



Universidad de Valladolid

Facultad de Ciencias

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Física

Análisis de distintos tipos de tiempo

***Autor:** Víctor de la Fuente Treceño*

***Tutor/es:** Isidro Alberto Pérez Bartolomé, María Ángeles García Pérez*

Departamento de Física Aplicada

Índice general

1. Introducción	2
2. Materiales y métodos	4
2.1. Clasificación de los patrones sinópticos	6
2.2. Análisis de datos de concentración de ozono	9
3. Resultados	11
3.1. Estadísticas de los tipos de tiempo	11
3.2. Mapas de distribución de ozono, resultados y comparaciones	23
3.2.1. Efecto de tipos de tiempo concretos en la dispersión del ozono	24
3.2.2. Evolución del ozono a lo largo del año	34
4. Conclusiones	48
Bibliografía	50
Glosario de figuras	50
A. Código	53
B. Mapas de concentración de ozono	55
B.1. Anticiclón	55
B.2. Ciclón+Indeterminado	64

Resumen

Se busca encontrar la correlación entre la distribución de ozono troposférico con la circulación atmosférica (que clasificaremos en patrones sinópticos) durante un periodo de tiempo en una superficie centrada en la península ibérica. Para ello, se han tomado datos disponibles en las páginas web de la NOAA y del CEDA archive y se ha procedido a analizarlos, obteniendo diferentes parámetros estadísticos. Una vez analizados, se han dibujado mapas de isobaras y de distribución. Utilizando toda la información extraída anteriormente se procede a realizar una asignación entre los datos de presión atmosférica con los datos concurrentes de concentración de ozono y después se compararon los grupos de datos, buscando encontrar con ello alguna posible relación.

Palabras clave: sinóptico, ozono, anticiclón, ciclón.

Abstract

We look for a correlation between tropospheric ozone distribution and the atmospheric circulation (which will be classified in synoptic patterns) for a period of time in an area centred in the Iberian Peninsula. In order to find that, data available from the NOAA and CEDA archive websites have been taken and afterwards we proceeded to compute statistical parameters. Once the data were analysed, we drew distribution and isobar maps. Using all the information previously extracted, we paired air pressure data with the corresponding ozone concentration and then the groups of data were compared, looking for a relationship.

Key words: synoptic, ozone, anticyclone, cyclone.

Capítulo 1

Introducción

El estudio de las situaciones sinópticas que afectan a un lugar a lo largo del tiempo posee una gran importancia por los efectos derivados de ellas, como sus consecuencias en el tiempo local o en la dispersión de contaminantes atmosféricos. En este trabajo se buscó encontrar cómo afecta la presencia de distintos tipos de tiempo a la concentración de ozono, un gas que en la troposfera se forma mediante reacciones fotoquímicas a partir de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles, ambos provenientes de la actividad humana, y que a concentraciones suficientemente altas, resulta nocivo para la salud humana y el medio ambiente, además de ser un fuerte oxidante [1].

A la hora de clasificar la circulación atmosférica en patrones sinópticos existen diversos métodos. Por un lado, la clasificación puede hacerse mediante análisis subjetivos, donde se hacen comparaciones con otras situaciones y lo decide el criterio del autor, identificando los patrones de circulación más representativos y comparando los resultados con ellos (como en el catálogo de Lamb o el de Hess-Brezowsky). Estos métodos tienen bastantes inconvenientes ya que su carácter subjetivo sesga los resultados produciendo inhomogeneidades además de que solo suelen ser relevantes para ciertas regiones debido a su dificultad de modificarlos para otras. Por otro lado, tenemos análisis objetivos, también llamados *computer-assisted*, basados en métodos estadísticos donde los tipos sinópticos son definidos y asignados mediante métodos numéricos. Los principales son los métodos basados en PCA (*Principal Component Analysis*), consistentes en la creación de nuevas variables denominadas componentes principales, las cuales explican la mayor parte de la varianza en los datos y que después se utilizan para clasificar los datos originales en diferentes grupos; y los métodos basados en *leader algorithm*, en los que se buscan patrones “típicos” y se clasifican los datos según su similitud utilizando una distancia, el mencionado *leader algorithm*. Los métodos objetivos no tienen los inconvenientes que presentan los subjetivos pero suelen complicarse bastante, lo cual es algo que queremos evitar [2].

En este estudio en concreto se trabajará siguiendo un análisis intermedio, utilizando lo que se denomina un *threshold method* (método de umbral)[2] en el que de forma subjetiva se establecen unos límites para los valores de las distintas magnitudes que luego se evaluarán de forma objetiva a partir de ecuaciones simples, según su valor caiga por encima o debajo de los susodichos límites.

Nuestro análisis se realizó en una amplia zona centrada en la península ibérica. Se extrajeron datos de presión atmosférica de la base de datos en la web [3] (enlace en la bibliografía) a lo largo del periodo 1960-2020 y a partir de ellos se obtuvieron los distintos patrones sinópticos, se realizó un análisis estadístico con ellos para ver cuáles se daban con mayor frecuencia y se dibujaron mapas de isobaras para su uso posterior.

Después, se trabajó con los datos de ozono [4] y se hizo su correspondiente tratamiento estadístico, así como también se dibujaron gráficos con la distribución de su concentración. Por último, se asociaron los patrones de la distribución de ozono con los patrones sinópticos obtenidos anteriormente para encontrar una relación entre ellos y posteriormente se compararon los resultados con los obtenidos en otros trabajos.

Objetivos y estructura del trabajo

El objetivo del trabajo consiste en analizar cómo afectan las diferentes situaciones atmosféricas a la dispersión de ozono troposférico en la península ibérica y a partir de los datos encontrar una posible correlación entre ambas.

El trabajo se ha organizado en 2 partes, el tratamiento de los datos de presión y el tratamiento de los datos de la concentración de ozono.

Para el tratamiento de datos de presión, primero se clasificaron los datos y posteriormente se procedió a realizar el tratamiento estadístico con los datos de la frecuencia de cada tipo obtenidos a partir de la clasificación.

El tratamiento de datos de concentración se abordó de 2 formas distintas: la primera consistente en ver el efecto de tipos concretos en la dispersión del ozono y la segunda consistente en ver cómo evoluciona la dispersión del ozono a lo largo del año al variar la frecuencia con la que se dan los distintos tiempos.

Capítulo 2

Materiales y métodos

Primero, trataremos los datos de la presión atmosférica para el periodo 1960-2020, un rango de tiempo amplio que nos dará datos suficientes para obtener resultados significativos a nivel estadístico. El lugar seleccionado es un área centrada en la península ibérica, cuyas dimensiones comprenden el intervalo 45°N - 35°N en latitud y 15°O - 5°E en longitud. Los datos utilizados se han obtenido de la web de la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*)[3]. De la base de datos hemos utilizado los correspondientes a la presión atmosférica corregida a nivel del mar y tomados en la superficie, de forma específica, los ficheros que contienen una media diaria (*daily*) y una media mensual (*monthly mean*) para el periodo de tiempo escogido (figuras 2.1 y 2.2). De los ficheros que hemos usado, el *daily* tiene una medida de presión para cada punto coordenado con una frecuencia de un día, el *monthly mean* comprende una medida de presión para cada punto con una frecuencia de un mes, siendo estas medidas una media entre todas las medidas realizadas ese día/mes. Los archivos son de tipo NC y para leerlos se ha utilizado el programa Panoply. Ejecutando el archivo se abre una interfaz con varias filas, cada una contiene una variable o un conjunto de datos de los que guarda el fichero. Los datos de presión corresponden a la fila con un array 2D (figura 2.3). Al abrir esa sección, se podrá seleccionar qué variables entre latitud, longitud y tiempo se visualizan como ejes en la red 2D, y cuál se cambia manualmente. Una vez abierta esa sección y habiendo seleccionado las variables de la red, los datos aparecerán numéricamente en una tabla en otra pestaña (figura 2.4).

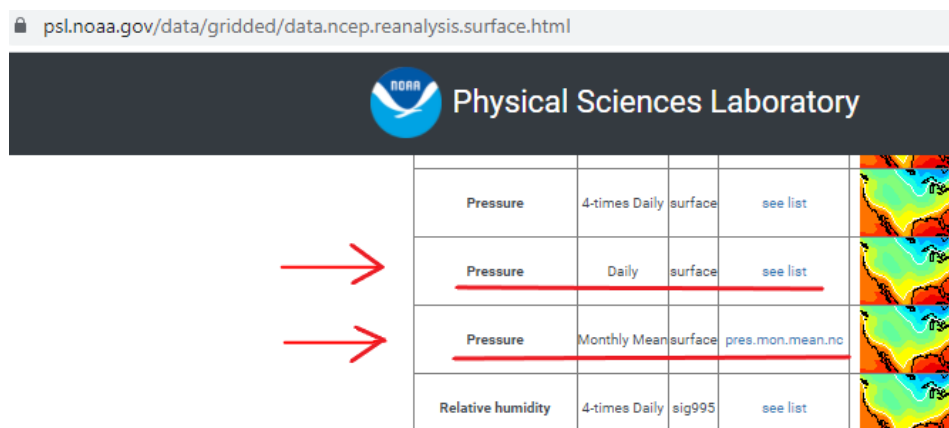


Figura 2.1: Captura de la web de la base de datos, indicando cuáles se han escogido.

Pressure



Create a plot or subset.	Statistic	Start Date	End Date	Level	Link to files
 Make plot or subset	Daily Mean	1948/1/1	2021/7/6	<u>Surface</u>	See list
 Make plot or subset	Daily Mean	1948/1/1	2021/7/6	Tropopause	See list

Figura 2.2: Captura del siguiente paso. Aquí se indica que se han usado los datos tomados a nivel de superficie.






Datasets			
Catalogs			
Bookmarks			
Name	Long Name	Type	
 slp.1962.nc	mean daily NMC reanalysis (1962)	Local File	
 lat	Latitude	1D	
 lon	Longitude	1D	
 <u>slp</u>	<u>mean Daily Sea Level Pressure</u>	Geo2D	
 time	Time	1D	

Figura 2.3: Captura del archivo NC al abrirlo con Panoply. Se ha indicado en rojo cuál es la fila que contiene las medidas de presión atmosférica.

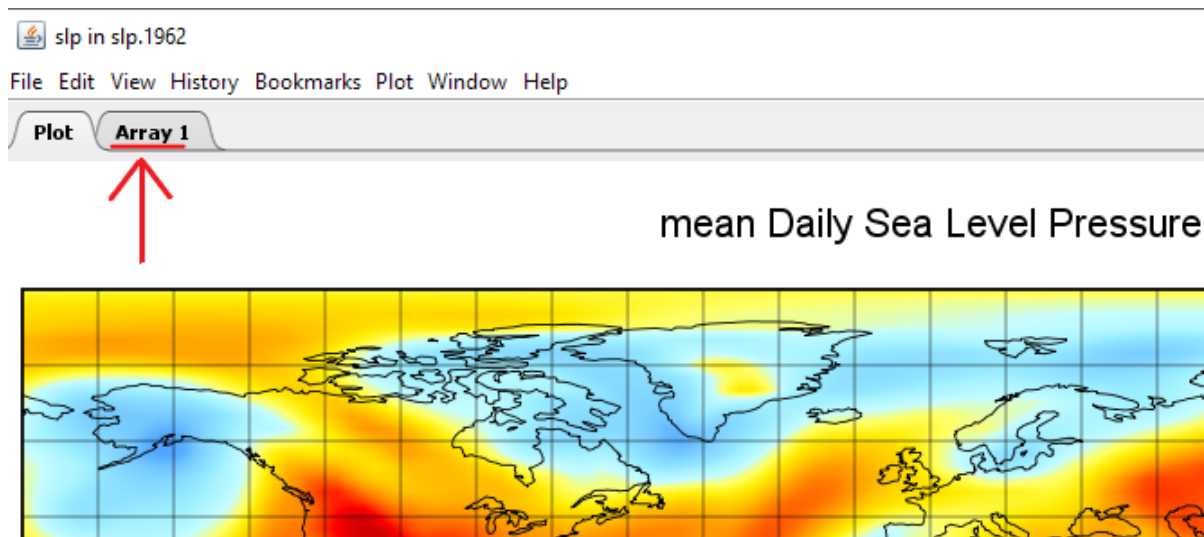


Figura 2.4: Una vez abierta la fila y habiendo seleccionado los ejes, los datos numéricos se encuentran en la pestaña señalada.

