestura adecuada de sustancias.
- Como se mencionou anteriormente, a cidade de Ourense conta con 107.314 habitantes; polo tanto, segundo o apartado 1 do Anexo X do REAL DECRETO 102/2011, só sería obrigatorio instalar un punto de mostreo para a medición fixa das concentracións de ozono. Este punto debería situarse onde poida producirse a máxima exposición deste gas na poboación.

2.4.2 Estacións de calidade do aire de Ourense

A cidade de Ourense dispón dunha estación de calidade do aire que pertence á Xunta de Galicia, administrada por MeteoGalicia, que se describe a continuación:

- **Ourense-estación:** situada na Rúa Eulogio Gómez Franqueira (coordenadas: latitude: 42° 21' 10,81" e lonxitude 7° 52' 40,42") a unha altitude aproximada de 125 metros. Ademais de ser estación de calidade do aire é unha estación meteorolóxica. Está equipada para medir niveis de ozono troposférico polo método de absorción ultravioleta [14].



Imaxe 2. Estación da Rúa Eulogio Gómez Franqueira.

Así mesmo, a cidade tamén conta coa rede do Concello de Ourense, formada por unha estación que se atopa na Alameda, e que se mostra na imaxe 3 .

- **Estación da Alameda:** situada na Alameda de Ourense, a unha altitude de 123 metros, as súas coordenadas son as seguintes: latitude 42° 20' 8,67"; lonxitude 7° 52' 1,91". O método que emprega para a medición de ozono é a absorción ultravioleta [15].



Imaxe 3. Estación do Concello de Ourense na Alameda.

A continuación, na Táboa 3, móstranse os equipos dos que dispoñen as estacións citadas anteriormente [14,15].

Estación	Equipamento	Marca	Modelo
Ourense- estación (MeteoGalicia)	Datalogger	Geónica	Meteodata-3016C
	Catavento	Ornytion	207P
	Sonda de Presión	Vaisala	PTB110
	Sonda de Temperatura e Humidade	Vaisala	HMP155
	Piranómetro	Kipp&Zonen	CMP-3
Alameda (concello de Ourense)	Anemómetro	Ornytion	107H4M
	Pluviómetro de Cazoliñas	Thies	5.4032.35.007
	Analizador SO ₂	Sirsa	S-5001
	Analizador CO	Sirsa	S-5006
	Analizador NO _x	Sirsa	S-5012
	Analizador O ₃	Sirsa	S-5014
	Analizador PM10-2.5-1	Grimm	180
	Analizador BTX	Sri	8610C
	Analizador Hidrocarburos	Pcf	527

Táboa 3. Equipamento das estacións de calidade do aire.

2.4.3 Acontecementos salientábeis

O acontecemento recente máis salientábel foi que en outubro de 2017 tiveron lugar unha vaga de incendios nos arredores da cidade de Ourense. Consecuentemente, producíronse unha serie de emisións á atmosfera que afectaron á calidade do aire, entre ditas emisión atópanse os COVs e NO_x. Como se explicou con anterioridade, estes contaminantes interveñen na formación de ozono troposférico, polo tanto ao aumentar a súa concentración debido ós incendios tamén aumentou a concentración de ozono. Así pois, o día 16 de outubro, os valores rexistrados tanto na estación da Xunta como na do Concello superaron o nivel limiar de ozono. Cómpre recordar que o ozono afecta de forma prexudicial a nosa saúde e á dos demais seres vivos, de feito teñen lugar múltiples falecementos a causa deste gas [16].

2.4.4 Informes previos de calidade do aire da cidade

A concesionaria da estación de calidade do aire do Concello de Ourense está obrigada a entregar informes de calidade do aire periodicamente. Estes informes foron solicitados ao Concello de Ourense, quen nos facilitou acceso ós mesmos. Así mesmo, MeteoGalicia ten dispoñibles na súa páxina en Internet os seus informes de calidade do aire, de xeito que poden ser consultados libremente. Os datos que se amosan a continuación nas Táboas 4 e 5, son un resumo da información referida ao ozono que aparecen nos informes aos que nos referimos con anterioridade [17,18,19].

Informe 2016	Concello de Ourense	MeteoGalicia
Valor obxectivo (120 µg/m³):	Superado 12 días	Superado 8 veces
Limiar de información (180 µg/m³):	Superado durante 1h	Non superado
Limiar de alerta (240 µg/m³):	Non superado	Non superado

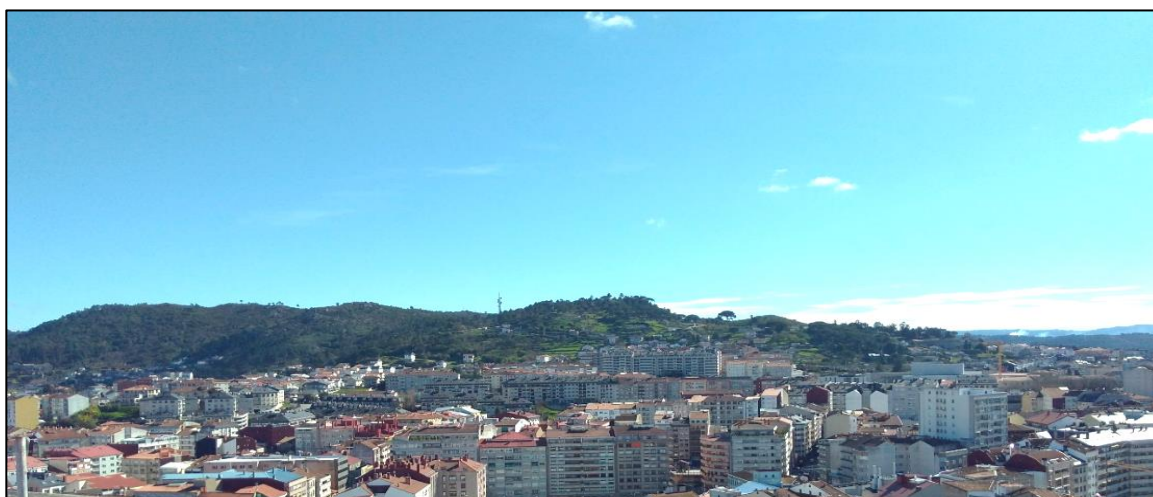
Táboa 4. Informes de calidade do aire 2016.

Informe 2017	MeteoGalicia
Valor obxectivo (120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$):	superado 4 veces
Limiar de información (180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$):	Non superado
Limiar de alerta (240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$):	Non superado

Táboa 5. Informe de calidade do aire 2017.

3. Procedemento

Coa finalidade de determinar as diferenzas dos niveis de ozono na cidade a distintas altitudes, decidiuse realizar a instalación de tres ozonómetros en tres puntos diferentes, de xeito que ditos puntos nos permitisen obter un perfil vertical que ademais resultase representativo das diferenzas de condicións entre a parte máis céntrica da cidade e unha zona contaminada dun xeito menos directo con precursores de ozono. Un dos ozonómetros situouse no Parque Botánico de Montealegre, xa que é unha localización que está en liña co centro da cidade, pero a unha maior altitude. Co obxectivo de realizar unha comparación a nivel de dito punto, elixiuse o edificio A Torre xa que é máis alto da cidade, e está en liña con Montealegre. Na Imaxe 4, tomada dende a azotea de dito edificio, podemos ver que o Parque Botánico de Montealegre se atopa en fronte do edificio A Torre. Finalmente situouse o outro ozonómetro no edificio da Subdelegación do Goberno, pois é un punto que se atopa a nivel da rúa e preto do edificio A Torre, para así poder establecer un perfil vertical de ditos puntos. Na imaxe 5 móstrase o lateral do edificio da Subdelegación do Goberno no que foi instalado o ozonómetro, podendo observar que o edificio A Torre se encontra a unha escasa distancia.



Imaxe 4. Vistas dende a azotea do edificio A Torre.



Imaxe 5. Vistas dende o lateral da Subdelegación.

A continuación, descríbese o proceso de instalación dos tres ozonómetros citados:

- **ozonómetro do Botánico de Montealegre:** tras pedir permiso á Área de Medio Ambiente do Concello de Ourense, este ozonómetro foi instalado nun invernadoiro do Parque Botánico, como podemos ver na Imaxe 6, o día 28 de febreiro de 2018. Tras estar dous meses activo, este aparello alcanzou demasiada temperatura e perdeuse toda a información que tiña recadada, pois o aparello emprega unha lámpada que funciona a unha determinada temperatura, e ao saír dese rango deixa de medir. Tras este incidente decidiuse cambiar de sitio o ozonómetro, e instalouse nun dos edificios administrativos das inmediacións, pero seguía alcanzando demasiada temperatura. Finalmente retirouse o aparello, pois non atopamos ningún sitio onde mantivera a temperatura adecuada. Así pois, non logramos obter datos deste punto de monitorización.