2.1. Clasificación de los patrones sinópticos

El primer paso consiste en establecer qué pautas se siguen a la hora de clasificar los datos. En nuestro caso utilizaremos la clasificación de Jenkinson y Collison [2, 5, 6], consistente en una objetivación de la clasificación de Hubert Horace Lamb. Para esta clasificación se usaron como datos la presión atmosférica corregida a nivel del mar y los tipos sinópticos definidos según la dirección y velocidad del viento, y la vorticidad.

Empecemos definiendo los parámetros que usaremos y los tipos sinópticos de la clasificación [5, 6]:

- Parámetros:
 - P: Presión media en un punto.
 - W: Componente zonal del viento. Describe el flujo a lo largo de los paralelos, es decir, dirección este-oeste.
 - S: Componente meridiana del viento. Describe el flujo a lo largo de los meridianos, es decir, dirección norte-sur.
 - D: Dirección del viento.
 - F: Velocidad del viento.
 - ZW: Vorticidad zonal.
 - ZS: Vorticidad meridiana.
 - Z: Vorticidad total. Cuantifica la rotación del aire.
- Tipos sinópticos:
 - Ciclónicos: Se dividen en ciclón y anticiclón.
 - Direccionales: Indican un flujo direccional (norte, sur, este, oeste...)
 - Híbridos: Comprenden una mezcla entre un tipo ciclónico y uno direccional.
 - Indeterminado: tipo asignado a los patrones que no encajan en ninguno de los anteriores. Comprende las distribuciones en las que los gradientes de presión son muy pequeños y por lo tanto no se genera apenas circulación del aire. Para este trabajo se ha definido este tipo en la clasificación, aunque no se hace siempre necesariamente.

La nomenclatura utilizada es la siguiente:

- Los tipos direccionales se nombran con su letra correspondiente en la rosa de los vientos (se utiliza la W para el oeste).
- Los anticiclones se indican con la A y los ciclones con la C.
- Los tipos híbridos se escribe la letra correspondiente al tipo relativo a la vorticidad seguida de la correspondiente al tipo direccional (ciclón-norte → CN).

Los puntos de nuestra red en los que tomaremos los datos medidos corresponde a la intersección entre los paralelos 45°N , 40°N y 35°N con los meridianos 15°O , 5°O y 5°E , dando lugar a 9 puntos. La nomenclatura de los puntos se muestra en la figura 2.5:

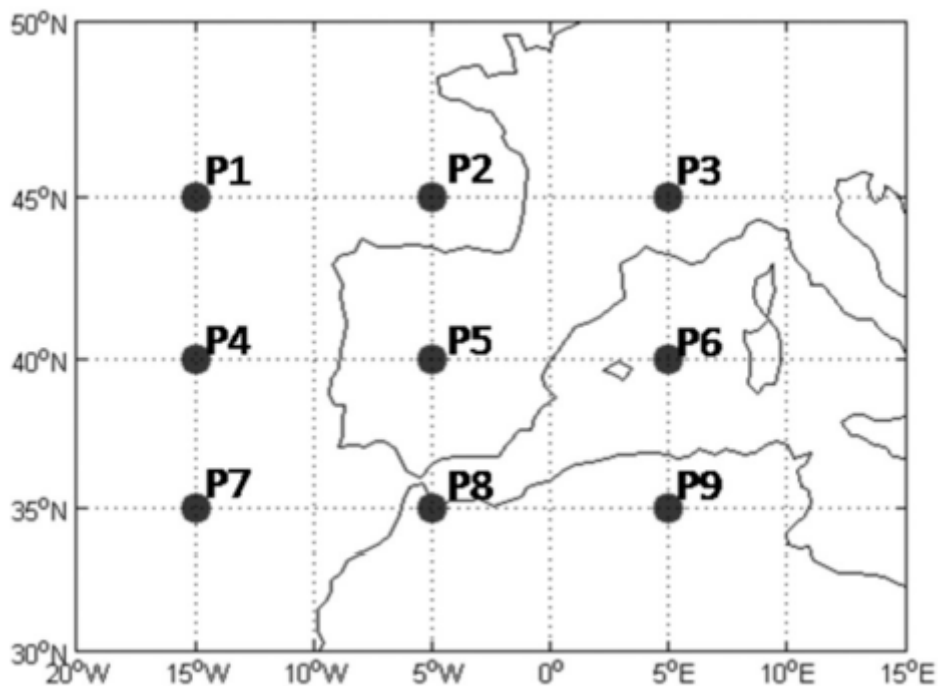


Figura 2.5: Mapa de los puntos tomados. Imagen extraída de [6].

Los parámetros han sido obtenidos con las siguientes ecuaciones [5, 6]:

$$W = 0,25[(P7 + 2P8 + P9) - (P1 + 2P2 + P3)] \quad (2.1)$$

$$S = 0,25 * 0,653[(P3 + 2P6 + P9) - (P1 + 2P4 + P7)] \quad (2.2)$$

$$D = \arctan\left(\frac{W}{S}\right) \quad (2.3)$$

$$F = \sqrt{(W^2 + S^2)} \quad (2.4)$$

$$ZW = 1,056[(P7 + 2P8 + P9) - (P4 + 2P5 + P6)] - 0,951[(P4 + 2P5 + P6) - (P1 + 2P2 + P3)] \quad (2.5)$$

$$ZS = 1,305 * 0,25[(P3 + 2P6 + P9) - 2(P2 + 2P5 + P8) + (P1 + 2P4 + P7)] \quad (2.6)$$

$$Z = ZW + ZS \quad (2.7)$$

Por último, se definen los umbrales. La clasificación en tipos sinópticos se hace según las siguientes reglas:

1. La dirección del viento se asigna según el valor de D.
2. Si $|Z| < F$, se tiene un tipo direccional puro, que asignaremos de acuerdo a la regla 1.
3. Si $|Z| > 2F$, se tiene un tipo ciclónico puro. Para $Z > 0$ se tiene un ciclón y para $Z < 0$ un anticiclón.
4. Si $F < |Z| < 2F$ se tiene un tipo híbrido, que lo asignaremos según la regla 1 y la regla 3.
5. Si $F < 6$ y $|Z| < 6$ se tiene un tipo indeterminado.

Para asignar el valor de D según el ángulo hemos utilizado la aproximación geostrófica, en la que se considera que el viento se mueve paralelo a las isobaras al haber un equilibrio

entre la aceleración debida al gradiente de presión y la aceleración de Coriolis al ser la Tierra un sistema de referencia en rotación [7]. De forma específica, en el hemisferio norte, un gradiente de presión hacia el sur va asociado a un viento del oeste y viceversa, y un gradiente de presión hacia el oeste va asociado a un viento del norte y viceversa.

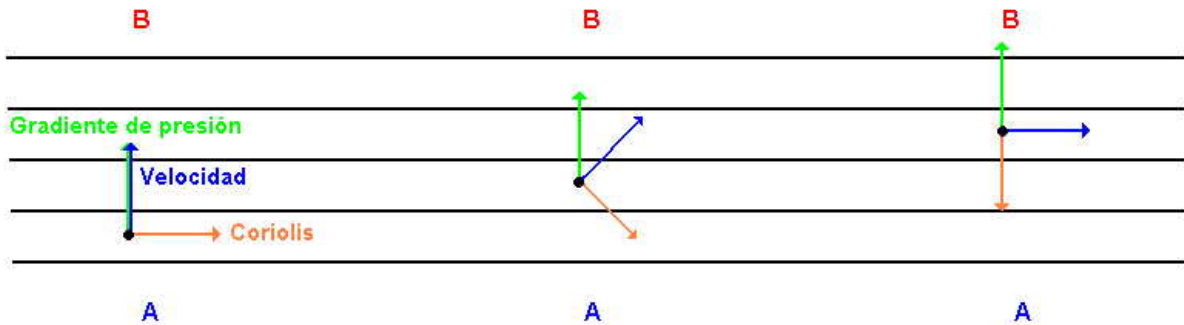


Figura 2.6: Esquema del fundamento de la aproximación geostrofica. Se muestra cómo la aceleración de Coriolis va desviando progresivamente la dirección del viento hasta que este queda paralelo a las isobaras, momento en el que se alcanza una situación de equilibrio. Imagen extraída de [7].

2.2. Análisis de datos de concentración de ozono

Los datos de la concentración de ozono se obtuvieron de la web del archivo CEDA (enlace en [4], a través de la web de la ESSD (*Earth System Science Data*)), un archivo que forma parte del servicio de datos medioambientales del NERC (*Natural Environment Research Council*) (figuras 2.7 y 2.8). Una vez se ha encontrado el catálogo de archivos con datos siguiendo los pasos indicados en la figura 2.7, se descargan los ficheros indicados en la figura 2.8. Los archivos presentan la misma extensión y estructura que los de presión, aunque en este caso hay más filas. La fila escogida es la indicada en la figura 2.9. El resto de pasos a seguir es igual a lo indicado en la introducción del capítulo 2. Sobre los datos en específico, se recogieron los que se sitúan en la zona establecida. En este caso, no se dispone de datos para todos los puntos posibles ni la misma cantidad de puntos para todos los años, lo que nos deja con datos para el periodo 1994-2013 aproximadamente.



Article Assets Peer review Metrics Rel

Gridded global surface ozone metrics for atmospheric chemistry model evaluation

E. D. Sofen et al.

Data sets

Gridded Global Surface Ozone Metrics data (1971-2015) for Atmospheric Chemistry Model Evaluation - version 2.4

Mathew J Evans and Eric D Sofen

<https://doi.org/10.5285/08f6e63d-fa6d-4a7a-b952-5932e3ab0452>

Figura 2.7: Captura de la web a la que se accede a través del enlace en [4]. En rojo está marcado el enlace para acceder a la web con las bases de datos. En azul se marca lo que hay que poner en el buscador de la página una vez se accede al enlace indicado en rojo, excepto la versión, que la utilizada es la 2.7.

CCMI_SurfaceOzoneObs_1x1_Annual_v2.7.nc	439.3 MB		
CCMI_SurfaceOzoneObs_1x1_Monthly_v2.7.nc	4.6 GB		

Figura 2.8: Archivos usados. Contienen medias mensuales y anuales.

latitude	latitude
longitude	longitude
Maximum_Altitude	Maximum site altitude (m)
Mean_Altitude	Mean site altitude (m)
Mean_Gridded_Ozone	Mean of gridded hourly ozone mixing ratios (ppbv)
MeanMDA8_Gridded_Ozone	Mean maximum daily 8-hour average (MDA8) of gridded hourly ozone mixing rat...
Median_Gridded_Ozone	Median (50th Percentile) of gridded hourly ozone mixing ratios (ppbv)

Figura 2.9: Captura de uno de los archivos al abrirlo. Los datos utilizados se encuentran en la fila marcada (no se muestran todas las filas en la imagen). El resto de pasos a seguir es lo mismo que lo indicado en la figura 2.4.

Al igual que se hizo anteriormente, se procede a realizar un análisis estadístico sobre los datos para extraer información de ellos. Nos interesa principalmente obtener la distribución del ozono para intervalos de tiempo marcados por una presencia mayoritaria de un patrón sinóptico concreto. Una vez se tienen las distribuciones para esos periodos, se puede observar cómo cada patrón afecta a la distribución de ozono en la península comparando las diferencias. También, es interesante conocer cuál es la distribución media de ozono en la península a lo largo del año, ya que al conocer cómo varía la frecuencia de los tipos sinópticos en cada mes, nos permite observar cómo afecta el clima en la dispersión del ozono a lo largo del año.

Capítulo 3

Resultados

3.1. Estadísticas de los tipos de tiempo

Una vez analizados todos los datos y obtenidos los patrones para cada fecha en el periodo de tiempo indicado, se ha procedido a realizar un análisis estadístico. Con ello, se busca ver con qué frecuencia se da cada tipo sinóptico y además, asignarlo a periodos concretos de tiempo (meses en nuestro caso), lo que nos permitirá posteriormente relacionarlo con la distribución de ozono. Utilizando los datos, también se han dibujado mapas de isobaras con el programa MATLAB (código en el anexo apéndice A). Dependiendo de los patrones, los mapas tenderán a mostrar una distribución de líneas específica como se muestra en la figura 3.1.

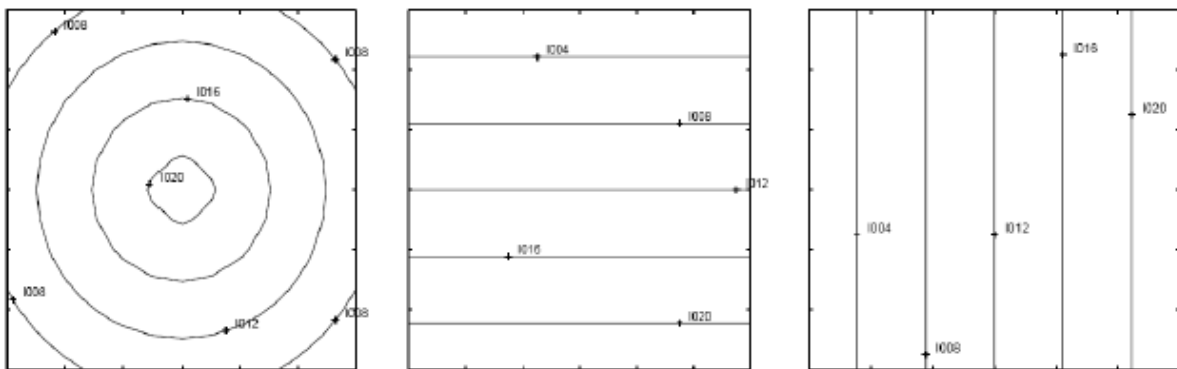
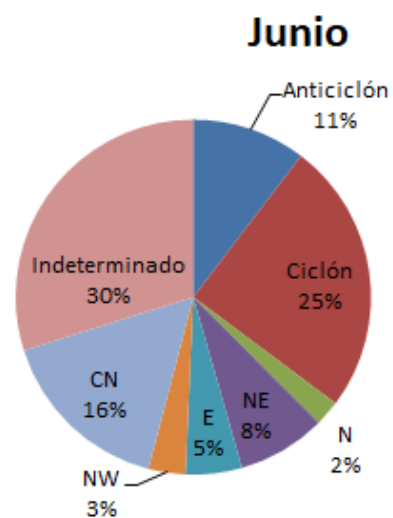
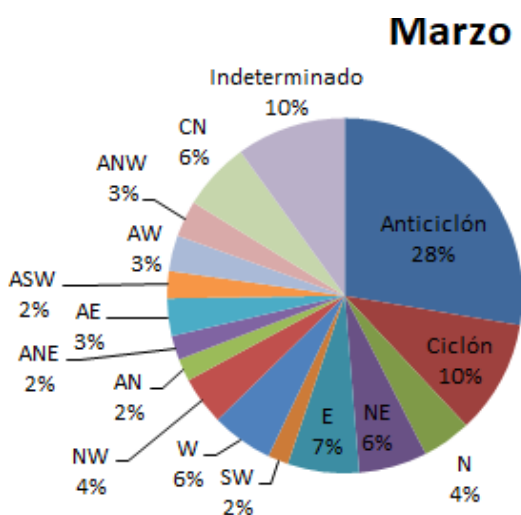
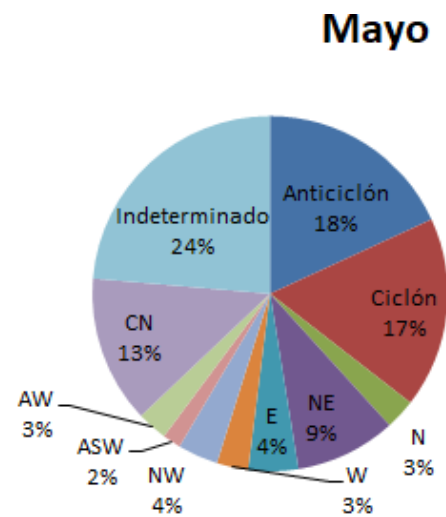
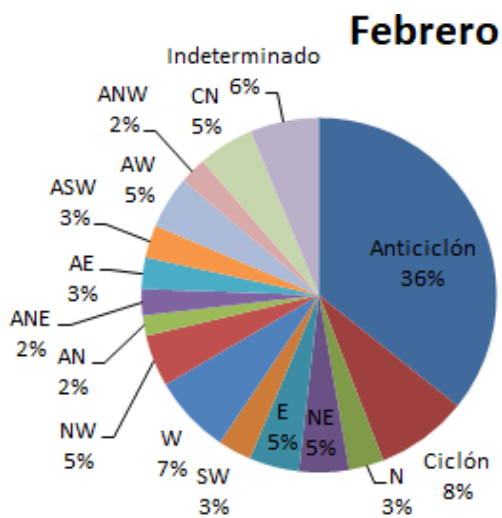
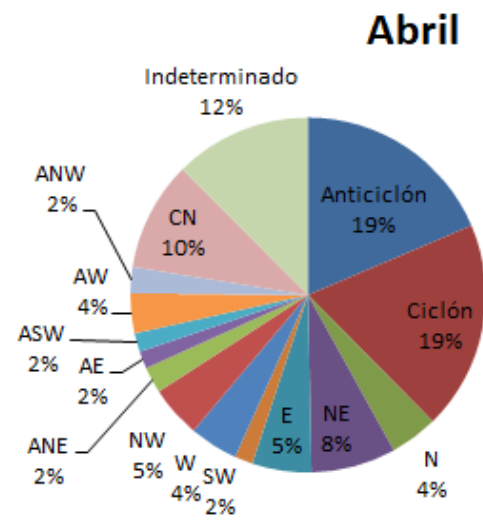
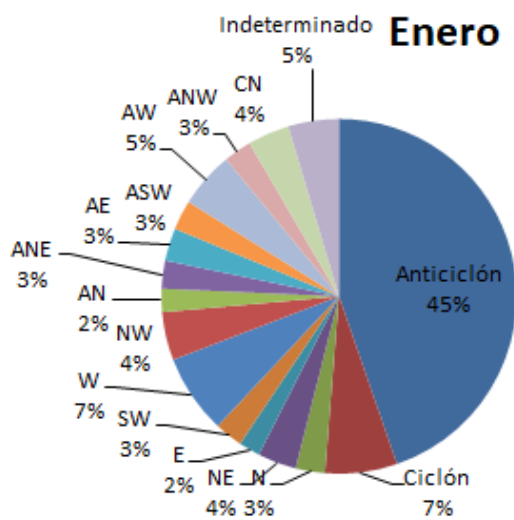


Figura 3.1: Esquema de un mapa isobárico para los tipos sinópticos en un caso ideal. De izquierda a derecha son anticiclón, viento del oeste y viento del sur (aproximación geostrófica). Los ciclones comparten el mismo esquema que los anticiclones, con la diferencia de que la presión disminuye de fuera hacia dentro. Los demás tipos direccionales siguen el mismo esquema de isobaras paralelas, lo que los diferencia entre sí es la inclinación de las líneas. El tipo indeterminado correspondería a un mapa sin líneas o con líneas muy espaciadas entre sí. Imagen obtenida de [2] (página 30).

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos. En la figura 3.2 se presenta la frecuencia total con la que se ha dado cada tiempo durante cada mes para el periodo escogido y junto a ella se muestran gráficos (figura 3.3) que dan de forma más visual la frecuencia (en proporción) con la que se da cada tiempo en cada mes. Para poder apreciar mejor los gráficos, los tipos que contribuyen a menos del 2% de los casos no se han incluido. También se añaden mapas isobáricos con la presión media para cada mes (figuras 3.4), los cuales nos dan una idea de cómo tiende a moverse el aire a lo largo del mes y nos permite apreciar la evolución de este movimiento a lo largo del año. Partiendo de lo visto en la figura 3.1 se puede observar que los mapas se ajustan dentro de cierto margen a lo indicado en la figura 3.1 y los gráficos. Por último, se han añadido un par de gráficos (figura 3.5) que muestran la evolución de la frecuencia de los tiempos a lo largo del año.

Suma	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Anticiclón	824	598	502	328	316	176	107	153	345	565	701	842
Ciclón	121	140	188	335	303	422	563	525	296	169	152	114
N	49	53	81	77	48	39	39	27	36	40	63	60
NE	65	76	113	136	160	137	180	141	77	95	81	69
E	36	76	118	95	79	87	79	56	92	89	48	41
SE	13	9	26	15	6	2	0	0	4	10	22	20
S	6	10	15	9	7	0	0	0	1	16	14	11
SW	47	51	34	29	27	7	1	2	15	53	44	54
W	133	120	102	78	50	22	6	9	43	90	98	93
NW	81	79	80	83	64	57	18	14	36	53	91	97
AN	39	31	37	15	19	11	12	7	10	20	23	34
ANE	47	40	40	42	27	21	22	32	19	30	37	36
AE	55	48	62	28	19	14	9	14	26	45	47	57
ASE	16	19	26	19	7	2	0	0	8	19	20	20
AS	13	13	9	9	12	2	1	0	11	27	24	12
ASW	50	50	45	30	29	5	2	3	38	64	31	41
AW	94	80	59	64	48	20	8	21	39	75	68	85
ANW	47	41	60	42	24	26	18	18	26	38	56	50
CN	70	85	113	176	234	273	300	288	156	92	93	82
CNE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CSE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CSW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CNW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indeterminado	85	105	181	220	412	507	526	581	552	301	117	73

Figura 3.2: Tabla con las frecuencias de cada tiempo. Para facilitar la visualización se ha coloreado la tabla según los valores, indicándose los valores bajos con color rojo y los valores altos con color verde.