Imaxe 6. Ozonómetro de Montealegre.

- **Ozonómetro do edificio A Torre (San Martín):** para realizar a instalación deste ozonómetro foi preciso pedir permiso á comunidade de propietarios e posteriormente, foi instalado o día 21 de febreiro de 2018 na azotea do edificio, como podemos ver na Imaxe 7 e na Imaxe 8. Estivo varios días rexistrando datos e tras ir facer unha revisión sobre o estado do aparello atopámonos con que estaba desconectado da rede eléctrica. Isto debeuse a que o edificio en cuestión está en obras, entón algún dos operarios desconectou o ozonómetro, e polo tanto perdéronse todos os datos que tiña almacenados. Tras volver a poñer o aparello en funcionamento, deixámolo unhas semanas tomando medicións, tras o cal volvemos facer unha revisión. Esta vez resultou que había un erro en canto ao almacenamento dos datos, pois debido a un defecto do software non gardaba datos de horas, polo que non recolleu ningunha información. Para solucionar este inconveniente, cambiouse a configuración do aparello para que almacenara datos cada media hora. Así pois, tras solucionarse dito problema, atopámonos con un novo: unha cheminea da azotea do edificio comezou a expulsar fumes e partículas, e como consecuencia tupiuse o captador de aire do ozonómetro. Coa intención de evitar que o captador se tupira, moveuse o ozonómetro cara unha zona da azotea na que non se vira influenciado polas emisións da cheminea, pero non deu resultado. Finalmente retirouse o ozonómetro sen que lográsemos obter datos válidos deste punto.



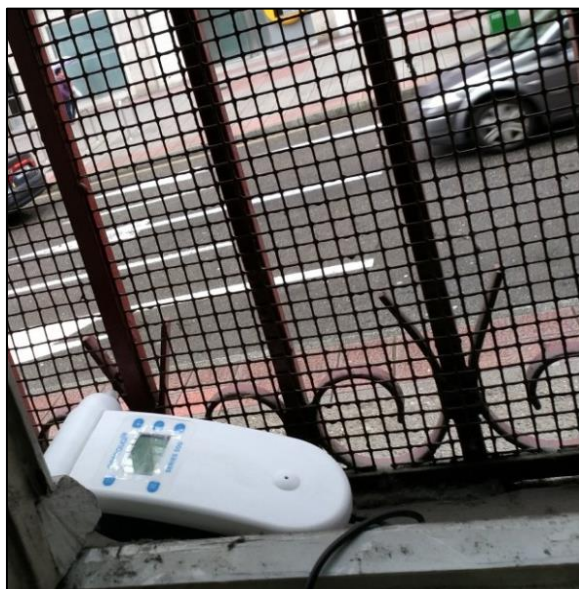
Imaxe 7. Captador de aire edificio A Torre.



Imaxe 8. Ozonómetro do edificio A Torre.

- **Ozonómetro da Subdelegación do Goberno:** para instalar o ozonómetro neste edificio, tívose que enviar unha carta dirixida ao secretario xeral da Subdelegación do Goberno, onde se explicaba a intención de instalar no edificio un ozonómetro por mor deste estudo. Tras recibir o permiso para facer a instalación, o ozonómetro foi instalado o día 6 de abril de 2018. As ventás que hai na parte de diante do edificio teñen un tipo de reixa que non era apropiada e perdíamos altura o non estar a ras do chan. Un dos laterais dá directamente para a saída de ventilación do aparcadoiro subterráneo existente nesa zona e o outro cara a zona de cociña da cafetería «La Central». Así pois, escollemos unha ventá da parte de atrás do edificio con acceso á rúa Papa Juan XXIII,

como se pode ver na Imaxe 9 e Imaxe 10. A serie de datos que obtivemos deste punto de monitorización de ozono abrangue dende o 6 de abril ata o 30 de maio .



Imaxe 9. Ozonómetro instalado na Subdelegación do Goberno.



Imaxe 10. Ventá do edificio da Subdelegación do Goberno.

3.1 Ozonómetros

Os ozonómetros empregados son de dúas marcas diferentes. O modelo instalado en Montealegre é da marca 2B Technologies, modelo 205; este aparello realiza a medicións dos niveis de ozono por medio do método de absorción ultravioleta, que é o método establecido pola lexislación. Os utilizados no edificio A Torre e o edificio da Subdelegación do Goberno son da marca Aeroqual Ltd., o modelo AQ-500. Este modelo emprega un sensor electroquímico [20] e é utilizado por múltiples axencias de distintos estados (NASA, New York City Department of Environmental Protection) e empresas (Samsung, Rio Tinto) .

As características de ambos ozonómetros [21,22] están resumidas na seguinte Táboa 6:

Características	2BTech, 205	AQ-500
Unidades de medida	ppb, pphm, ppm, $\mu\text{g}/\text{m}^3$, mg/m^3	ppm ou mg/m^3
Límite de detección	2 ppb	0,01 ppm
Precisión	> 1,0 ppb ou 2% de lectura	$\pm 0,1 \text{ ppm} + 15\%$
Resolución	0,1 ppb	0,001 ppm
Tempo de resposta	4 s	60 s
Temperatura soportada	0 a 50 °C	0 a 40 °C

Táboa 6. Características dos ozonómetros instalados.

A continuación, na Táboa 7 podemos observar un resume das distintas altitudes ás que se atopaban os ozonómetros descritos anteriormente, así como a marca e modelo de cada un.

Localización	Altitude (m)	Marca	Modelo
Botánico de Montealegre	310	2B Technologies	205
Edificio A Torre, San Martín	206	Aeroqual	AQ-500
Subdelegación do Goberno	132	Aeroqual	AQ-500

Táboa 7. Ozonómetros instalados.

Para facer un resumo máis visual dos ozonómetros que foron instalados e das estacións de calidade do aire da Xunta de Galicia e do Concello de Ourense, na Táboa 8 móstrase a altitude e as coordenadas destas localizacións. Ademais fíxose un perfil vertical con todos os puntos, que se mostra no Gráfico 1, onde se ve claramente que Montealegre é o punto máis alto, seguido polo edificio A Torre, mentres que as localizacións restantes se atopan a altitudes similares. Ademais mediante o programa QGIS [23], elaborouse un mapa das diferentes localizacións dos ozonómetros instalados e as estacións de calidade do aire, que se mostra no Anexo I. Os datos das altitudes foron obtidos mediante Google Earth «(<http://www.earth.google.com>)».

	Altitude (m)	Latitude	Lonxitude
Botánico Montealegre	310	42° 20' 4,01"	7° 50' 55,11"
Edificio A Torre	206	42° 20' 32,19"	7° 51' 50,36"
Subdelegación do Goberno	130	42° 20' 30,53"	7° 51' 53,67"
Estación Xunta de Galicia	125	42° 21' 10,81"	7° 52' 40,42"
Estación Concello de Ourense	123	42° 20' 8,67"	7° 52' 1,91"

Táboa 8. Resumo dos puntos de medición de ozono.

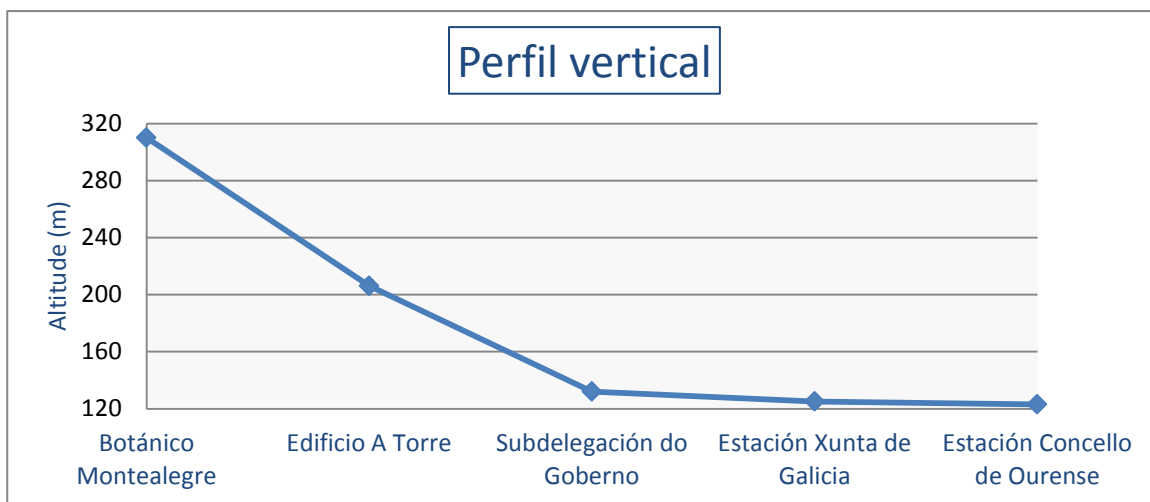


Gráfico 1. Perfil vertical da localización dos ozonómetros.

4. Resultados

4.1 Tratamento de datos

O ozonómetro instalado na Subdelegación do Goberno recollía os datos en ppm, polo que foi necesario transformalos a unidades de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para facelos comparables cas medidas dos outros ozonómetros e cos valores provistos pola lexislación. Para facer esta transformación multiplicouse o valor en ppm polo resultado da división do peso molecular do ozono, que son 48 g/L, entre o volume molar (a 1 atmosfera de presión e 25 °C de temperatura) que son 24,5 L. Este resultado multiplicouse por 1000 L/ m^3 , obtendo as unidades desexadas. Na Figura 3 móstrase un exemplo de como converter 0.002 ppm a $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

$$0,002 \text{ ppm de O}_3 \text{ a } \mu\text{g}/\text{m}^3 \longrightarrow 0,002 \text{ ppm} \times \left[\frac{48 \text{ g/L}}{24,5 \text{ L}} \right] \times 1000 \text{ L}/\text{m}^3 = 3,92 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

Figura 3. Conversión de ppm a $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.2 Medicións e comparativas

En primeiro lugar obtívose unha media para cada hora cos datos do Concello, Subdelegación e de MeteoGalicia. O gráfico 2 amosa claramente que as horas do día con menores niveis de ozono son entre as 6:00 e as 8:00 e os maiores niveis de ozono atópanse entre as 15:00 e 17:00 horas. Cabe destacar que o Concello rexistra valores máis altos que as outras dúas estacións, especialmente a partir das 16:00 horas.

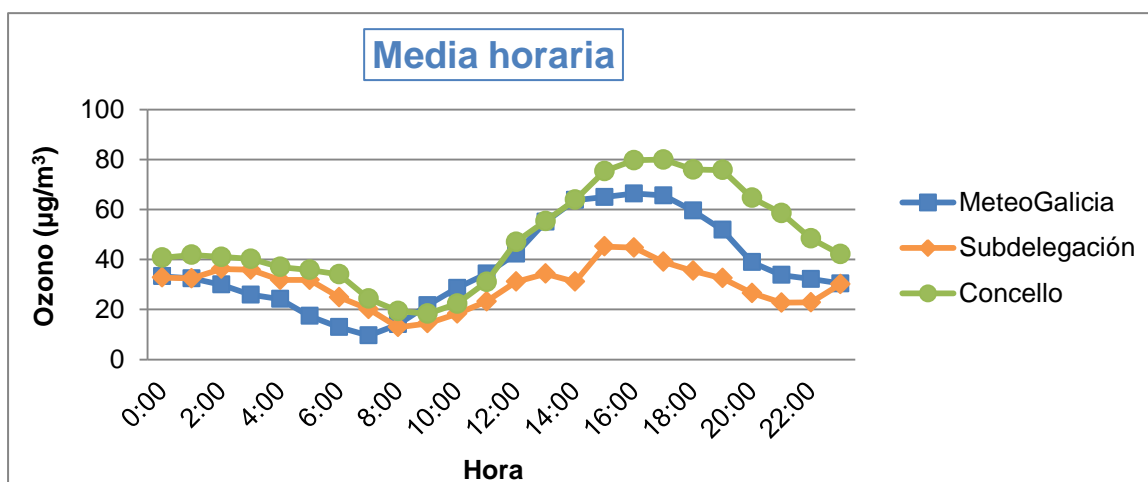


Gráfico 2. Media horaria calculada para o período 06/04/2018 - 24/04/2018.

MeteoGalicia conta cun modelo de predición para os niveis de ozono. Dito modelo é denominado Chimere, que emprega WRF 3.5 [24] como entrada meteorolóxica e ten unha resolución espacial de 3 km x 3 km [25]. Solicitáronse a MeteoGalicia datos de saída das predicións feitas con Chimere para a cidade de Ourense para o período temporal correspondente ca nosa campaña de medición. Isto foi preciso posto que os datos históricos non están dispoñibles en Internet. Nos gráficos móstrase unha comparación entre os datos obtidos do ozonómetro instalado na Subdelegación do Goberno, os datos medidos polas estacións de calidade do aire de MeteoGalicia e do Concello de Ourense e o modelo de predición Chimere. O intervalo de datos que foi empregado para facer ditos gráficos abrangue dende o 6 de abril ao 25 de maio de 2018; a partir desta información calculouse o valor medio, máximo e mínimo de cada un destes días.

No Gráfico 3 podemos observar a comparación entre os valores medios diarios, onde vemos que a estación do Concello rexistra niveis de ozono máis altos que os da Subdelegación do Goberno e MeteoGalicia. Por outro lado podemos ver que, en xeral, o recorrido das tres series de datos é semellante, aumentando e diminuindo os mesmos días. Facendo unha comparación destes valores cos que predí o modelo Chimere, vemos que os deste último son máis altos.

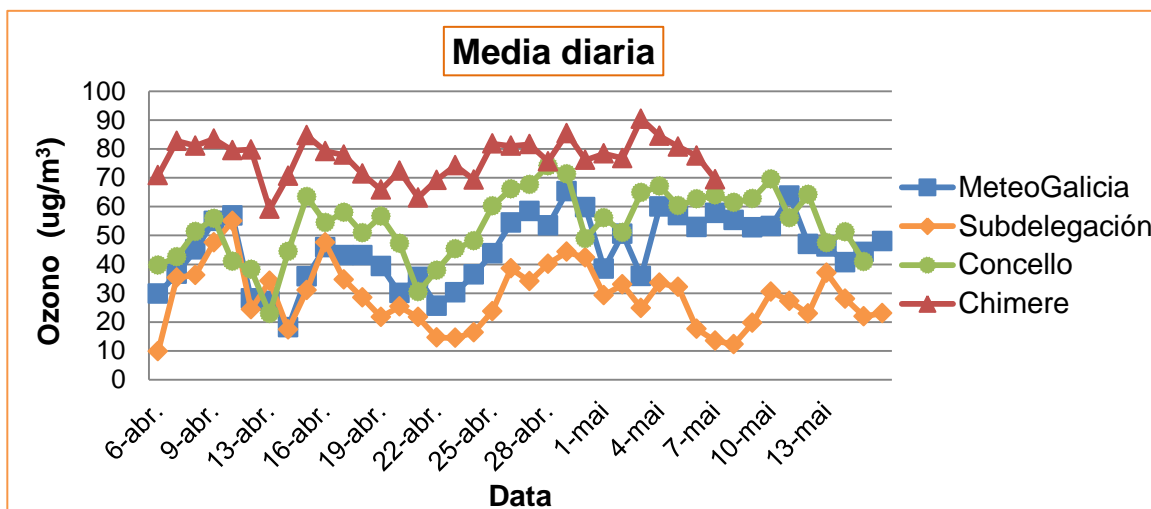


Gráfico 3. Valores medios diarios para o período 06/04/2018 - 15/05/2018.

A comparación dos valores máximos diarios que se mostran no Gráfico 4 permítenos observar que os niveis máis altos se volven a rexistrar na estación do Concello. Os niveis máximos de ozono son similares na primeira parte do gráfico, pero a partir do día 16 de abril difiren, rexistrándose os niveis máximos de ozono máis baixos na Subdelegación do Goberno. De feito, o día 7 de maio, o nivel máximo rexistrado no Concello ($114 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e na Subdelegación ($31,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) difire en $82,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$. O valor máximo que se alcanzou foi o rexistrado pola estación do Concello o 18 de abril, $121 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que está por enriba do valor obxectivo que marca a lexislación ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Cabe destacar que, este mesmo día, a estación de MeteoGalicia rexistrou un valor de $98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e a Subdelegación $50,94 \mu\text{g}/\text{m}^3$, o cal implica unha diferenza de $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ con respecto a MeteoGalicia e de $70,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fronte a da Subdelegación. Neste gráfico os valores preditos polo Chimere son maiores que os da Subdelegación, pero menores que os de MeteoGalicia e os do Concello.