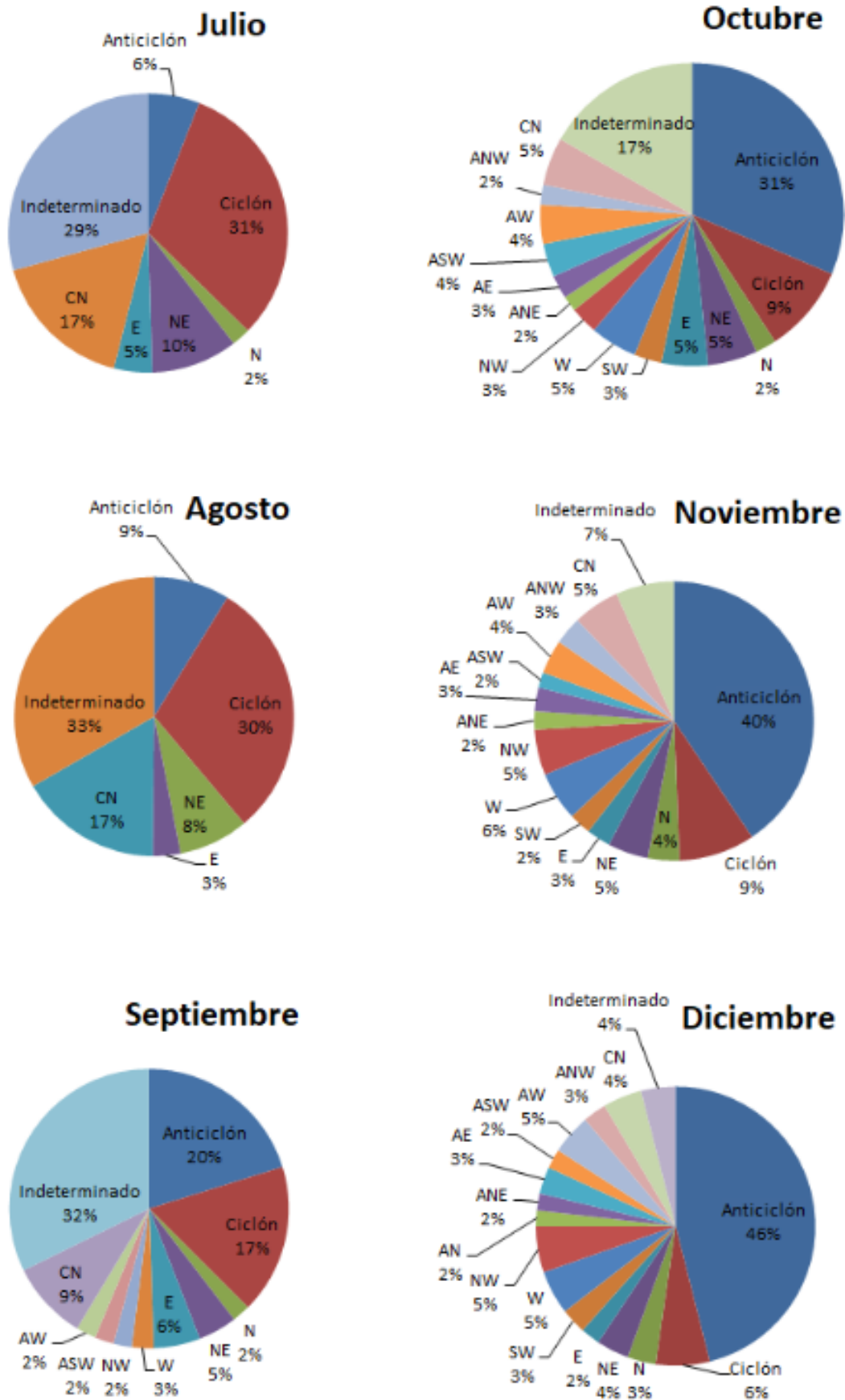
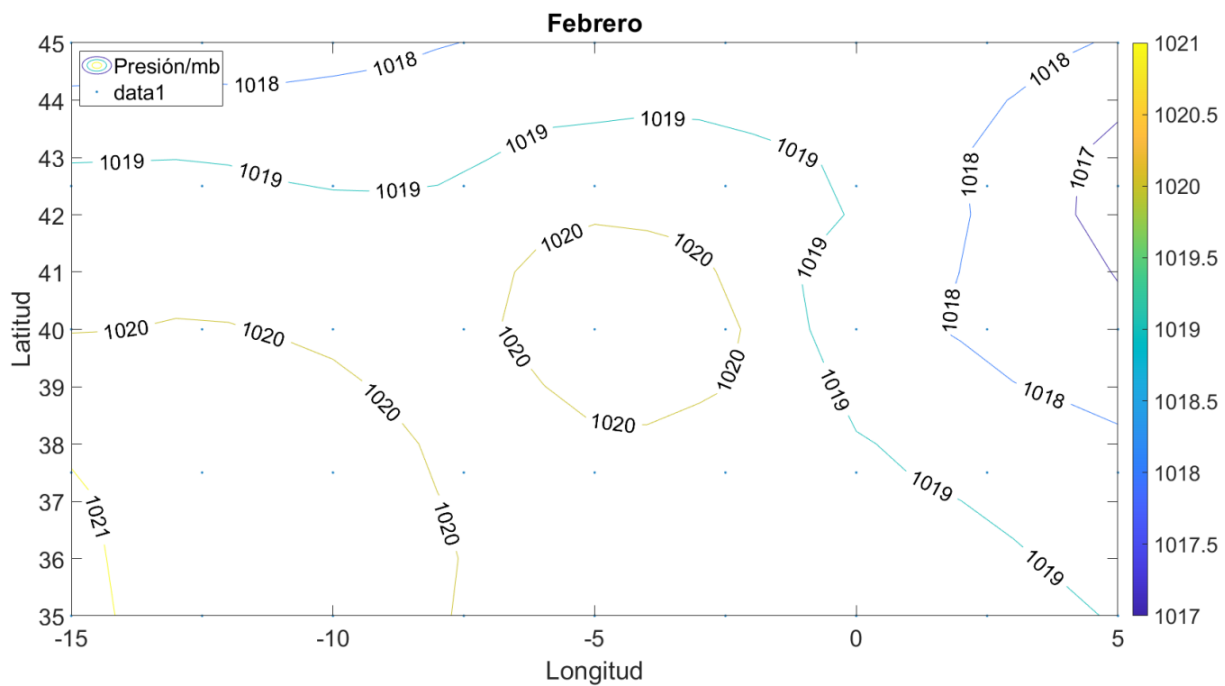
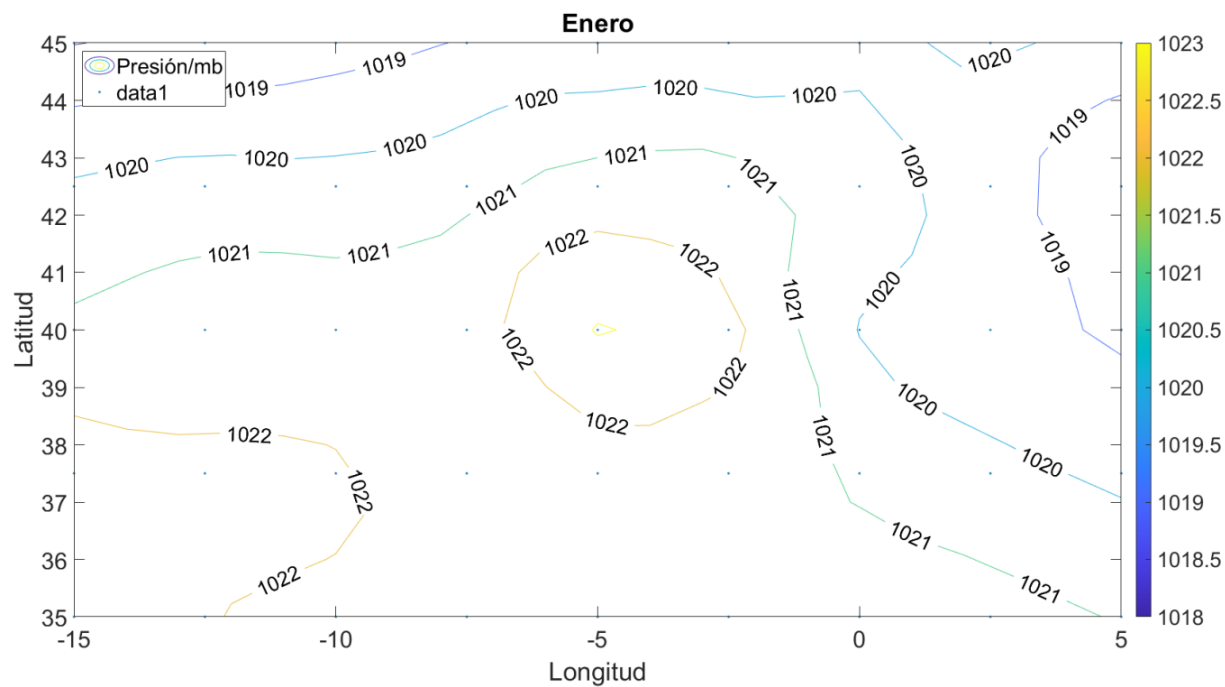
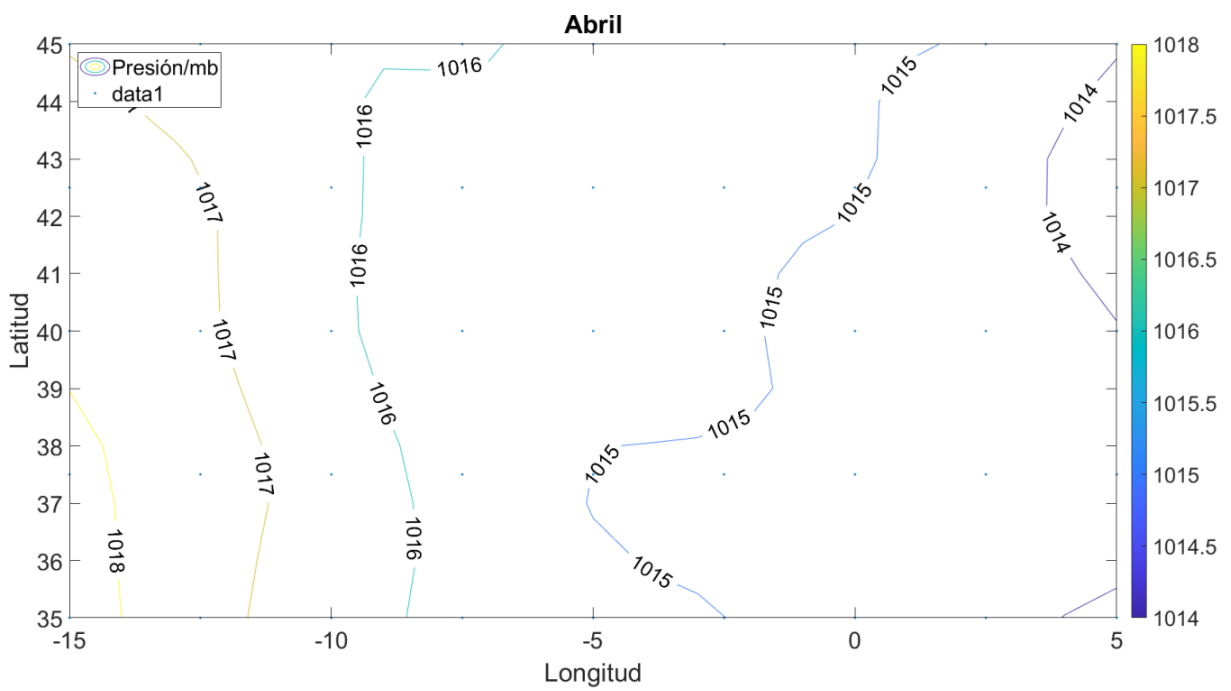
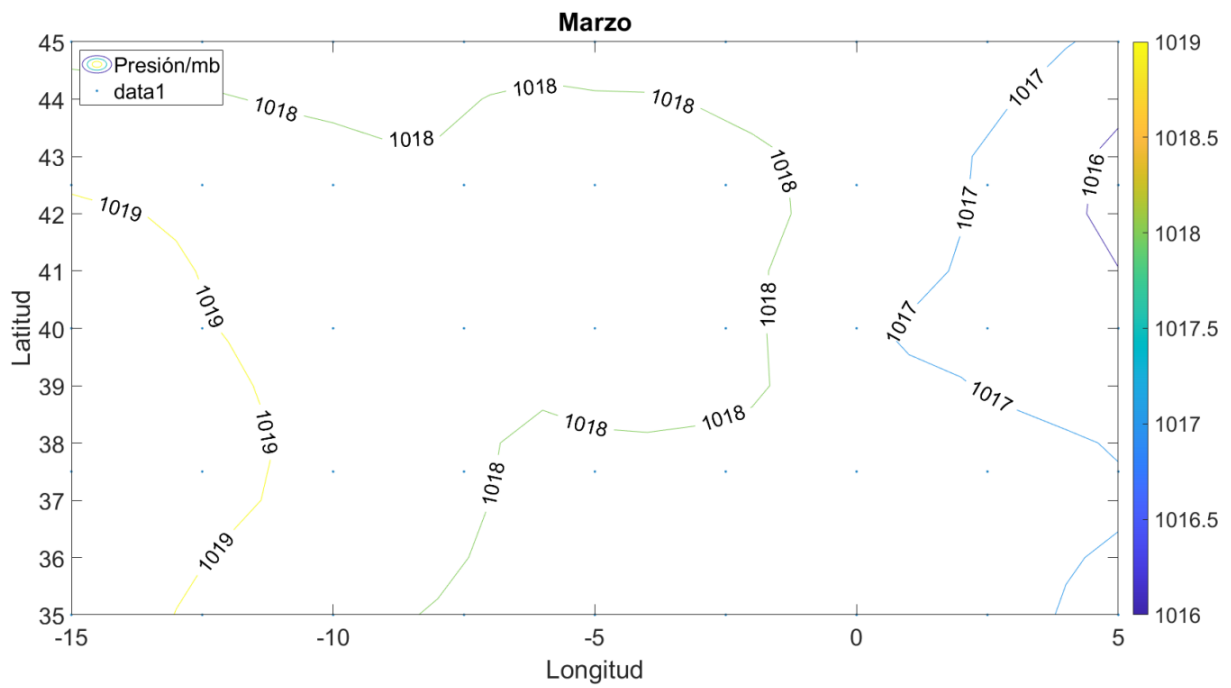
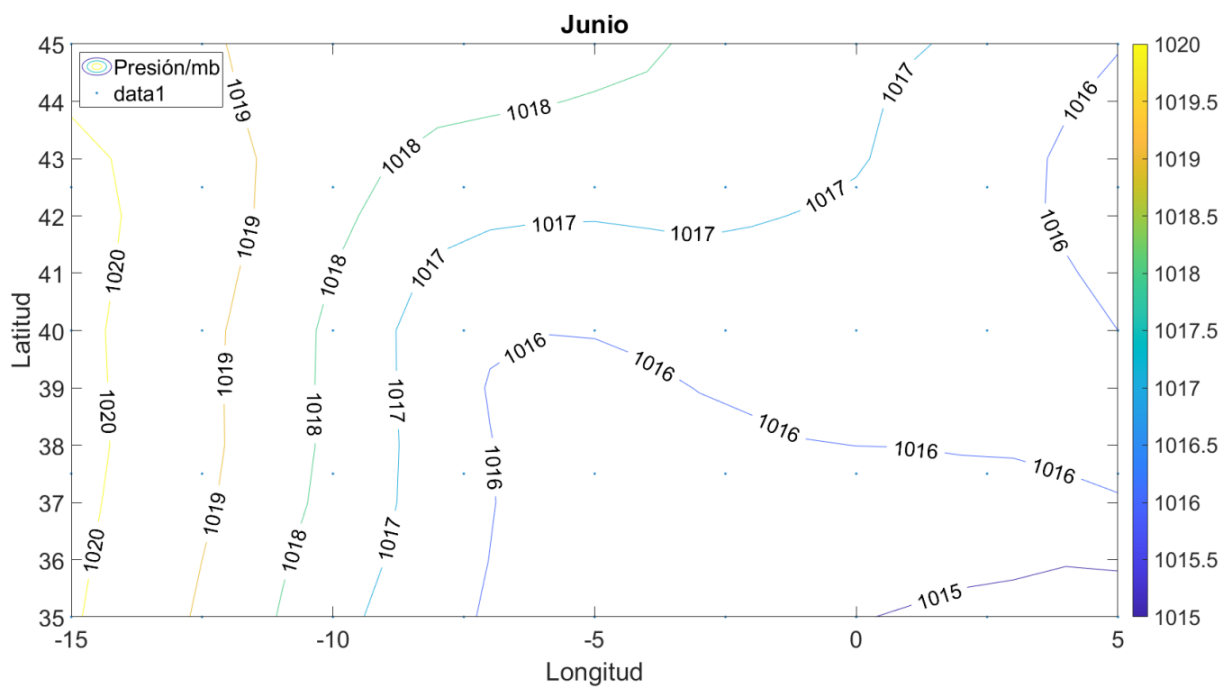
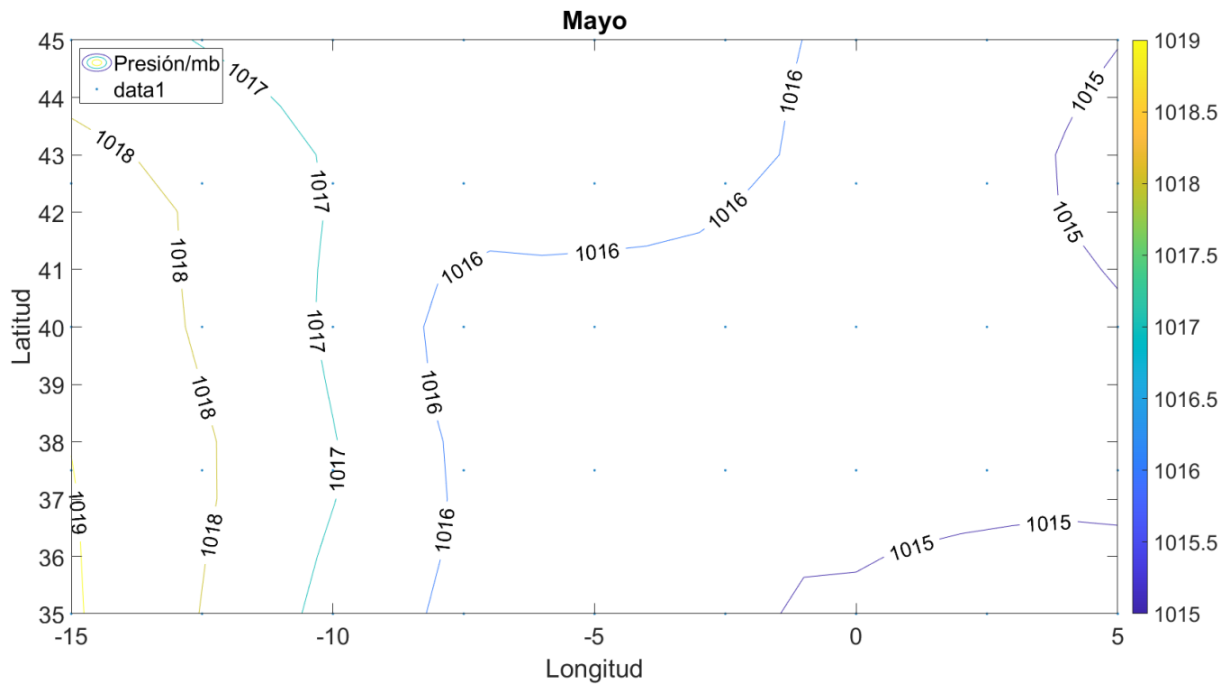
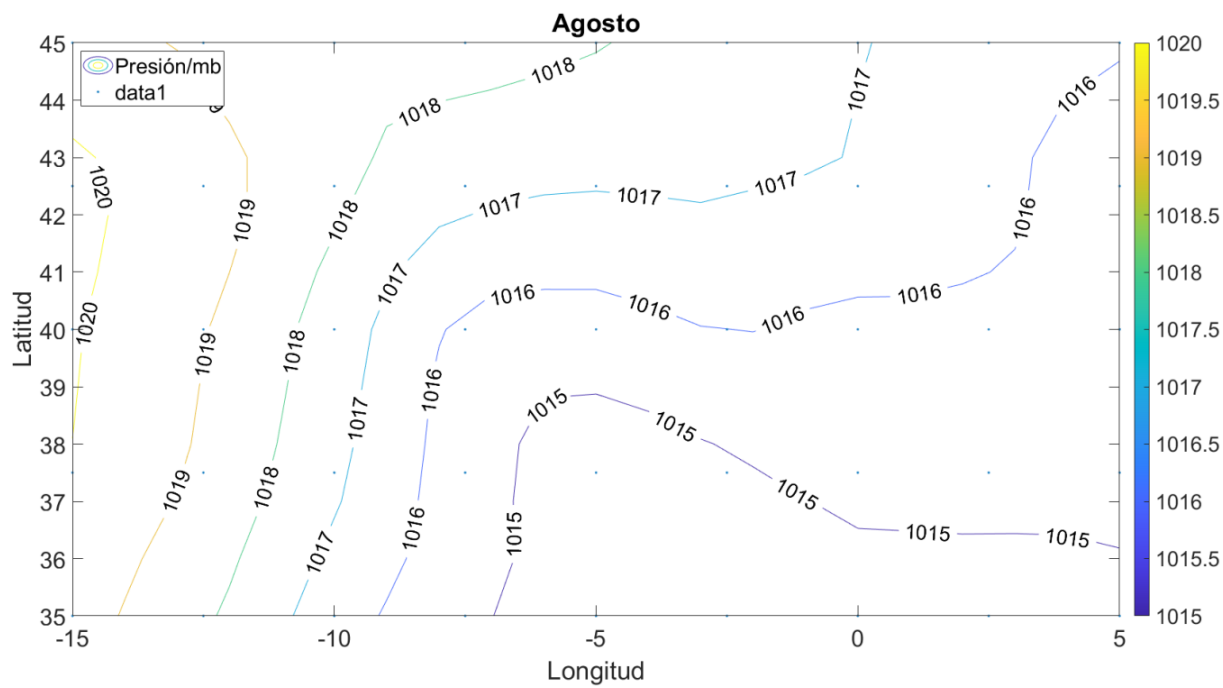
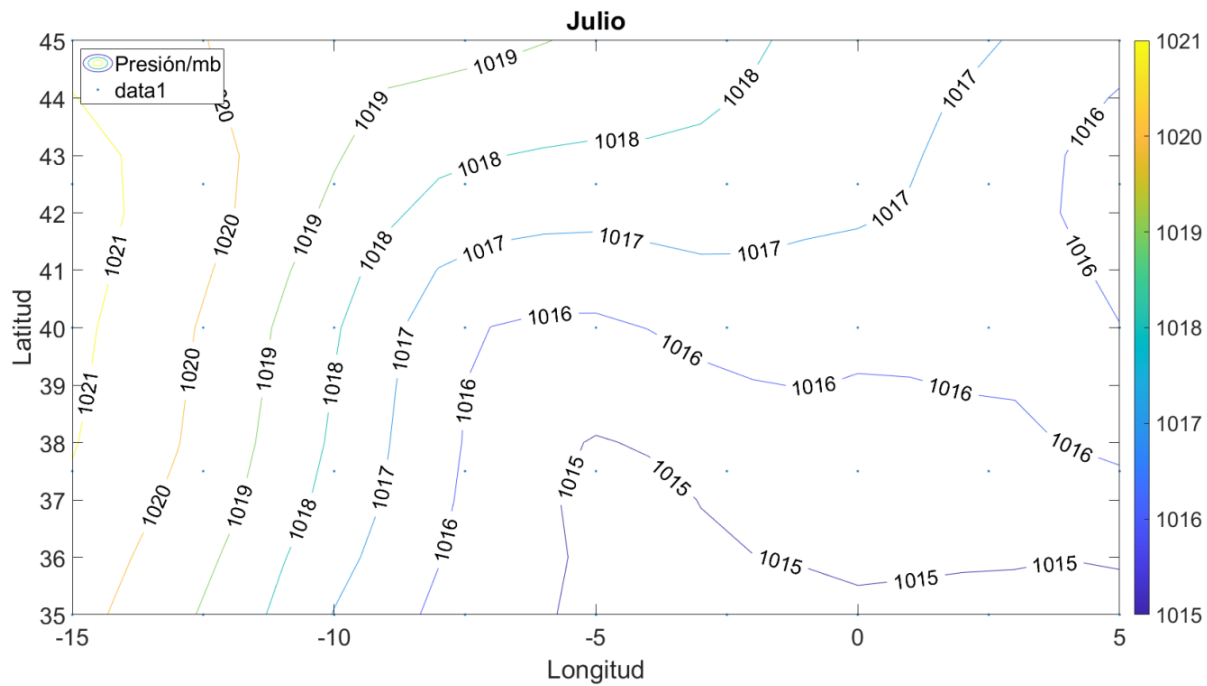


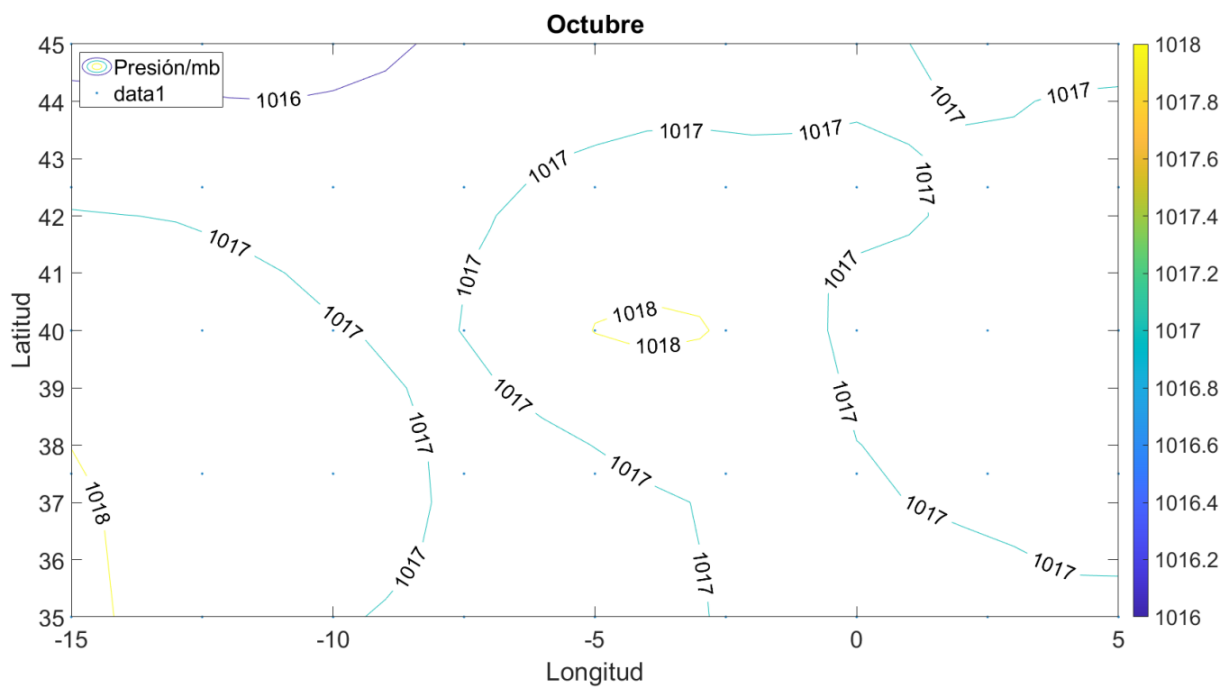
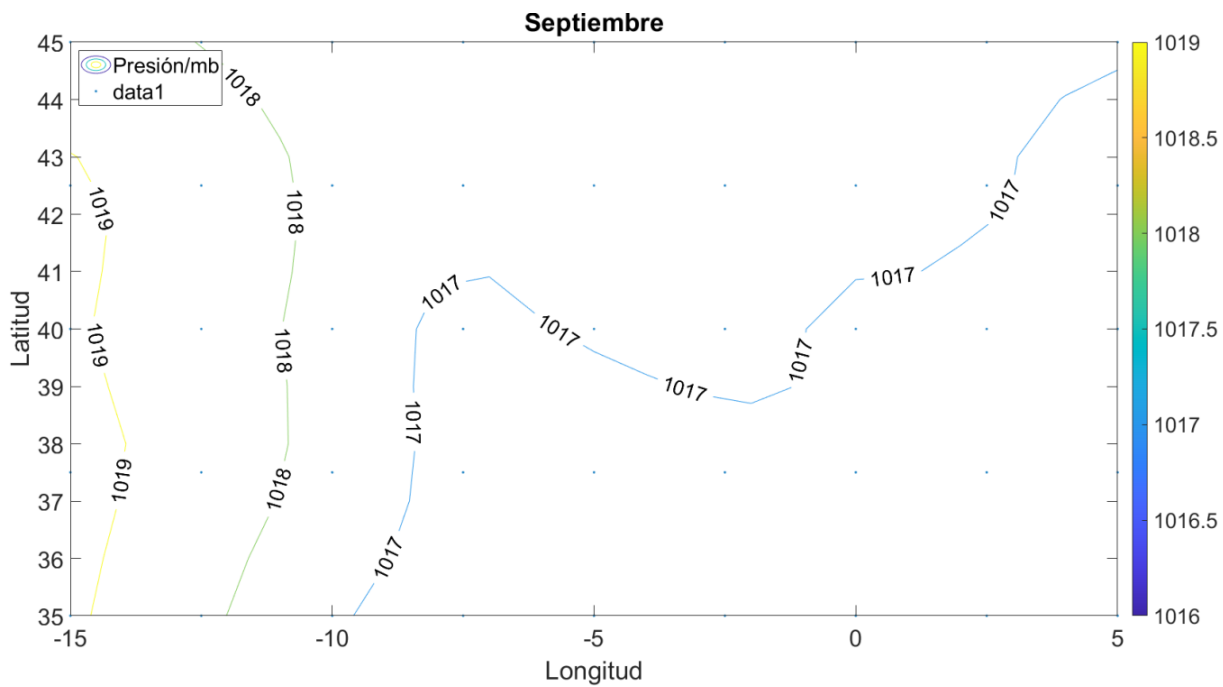
Figura 3.3: Frecuencia (%) de cada tipo de tiempo durante el periodo de estudio.