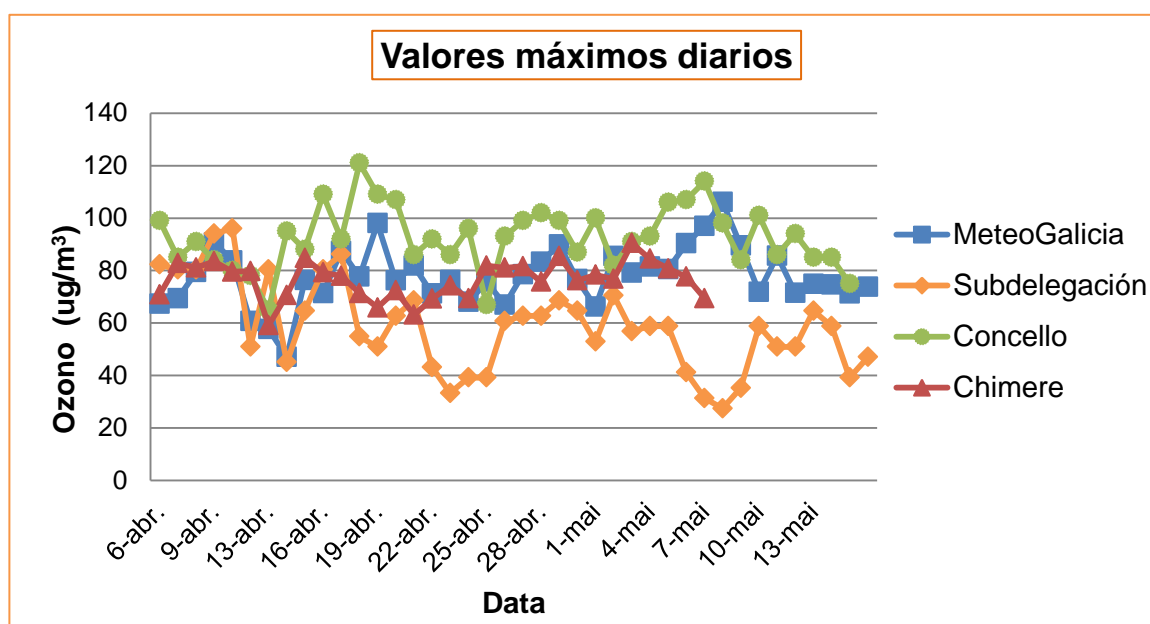


Gráfico 4. Valores máximos diarios para o período 06/04/2018 - 15/05/2018.

Para facer o Gráfico 5, onde se comparan os valores mínimos das tres series de datos (Subdelegación, Concello, MeteoGalicia) e do modelo Chimere, empregouse unha escala logarítmica en base 10 para o eixe coa finalidade de obter unha mellor visión dos datos. Consecuentemente o primeiro que observamos é que os datos do modelo Chimere son moito máis elevados que os valores mínimos das tres series de datos.

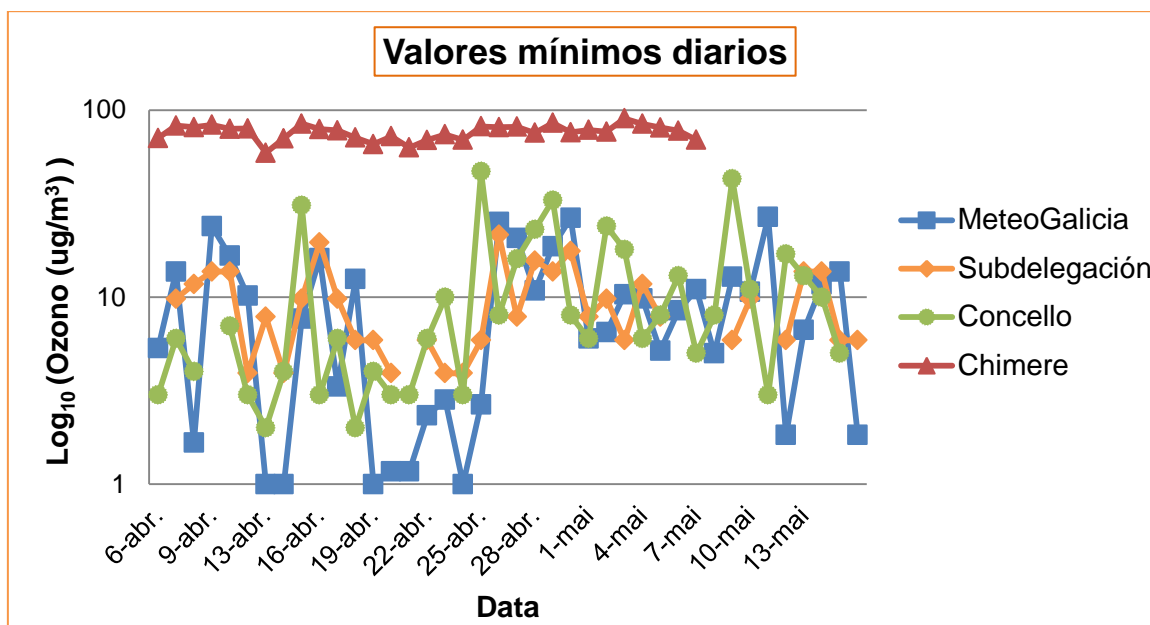


Gráfico 5. Valores mínimos diarios para o período 06/04/2018 - 15/05/2018.

No Gráfico 6 podemos ver os valores diferenciais diarios, é dicir, a diferenza entre os valores máximos e os mínimos. Como podemos observar, a estación do Concello é a que máis variabilidade mostra, estando lixeiramente por enriba da de MeteoGalicia, mentres que o ozonómetro instalado na Subdelegación do goberno rexistra datos dentro dun rango máis estable.

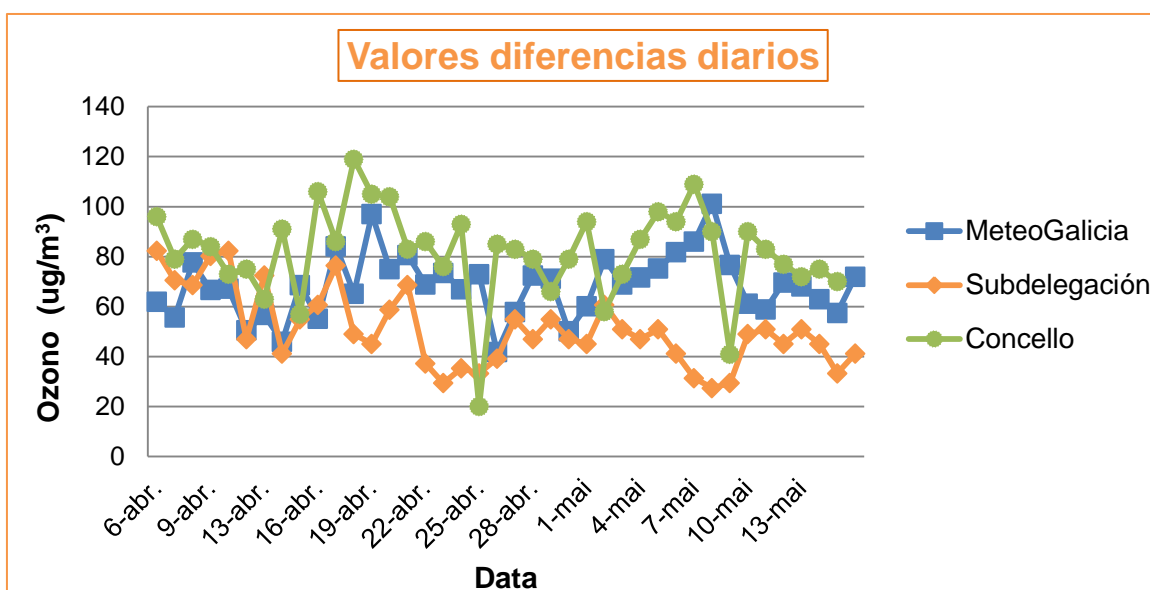


Gráfico 6. Valores diferencias diarios para o período 06/04/2018 - 15/05/2018.

A partir do datos recompilados polas estación de MeteoGalicia e o Concello de Ourense durante o ano 2017, fíxose unha comparación segundo os valores medios, máximos e mínimos de cada mes de dito ano.