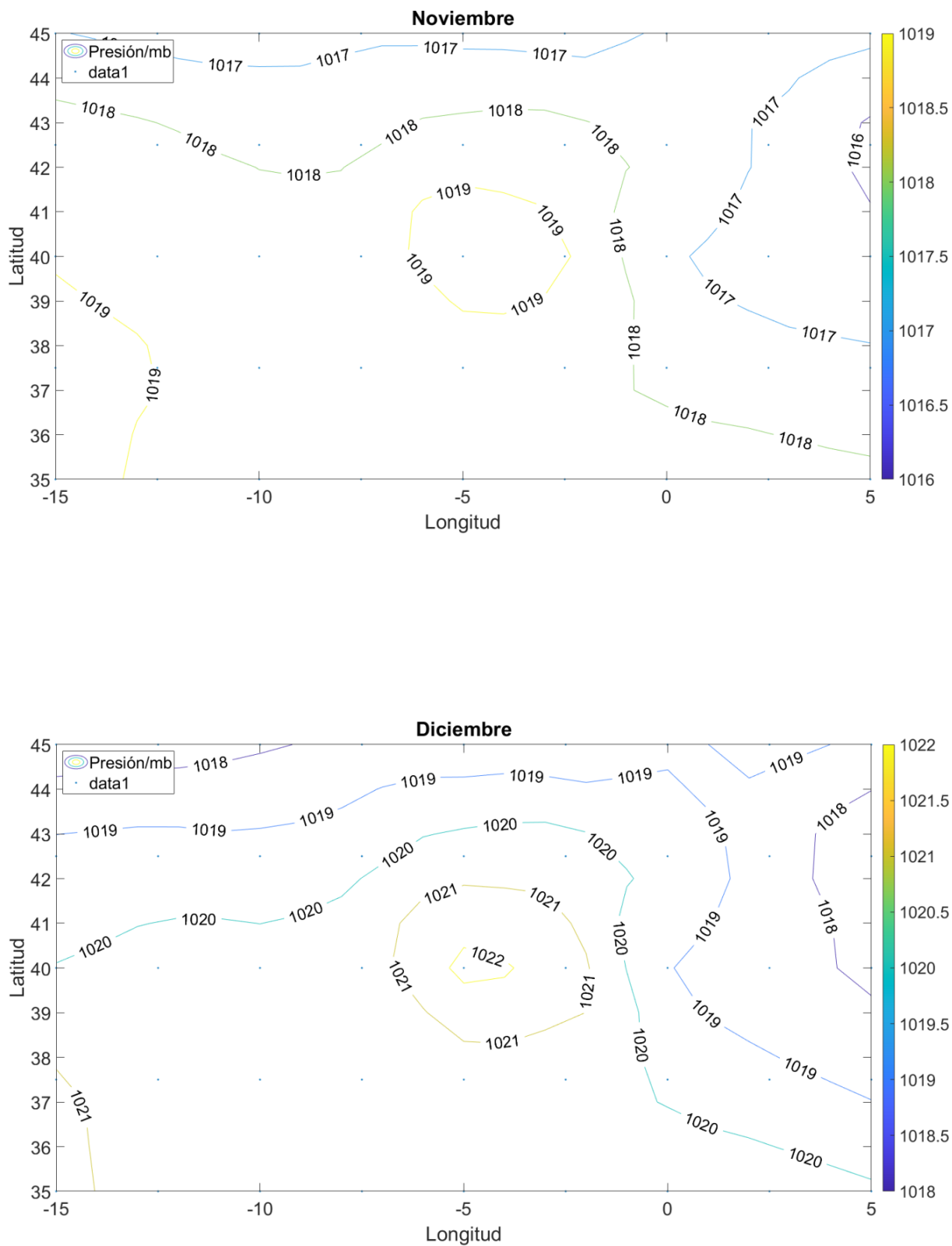


Figura 3.4: Mapas isobáricos con la presión media para cada mes en el período de estudio.