De acordo aos datos que nos amosa o Gráfico 7, os meses nos que existe unha maior diferenza entre os valores rexistrados polas dúas estacións son febreiro, sendo o valor medio $11,68 \mu\text{g}/\text{m}^3$ superior na estación de MeteoGalicia, e en e marzo, onde o valor de MeteoGalicia volve ser superior, neste caso $27,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tamén se pode observar que os valores máis altos de ozono se rexistran entre os meses de marzo-setembro, é dicir, en primavera e verán, coincidindo cos meses de maior radiación solar.

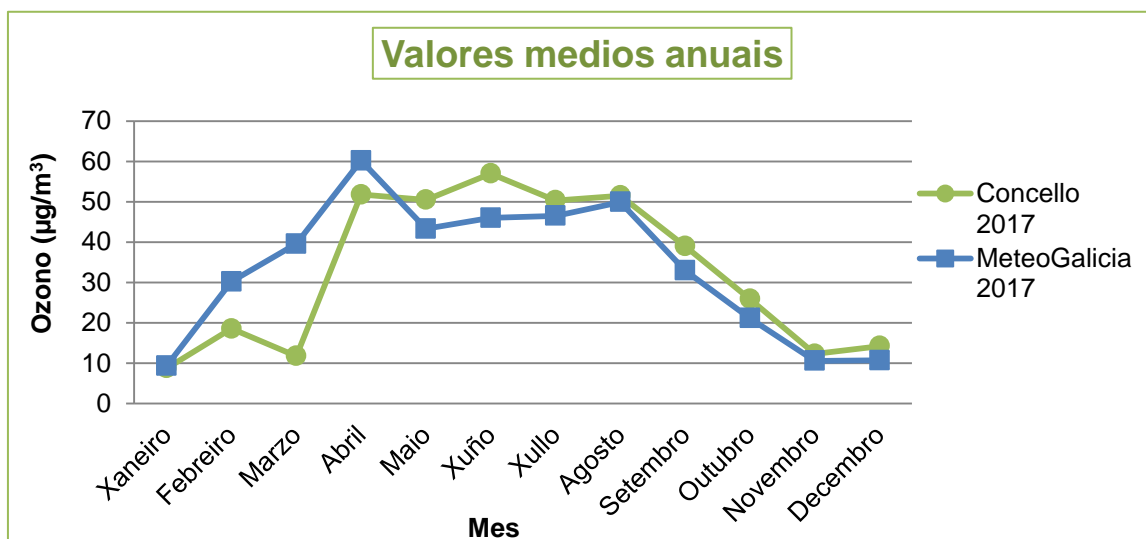


Gráfico 7. Comparación de valores medios anuais do 2017.

O Gráfico 8 presenta a serie de valores máximos anuais de ozono para 2017 nas estacións de MeteoGalicia e Concello. Este gráfico é semellante ao anterior, obténdose os valores máximos de ozono máis altos en primavera e verán. A maior diferenza entre as dúas series de datos volve a ser no mes de marzo, esta vez sendo o dato MeteoGalicia $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ superior que o valor do Concello. Cabe destacar que en ningún momento do ano se superan o limiar de información ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) nin o limiar de alerta ($240 \mu\text{g}/\text{m}^3$), pero si que se rexistran valores superiores ao valor obxectivo. A estación de MeteoGalicia os valor obxectivo en abril ($142 \mu\text{g}/\text{m}^3$), xuño ($147 \mu\text{g}/\text{m}^3$), xullo ($129 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e agosto ($156 \mu\text{g}/\text{m}^3$), un total de catro ocasión, como se indica no informe do 2017 que se mencionou en apartados anteriores. En canto aos datos rexistrados pola estación do Concello, o valor obxectivo superouse en cinco ocasións, e en xeral, con niveis máis altos que os de MeteoGalicia: abril ($142 \mu\text{g}/\text{m}^3$), maio ($141 \mu\text{g}/\text{m}^3$), xuño ($153 \mu\text{g}/\text{m}^3$), xullo ($148 \mu\text{g}/\text{m}^3$) e agosto ($165 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

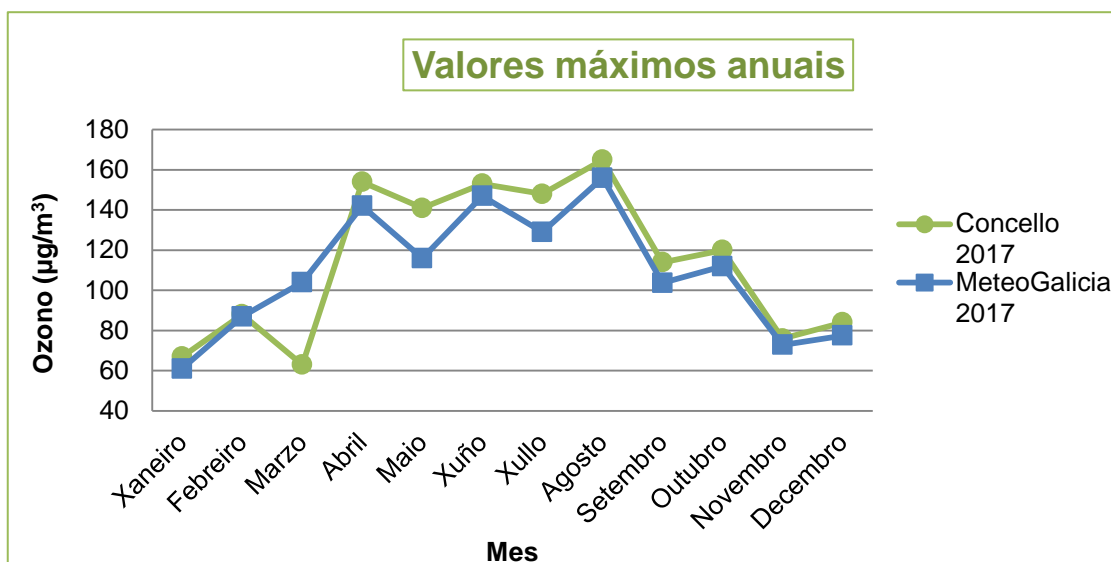


Gráfico 8. Comparación de valores máximos anuais do 2017.

Os valores mínimos que observamos no gráfico 9 son similares. Destacan os valores de marzo e abril, pero os demais datos son relativamente constantes.

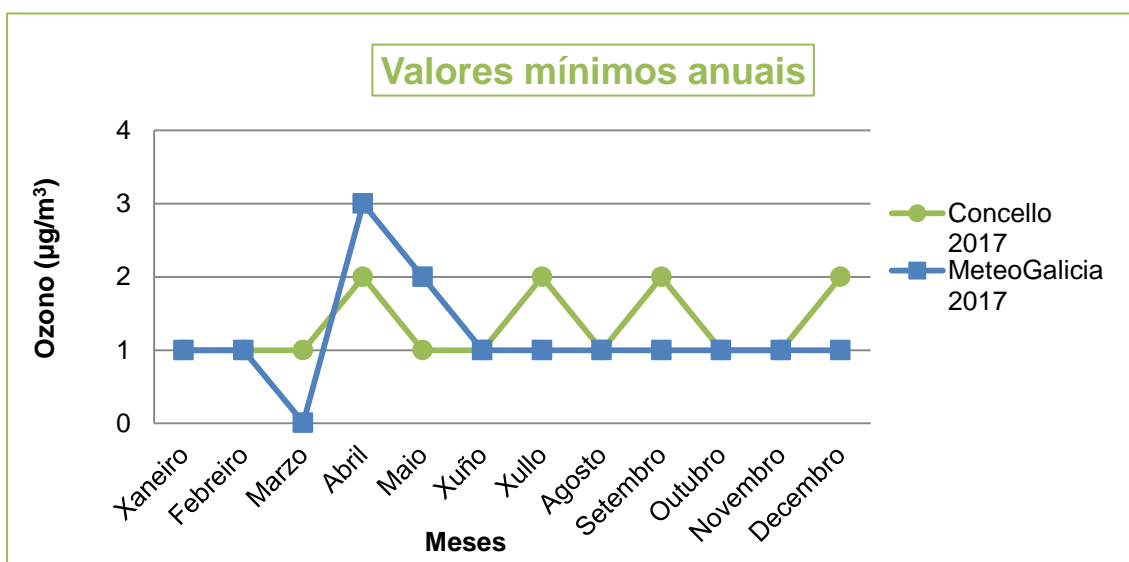


Gráfico 9. Comparación de valores mínimos anuais do 2017.

A comparación que podemos ver no Gráfico 10 sobre os datos diferencias anuais, mostra que a estación do Concello de Ourense é lixeiramente máis variable. De feito concorda cos datos do anterior Gráfico 6, onde vimos que a estación do Concello mostraba unha variabilidade similar á de MeteoGalicia, sendo a Subdelegación a que mostraba claramente unha variación inferior; aínda que se precisarían datos anuais desta última localización para ver a evolución ao longo do ano.

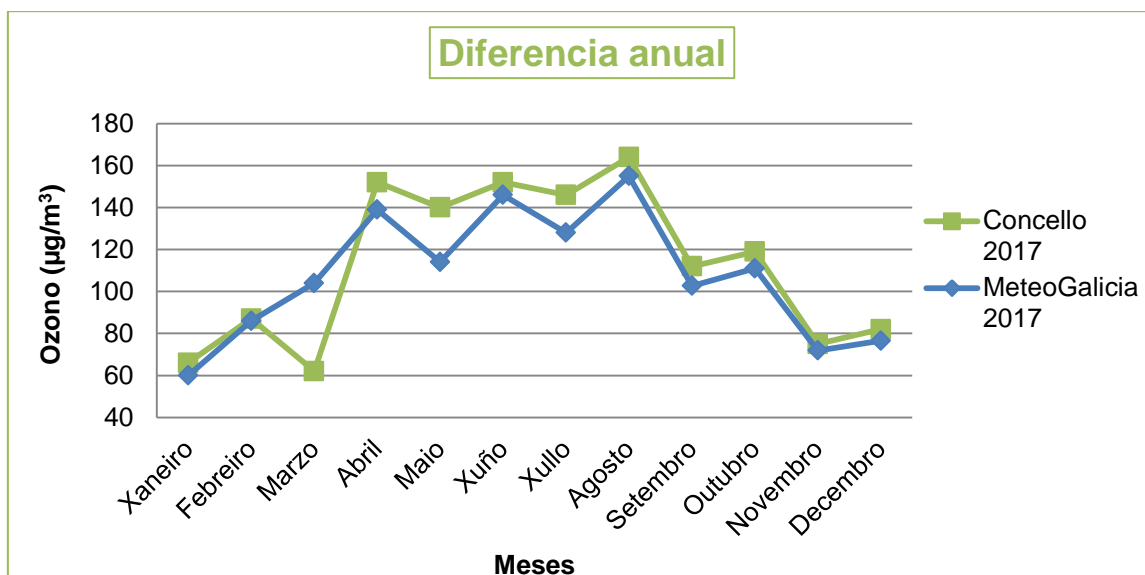


Gráfico 10. Comparación de valores diferenciais anuais do 2017.

Por último analizáronse os datos entre os meses de agosto de 2016 a abril de 2017, e agosto de 2017 a abril de 2018, para a estación do Concello de Ourense. Isto débese a que no mes de xullo de 2017 comezaron as obras do traslado dos postos da praza de abastos provisional. A nova situación de ditos postos na Alameda provocou que unha parte da estación de calidade do aire quedase bloqueada polo lado que dá á rúa, quedando libre a zona que dá ao río Barbaña. O Gráfico 14 compara o período de agosto de 2016 a abril de 2017, antes de ter comezado as obras, con agosto de 2017 a abril de 2018, cando xa están as obras realizadas. Obsérvase certa similitude entre os meses de agosto a decembro, e tras isto comezan a diferenciarse sendo máis altos os valores de xaneiro-abril de 2018.

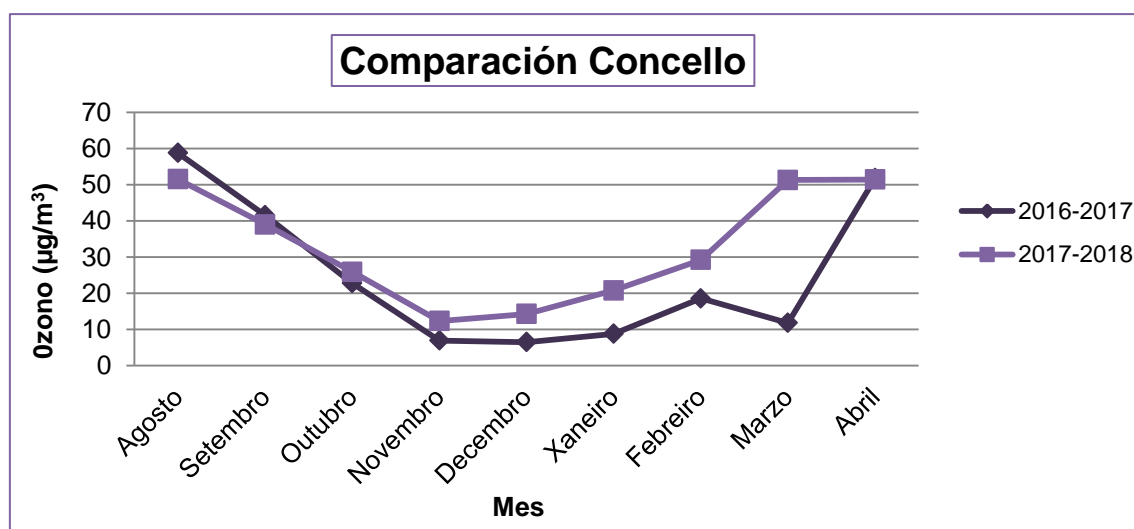


Gráfico 11. Comparación de valores de ozono dende agosto de 2016 a abril de 2017 e de agosto de 2017 a abril de 2018 para a estación da Alameda.

4.3. NO, NO₂, chuva e radiación solar.

A continuación móstranse dous gráficos nos que se atopan as series de datos de MeteoGalicia, Subdelegación do Goberno e Concello de Ourense, e onde ademais se tiveron

en conta os seguintes factores: NO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), NO₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) e a chuva (L/m²). Os datos de ditos factores foron obtidos na web de MeteoGalicia [14], da estación situada na rúa Eulogio Gómez Franqueira.

Fíxose una comparación dun día no que se rexistrou precipitacións, o 8 de abril, fronte a un día seco, o 24 de abril. No Gráfico 12 amósase a evolución de ozono e da precipitación ao longo do día 8 de abril. Observamos que a partir das 16:00 horas, cando comeza a chover, empezan a descender os niveis de ozono, especialmente os da Subdelegación. O máis probable é que sexa debido a que a precipitación causa lavados atmosféricos.

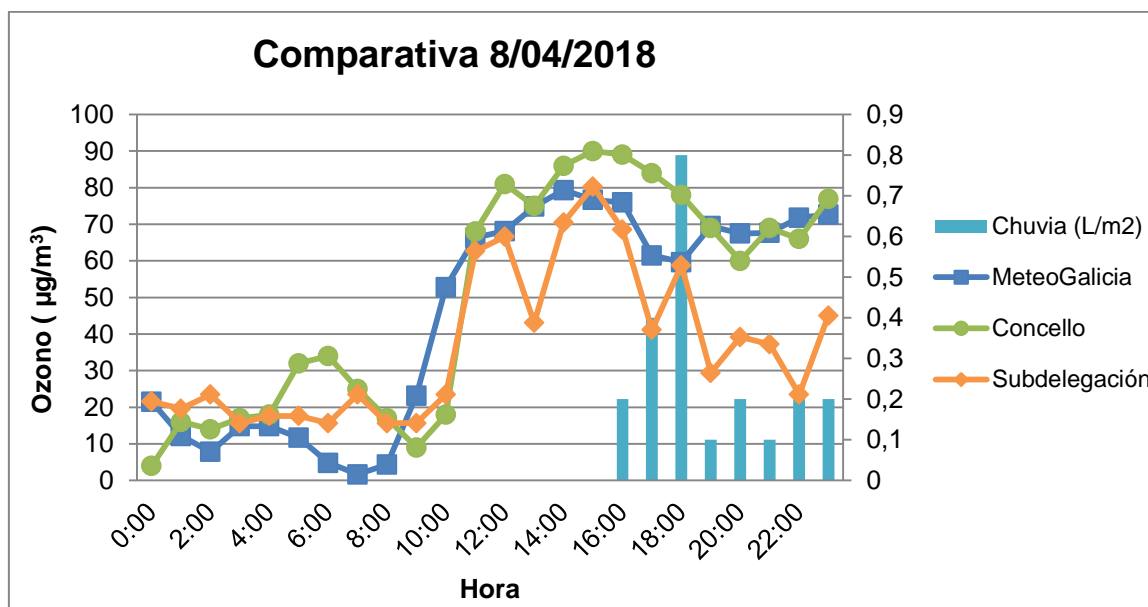


Gráfico 12. Comparación de valores de ozono con chuvia para o día 08/04/2018.