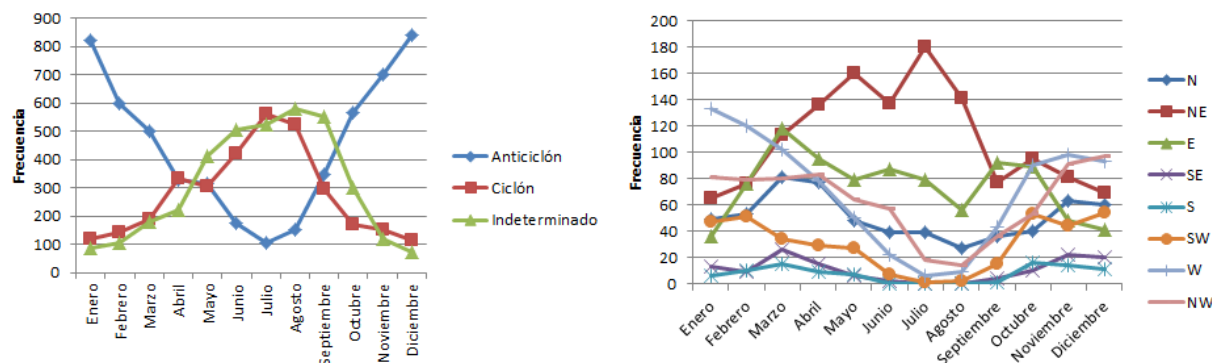


Figura 3.5: Frecuencia de cada tiempo durante el periodo de estudio. A la izquierda están los tipos ciclónicos y el indeterminado, a la derecha los tipos direccionales. Notesé la diferencia de escala entre los 2 gráficos.

En la figura 3.5 se observa la variabilidad estacional de los tiempos. Vemos que durante los meses fríos, el tipo anticiclónico se da con mucha frecuencia, siendo el tipo predominante como se puede apreciar en las figuras 3.3 y 3.4, mientras que durante el verano presenta un mínimo. Por otro lado, la frecuencia del tipo ciclónico presenta una variación inversa al anticiclónico, produciéndose su máximo en los meses de verano durante los cuales constituye uno de los tiempos más frecuentes. En los meses cálidos, también destaca el repentino aumento del tipo indeterminado, siendo uno de los tipos mayoritarios junto a los ciclónicos.

Para los flujos direccionales notemos que el viento con componente sur es casi inexistente (siendo el único caso algo notable el viento del suroeste, que se da durante el otoño y el invierno, principalmente). En invierno es más frecuente el flujo del oeste y norte mientras que en verano es más frecuente el flujo procedente del noreste (observable en los mapas). Los tipos híbridos (no aparecen en los gráficos) presentan una evolución similar a sus componentes, los anticiclónicos son más frecuentes durante los meses fríos mientras que el CN (el único híbrido ciclónico que se ha dado como se puede observar en la figura 3.2) es frecuente en verano. Respecto a la dirección, los de componente este son más frecuentes en verano relativamente respecto a los de componente oeste y viceversa en invierno.

Para comprobar la fiabilidad del método podemos comparar los resultados con los que han sido obtenidos en trabajos similares. El tipo indeterminado suele darse frecuentemente de una forma inusual en verano a diferencia de otras regiones, ya que las condiciones de la península contribuyen al denominado pantano barométrico, donde la diferencia de presión entre puntos es baja lo que produce un estancamiento del aire [5, 6, 8]. Respecto a los tipos asociados a la vorticidad, nuestros resultados difieren con los mostrados en [5] donde sale que el tipo C es frecuente en invierno y el tipo A en verano. Esta diferencia puede deberse a que en ese artículo la red está desplazada al este por 10° respecto a la nuestra, y por lo tanto puede percibirse menos la influencia del Atlántico (como puede ser el anticiclón de las Azores, un sistema localizado al oeste de la península cuyo movimiento por el Atlántico a lo largo del año afecta al tiempo en la península [8]), ya que contrastando con [6] donde usan un sistema similar y una red situada más al oeste (5° al este de la nuestra), y [8] donde se usa la misma red que en este trabajo, los resultados respecto a estos tipos muestran un buen acuerdo con los obtenidos aquí. También, se ha comprobado la concordancia en los datos para los tipos advectivos ya sea el viento de

componente oeste y norte en invierno [6, 8] o el viento del noreste en verano [8].

Una de las características de los tipos sinópticos que nos interesa conocer es cómo afectan a las condiciones meteorológicas, al ser el ozono un contaminante gaseoso y la consecuencia de reacciones inducidas por la luz solar.

Los tipos anticiclónicos producen en general cielos despejados y viento suave. El tipo ciclónico puro va a estar asociado en general a cielos nublados y mal tiempo con vientos más fuertes. Los ciclones que ocurren durante el verano son la excepción, ya que en estos casos suelen indicar bajas suaves que se producen sobre la península debido al calentamiento del aire cerca del suelo (bajas térmicas) en vez de profundos sistemas móviles. Esta clase de bajas no suelen estar asociadas a procesos que inducen precipitaciones excepto alguna tormenta ocasional [8]. El tipo indeterminado como se ha mencionado con anterioridad, está asociado a días sin viento o con brisas leves y sin una dirección totalmente definida debido a las diferencias de presión pequeñas. Este tipo también produce cielos despejados en general, al no contribuir apenas a las precipitaciones.

Los tipos mencionados ejercen un efecto similar a lo largo de la península. En el caso de los tipos direccionales, estos se ven muy afectados por la topografía de la península, lo que produce que sus efectos sean de media distintos según la localización geográfica. Los vientos de tipo N y NE no suelen producir precipitaciones en la mitad fría del año, mientras que su contribución a las precipitaciones aumenta en la mitad cálida del año. Estas precipitaciones suelen darse en la costa mediterránea, por lo que esperamos que en esa zona se produzcan cielos cubiertos. Para los vientos procedentes del atlántico, especialmente los casos W y NW, se produce la situación contraria, las precipitaciones que producen no se dan en la costa mediterránea, sino en el interior o el norte de la península. En el caso de viento del SW, tampoco se producen precipitaciones en el norte. Para los tipos W y SW, se espera que produzcan mayor nubosidad en la mitad fría del año, durante la cual su contribución a las precipitaciones es mayor (figura 3.6) [8, 9].

	Weather Types (WTs)	Short form	Winter			Spring			Summer			Autumn			Mont. Mean
			Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	
Directional WTs	Northeasterly	NE	2,8	2,6	3,8	3,2	7,5	13,1	20,3	33,2	30,5	9,0	7,1	3,7	11,4
	Easterly	E	2,3	3,5	3,4	4,9	2,8	4,4	8,9	15,0	11,0	9,1	5,3	3,2	6,2
	Southeasterly	SE	2,4	1,5	2,7	2,1	1,4	0,5	0,4	0,1	0,4	0,8	2,9	1,8	1,4
	Southerly	S	1,9	3,8	4,0	2,1	0,6	1,1	0,0	0,0	0,2	1,0	3,2	3,0	1,7
	Southwesterly	SW	17,4	15,7	16,3	13,5	5,9	5,3	0,4	0,2	0,2	6,3	13,0	11,9	8,8
	Westerly	W	21,3	23,3	23,0	20,5	14,2	11,6	4,0	0,9	3,7	15,5	17,6	20,8	14,7
	Northwesterly	NW	8,5	9,0	8,5	7,0	9,3	10,9	8,6	5,2	10,6	9,0	6,5	7,7	8,4
	Northerly	N	3,4	3,9	3,1	6,2	6,9	11,0	13,6	16,8	12,9	6,1	4,3	4,6	7,7
Cyclonic WTs	Pure cyclonic	C	13,8	12,5	9,9	14,4	25,3	14,9	12,2	2,9	5,4	10,1	12,7	15,0	12,4
	Cyclonic Northeasterly	CNE	1,4	0,7	1,7	2,2	5,9	4,8	5,9	7,5	3,2	3,4	1,3	1,0	3,3
	Cyclonic Easterly	CE	2,2	1,6	1,9	2,9	4,4	4,1	5,1	2,5	7,6	7,3	4,3	2,7	3,9
	Cyclonic Southeasterly	CSE	2,0	1,0	1,0	0,7	1,1	1,1	0,6	0,0	1,1	1,4	2,4	2,0	1,2
	Cyclonic Southerly	CS	2,0	1,5	1,3	2,0	0,5	1,1	0,1	0,0	0,0	2,0	1,2	4,2	1,3
	Cyclonic Southwesterly	CSW	2,1	2,0	1,9	3,2	2,6	1,2	0,3	0,0	0,0	1,1	2,5	3,6	1,7
	Cyclonic Westerly	CW	2,2	2,2	3,3	1,4	1,7	3,0	0,7	0,3	1,3	0,7	3,0	1,1	1,7
	Cyclonic Northwesterly	CNW	1,6	1,1	0,9	1,1	2,0	1,5	2,2	0,4	0,1	1,0	1,1	1,7	1,2
	Cyclonic Northerly	CN	0,6	0,3	0,9	1,2	1,9	2,2	4,6	2,7	1,4	1,0	0,4	0,9	1,5
Anticyclonic WTs	Pure anticyclonic	A	2,4	4,4	2,6	2,8	1,8	2,9	3,8	2,3	3,0	5,6	3,2	2,8	3,1
	Anticyclonic Northeasterly	ANE	0,5	0,3	0,5	0,4	0,2	0,7	1,7	2,1	1,5	1,2	0,6	0,4	0,8
	Anticyclonic Easterly	AE	0,2	0,6	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,5	0,5	0,2	0,2
	Anticyclonic Southeasterly	ASE	0,2	0,1	0,5	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,2	0,5	0,2
	Anticyclonic Southerly	AS	0,3	0,2	0,4	0,3	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,2	0,7	0,1	0,2
	Anticyclonic Southwesterly	ASW	1,1	0,9	1,2	1,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,7	0,7	0,8	0,6
	Anticyclonic Westerly	AW	3,4	4,0	4,4	3,4	1,1	1,4	1,5	0,0	1,2	2,3	2,5	3,3	2,4
	Anticyclonic Northwesterly	ANW	2,6	2,5	1,9	2,0	1,4	1,4	2,1	4,8	2,2	2,9	1,7	1,9	2,3
	Anticyclonic Northerly	AN	1,1	0,8	0,8	1,1	1,0	1,4	2,3	2,8	2,5	1,6	1,0	0,9	1,4

Figura 3.6: Contribución porcentual de cada tipo a las precipitaciones. El color rojo indica valores bajos y el azul valores altos. Tabla extraída de [9].