Analizando o Gráfico 13 vemos que hai un forte contraste entre as 10:00 e as 18:00 horas, un tramo de tempo no que os niveis máis altos de ozono coinciden cos máis baixos de NO e NO₂.

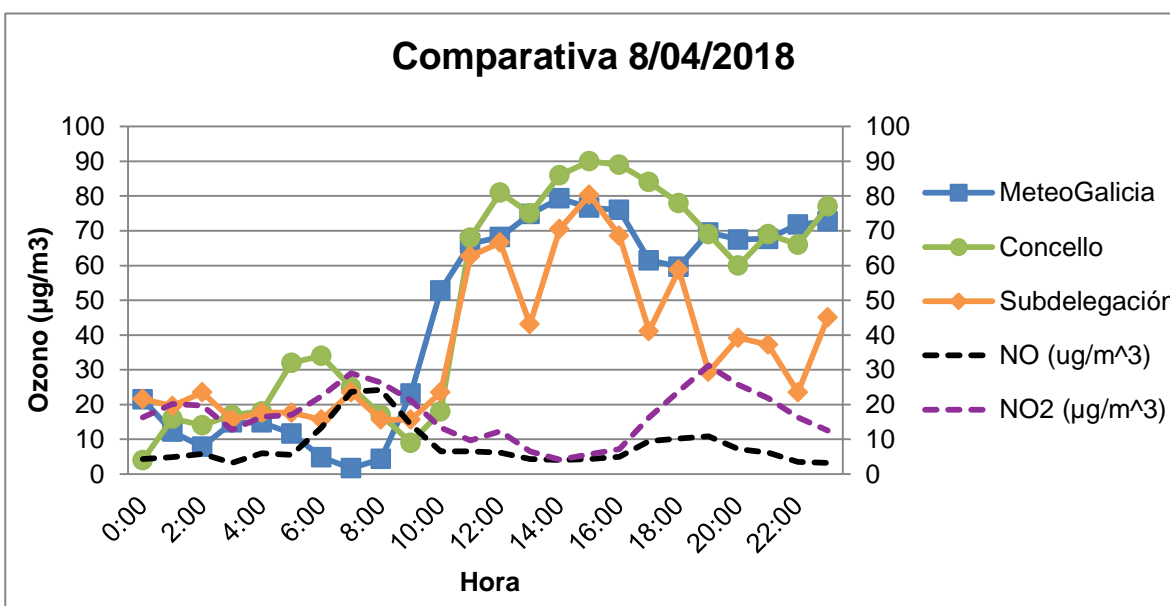


Gráfico 13. Comparación de valores de ozono con NO_x para o día 08/04/2018.

No comezo do Gráfico 14 observamos uns niveis de NO_x superiores aos de ozono, que posteriormente se inverten sendo amplamente máis altos os de ozono. Pode deberse a que parte deses NO_x se transformou ao ter lugar as reaccións fotoquímicas dando lugar a ozono.

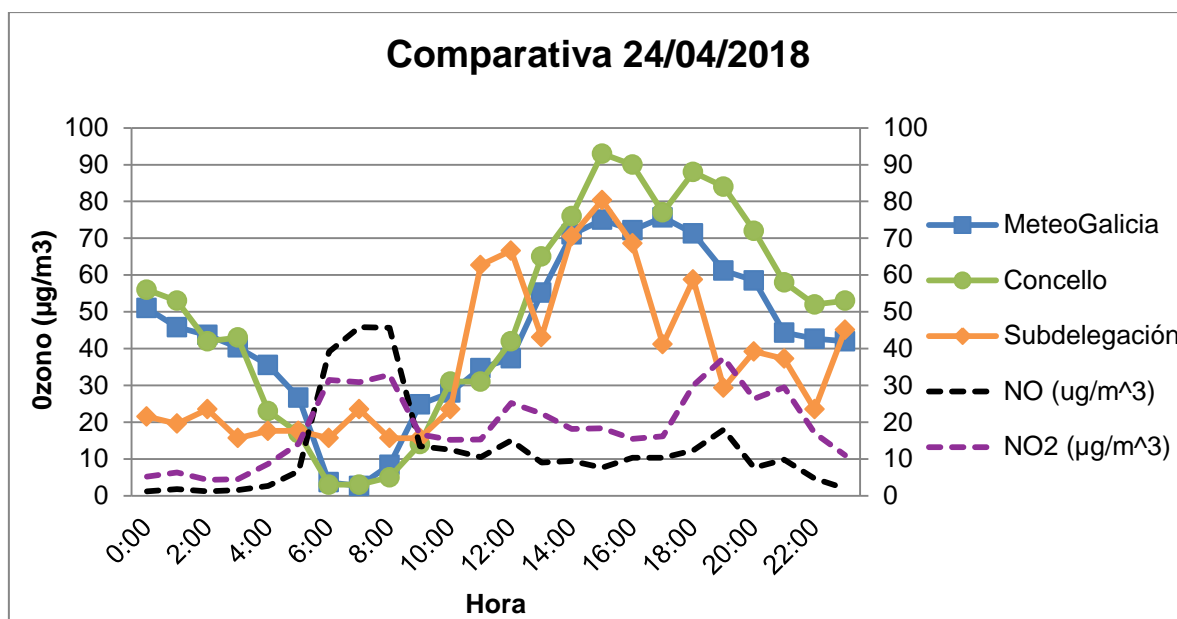


Gráfico 14. Comparación de valores de ozono con NO_x para o día 24/04/2018.

Na Táboa 9 amósanse os coeficientes de correlación entre as tres estacións, os NO_x e a chuva, pero ademais engadiuse a correlación coas horas de sol. Os datos amosan que a maior relación se atopa entre os niveis de ozono medidos polas estacións e os niveis de NO_2 , sendo unha relación inversamente proporcional. En canto á chuva, cada estación mostra unha correlación directa diferente, sendo maior no Concello e menor na Subdelegación. O factor engadido horas de sol mostra moi pouca relación.

	NO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO_2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Chuvia (L/m^2)	Horas de sol (h)
Concello	-0,309296076	-0,402417568	0,450095618	0,20604647
MeteoGalicia	-0,473873844	-0,465255474	0,354762314	0,25156839
Subdelegación	-0,327027528	-0,584263092	0,284458654	0,32097915

Táboa 9. Resumo dos coeficientes de correlación.

5. Conclusións

A partir dos datos dos informes de calidade do aire, xa se obtén unha primeira conclusión: a estación do Concello de Ourense rexistrou niveis máis altos de ozono que a de MeteoGalicia durante o ano 2016. Concretamente superou o valor obxectivo en 12 ocasións, fronte ás 8 de MeteoGalicia.

Coa información obtida a partir do Gráfico 2 podemos dicir que, ao longo do día, os maiores niveis de ozono se rexistran no intervalo das 15:00 ás 17:00 horas. Este é un feito esperado, pois esas son as horas do día de maior insolación e polo tanto a produción fotoquímica é maior. Tamén observamos que a estación que rexistra valores máis altos de ozono é a do Concello.

Ademais, o Gráfico 3 fai unha comparación da media diaria das tres series de datos (Subdelegación do Goberno, MeteoGalicia e Concello) que ratifica o feito de que a estación do Concello ten os valores medios máis altos, seguida por MeteoGalicia e por último a Subdelegación. Concretamente no Gráfico 4, onde podemos ver os niveis máximos de ozono, sabemos que o Concello rexistrou un máximo de $121 \mu\text{g}/\text{m}^3$ fronte aos $50,94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ da Subdelegación, habendo unha diferenza de $70,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En canto aos datos de predición do modelo Chimere, podemos afirmar que non é válido para os valores mínimos nin medios. Parece ser que o modelo infravalora os niveis mínimos, asumindo que son máis altos do que son en realidade. En conclusión, Chimere predí niveis de ozono máis altos que os reais, no Concello chéganse a dar valores de Chimere cerca dun 75% máis baixo dos valores reais observados.

Se nos fixamos no Gráfico 6 vemos que as estación de MeteoGalicia e do Concello mostran máis variabilidade que os da Subdelegación, polo tanto este último ten niveis de ozono máis constantes, con menos diferenza entre os niveis máximos e mínimos.

A partir do Gráfico 7, que compara os valores medios dos meses de 2017 para as estacións de MeteoGalicia e do Concello, observamos que os maiores niveis de ozono se rexistran nas estacións de primavera e verán; estas épocas son as estacións de maior intensidade de luz solar, que ten un papel fundamental nas reaccións de formación de ozono.

Cómpre destacar tamén que no Gráfico 8, dos valores máximos anuais rexistrados, o valor obxectivo superouse cinco veces na estación do concello, unha vez máis que MeteoGalicia, e con niveis máis altos. Así pois, podemos dicir que existen variacións en canto ás medidas recollidas por ambas estacións, sendo a do Concello a que valores máis altos rexistra e a da Subdelegación con menos.

Por outra banda, podemos dicir que existe unha relación inversa entre o nivel de ozono e os niveis de NO_x , como nos di o coeficiente de correlación; ademais este feito pode observarse nos Gráficos 13 e 14, onde vemos que os picos máis altos de ozono coinciden cos mínimos de NO_2 e NO , e viceversa. En canto á correlación entre a chuvia e os niveis de ozono cabía esperar unha relación inversa, pois ao chover prodúcese lavados atmosféricos e debería haber menos concentración de ozono. Pola contra os datos confirman unha relación directa, especialmente no caso do Concello; isto pode deberse a que en realidade a chuvia ten unha relación moi baixa cos niveis de ozono, e por outros factores coincidiu que os niveis do Concello aumentaron paralelamente coa chuvia. Tamén se calculou a correlación do ozono coas horas de sol, posto que a luz é un factor decisivo na formación de dito gas, contrariamente mostran moi pouca relación.

En canto ás obras realizadas na alameda pódese dicir que os resultados non son concluíntes. Isto posiblemente sexa debido á escasa lonxitude da serie de datos posterior á instalación, que fan que as condicións meteorolóxicas dun ano en concreto poidan ser predominantes sobre un valor climatolóxico medio.

Finalmente podemos afirmar que a estación do Concello é a que rexistra niveis máis altos e con máis variabilidade, seguida pola de MeteoGalicia. O aparello da Subdelegación indica niveis máis baixos e constantes. A pesar de non dispoñer dos

datos de Montealegre, facendo as revisións do aparello viamos que os niveis que alí se rexistraban eran bastante menores que os da Subdelegación. Este feito era de esperar, pois ao estar máis alto, non ter edificios que bloqueen as correntes de aire e non haber tantas fontes antrópicas precursoras de ozono achegadas á zona de medición, o ozono alcanza menores concentracións ao poder dispersarse.

En resume, a actual rede de calidade do aire existente no Concello de Ourense con tan so dúas estacións de medición operadas por distintos organismos, non rexistra todas as situacións reais e singularidades que se dan no núcleo urbano e moito menos na contorna periurbana. Ademais ambas estacións non coinciden nas súas medicións, o cal é especialmente problemático dado que pola súa situación asúmese que o seu cometido principal non é levar a cabo unha monitorización da calidade do aire senón detectar posibles alertas por superación de limiares de contaminación marcados pola lexislación vixente. Así mesmo os valores de predición de contaminación obtidos mediante modelos soen infravalorar os valores mínimos e máximos diarios, podéndose dar casos nos cales se superan os limiares de alerta na cidade sen que estes sexan efectivamente previstos polo modelo.

Todo isto permite concluír que sería desexable a ampliación da rede de calidade do aire da cidade de Ourense con algún punto máis de monitorización. Varios puntos serían susceptibles de completar esta rede, como o parque botánico de Montealegre ou outras zonas do concello na zona periurbana. Así mesmo sería recomendable tentar aumentar a fiabilidade das predicións de calidade do aire, sobre todo para que esta sexa capaz de representar dun xeito máis fidedigno os valores máximos.

6. Referencias

- [1] Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Gases precursores de ozono troposférico. http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/emisiones/prob-amb/gases_precursores_ozono.aspx. Data de consulta 29 de maio de 2018.
- [2] Menut, L. et al (2013). *CHIMERE 2013: a model for regional atmospheric composition modelling*. Geoscientific Model Development. 6, 981–1028
- [3] Barry, Roger G.; Chorley, Richard J (1999). *Atmósfera, tiempo y clima*. España. Omega. ISBN: 978-8-428-21182-6
- [4] Fabian, Peter; Dameris, Martin (2014). *Ozone in the atmosphere*. Heidelberg. Springer-Verlag. ISBN: 978-3-642-54098-1
- [5] United States Environmental Protection Agency, Airnow. Ozone. <https://airnow.gov/index.cfm?action=aqibasics.ozone>. Data de consulta 29 de maio de 2018.
- [6] PNUMA (2006). *Manual del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la Capa de Ozono*. Séptima edición. 503 pp. ISBN: 978-92-807-2770-8
- [7] California Air Resources Board (2016). Ambient Air Quality Standards. Technical report. 2 pp.
https://www.arb.ca.gov/research/aaqs/aaqs2.pdf?_ga=2.38277667.1850460068.1525203943-621216101.1525203943. Data de consulta 29 de maio de 2018.
- [8] European Environment Agency. El Medio ambiente en Europa: segunda evaluación. Capítulo 5. Ozono troposférico.
<https://www.eea.europa.eu/es/publications/92-828-3351-8/page005.html>. Data de consulta 29 de maio de 2018.
- [9] Instituto Galego de Estatística. Cifras oficiais da poboación de Galicia a 1 de xaneiro de 2017.
<http://www.ige.eu/igebdt/esqv.jsp?c=0201001002&ruta=verPpalesResultados.jsp?OP=1&B=1&M=&COD=589&R=9913%5ball%5d&C=T%5b1:0%5d;0%5ball%5d&F=&S>. Data de consulta 29 de maio de 2018.
- [10] CLIMATE-DATA.ORG. Clima de Ourense. <https://es.climate-data.org/location/658/>. Data de consulta 29 de maio de 2018.
- [11] Latini, G.; Cocci Grifoni, R.; Passerini, G. (2002). *Influence of meteorological parameters on urban and suburban air pollution*. Southampton (UK). WIT Press. 10 pp. ISBN: 1-85312-916-X
- [12] Xunta de Galicia. Información Xeográfica de Galicia.
<https://mapas.xunta.es/visores/basico/>. Data de consulta 31 de maio de 2018.

[13] A información relativa á lexislación foi obtida a través do portal do Sistema de Información Ambiental de Galicia. <http://siam.xunta.gal/o-ambilex>. Data de consulta 8 de marzo de 2018.

[14] Páxina web de MeteoGalicia:
http://www.meteogalicia.gal/web/index.action?request_locale=gl. Data de consulta 29 de maio de 2018.

[15] Páxina web do concello de Ourense: <http://aire.ourense.es/gl/informacion-2/descrpcion-da-rede-2.html>. Data de consulta 29 de maio de 2018.

[16] Stedman, John R. (2004). *The predicted number of air pollution related deaths in the UK during the August 2003 heatwave*. Atmospheric Environ. 38, 1087-1090.

[17] Concello de Ourense (2017). *Informe de situación del año 2016 de calidade del aire en Ourense*. 36 pp.

[18] Xunta de Galicia (2017). *Informe Resumen Calidade do Aire de Galicia, Período: 01/01/2016 a 31/12/2016*. 46 pp.

Enlace web ao informe:

http://www.meteogalicia.gal/datosred/infoweb/caire/informes/ACOMULADO/GL/0_ACUMULADO_16.pdf. Data de consulta 29 de maio de 2018.

[19] Xunta de Galicia (2018). *Informe Resumen Calidade do Aire de Galicia Período: 01/01/2017 a 31/12/2017*. 49 pp.

Enlace web ao informe:

http://www.meteogalicia.gal/datosred/infoweb/caire/informes/ACOMULADO/GL/0_ACUMULADO_17.pdf. Data de consulta 29 de maio de 2018.

[20] Lin, C. et al (2015). *Evaluation and calibration of Aeroqual series 500 portable gas sensors for accurate measurement of ambient ozone and nitrogen dioxide*. Atmospheric Environ. 100, 111-116.

[21] Páxina web da marca Aeroqual. Portable & Fixed Monitor Sensor Specifications. <https://d2pwrxbx99jwry6.cloudfront.net/wp-content/uploads/Aeroqual-Portable-Fixed-Sensor-Specifications.pdf>. Data de consulta 29 de maio de 2018.

[22] Páxina web da marca 2B technologies. Características do ozonómetro modelo 205. <https://www.twobtech.com/model-205-ozone-monitor.html>. Data de consulta 29 de maio de 2018.

[23] QGIS Development Team (2018). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>

[24] Skamarock, William C. et al (2008). *A description of the Advanced Research WRF version 3*. NCAR Technical note -475+STR.

[25] Gallego Fernández, Nuria (2017). *La Red de Calidad del Aire de Galicia*. 28 pp.

Anexo I. Mapa coa localización dos ozonómetros.