3.2. Mapas de distribución de ozono, resultados y comparaciones

Aquí mostraremos los resultados obtenidos para la distribución del ozono y se ligarán con los patrones atmosféricos. Primero mostramos 2 gráficos de la evolución media de la concentración de ozono a lo largo del tiempo, lo que nos da una idea de los valores que podemos esperar en general para periodos concretos.

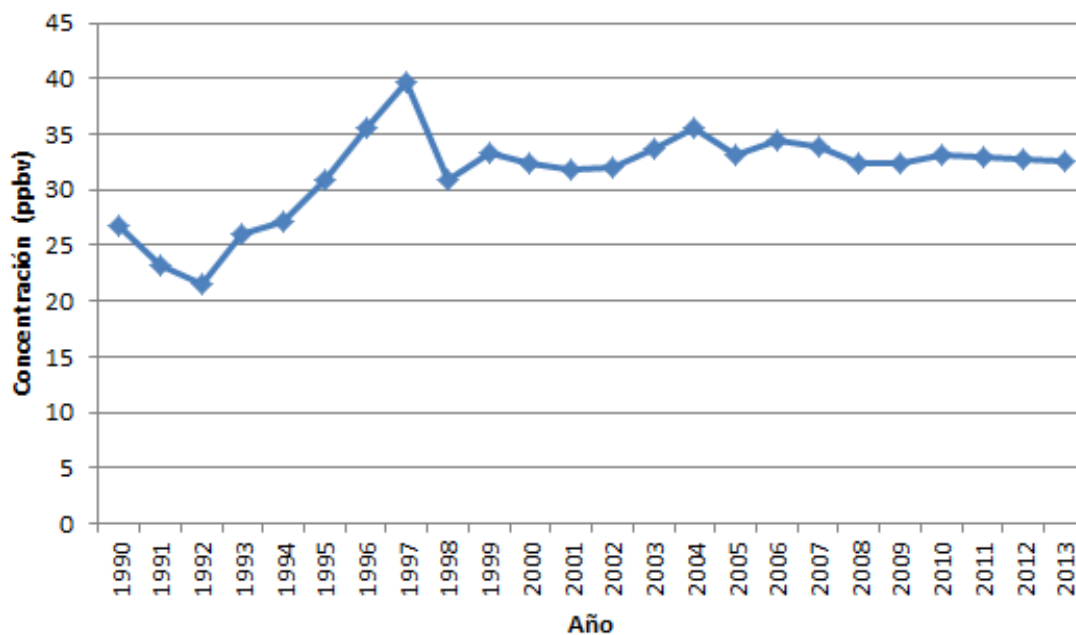


Figura 3.7: Concentración media de ozono por año (ppbv denota partes por mil millones en volumen).

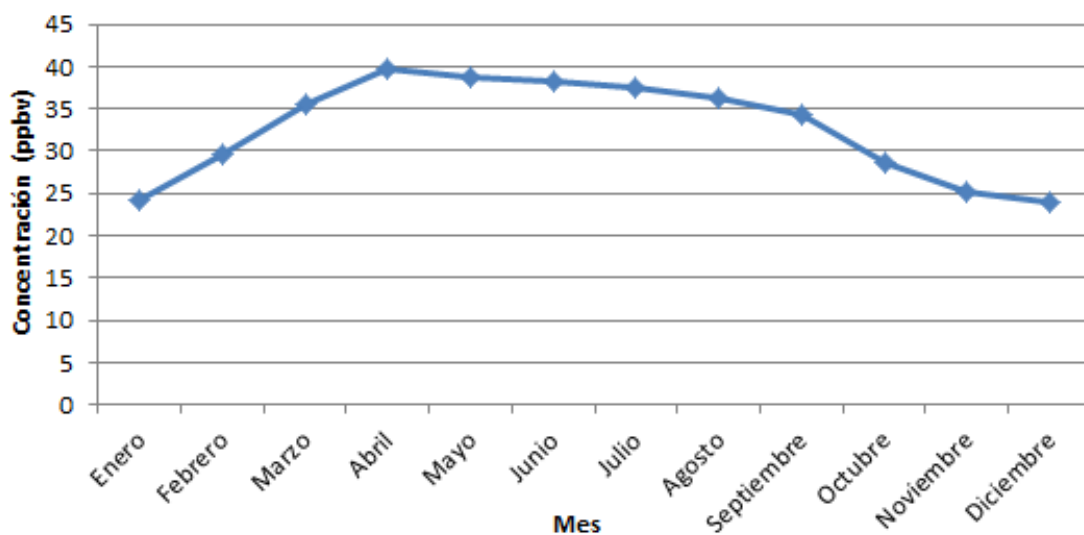


Figura 3.8: Concentración media de ozono por mes a lo largo del periodo de estudio.

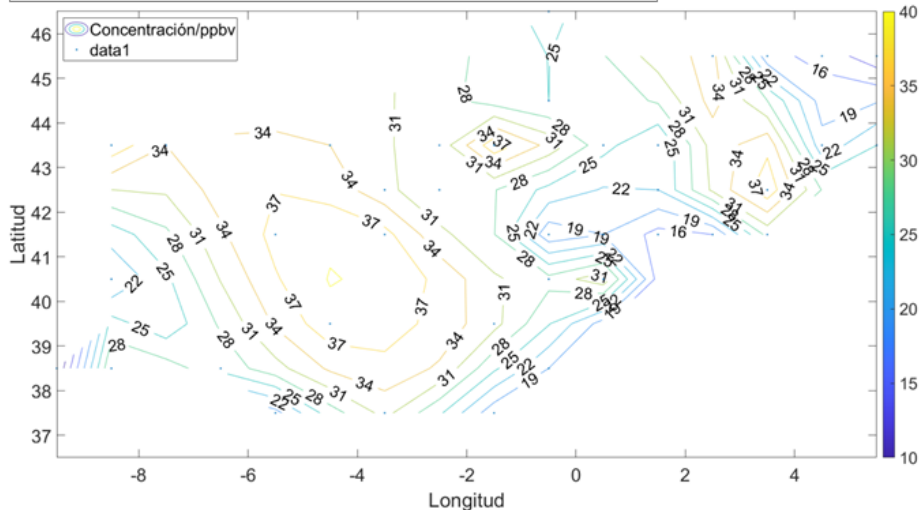
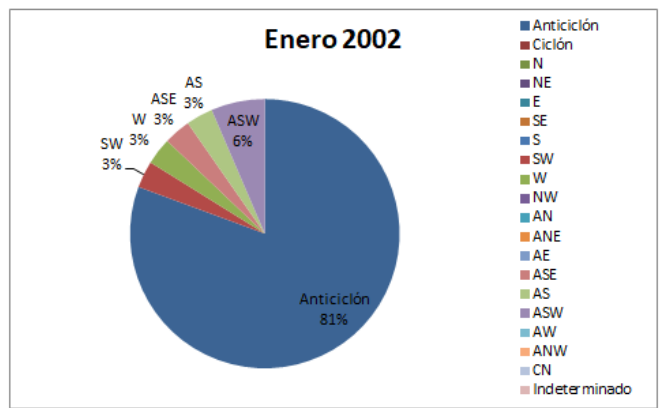
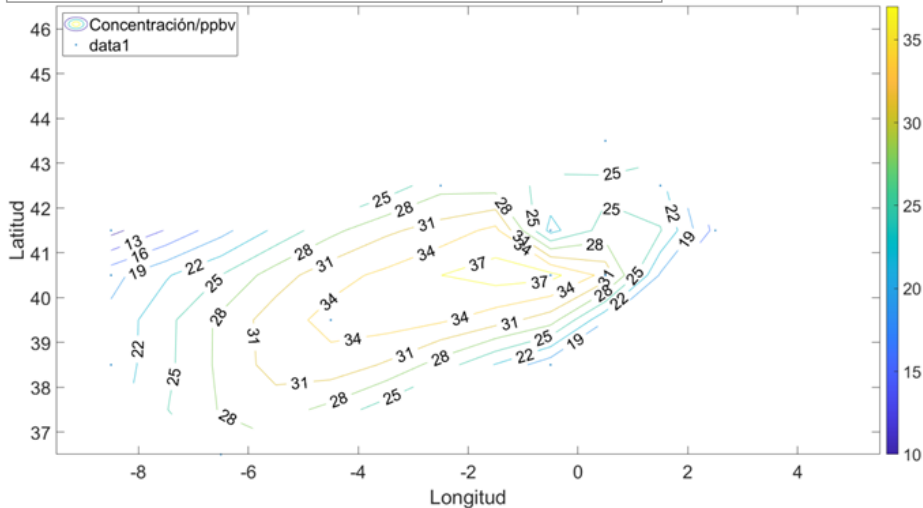
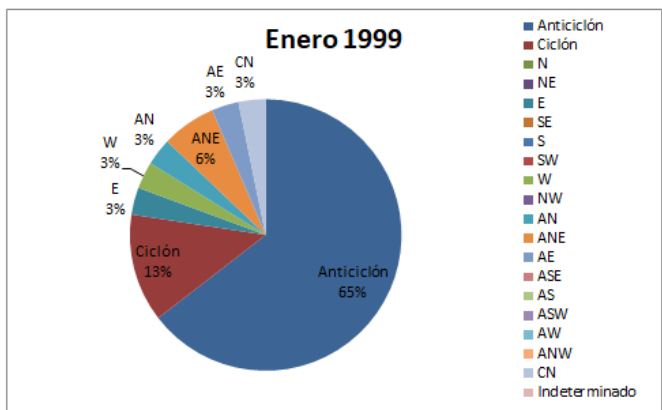
Nuestro rango de tiempo corresponde mayoritariamente al periodo 1998-2013, periodo en el que la concentración de ozono de media no ha variado apenas entre unos años y otros relativamente, y por lo tanto, no nos afectará demasiado a las medidas estadísticas (figura 3.7).

Como se mencionó anteriormente, el ozono troposférico se forma a partir de reacciones en las que interviene la luz solar, lo cual explica su variación en la concentración a lo largo del año (figura 3.8). Los datos que compararemos de distintos patrones corresponden a meses con baja y alta concentración, por lo que habrá que tenerlo en cuenta a la hora de compararlos.

3.2.1. Efecto de tipos de tiempo concretos en la dispersión del ozono

Los patrones que se han repetido con mayor frecuencia corresponden al anticiclón para los meses de enero, febrero y diciembre (invierno) y una mezcla del patrón ciclónico y el indeterminado mayoritariamente para los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre (finales de primavera y verano). Por tanto, nuestras comparaciones para ver cómo afectan tipos de tiempo concretos a la concentración se centrarán entre esos patrones. El resto de meses no presentaban una distribución dominante con regularidad a lo largo de los años.

A continuación se mostrarán los datos obtenidos de la distribución de ozono con su respectiva distribución de patrones para un determinado mes. Para no alargarlo en exceso se mostrarán unos pocos casos representativos (figuras 3.9 y 3.10), el resto se pondrán al final en el Anexo apéndice B.



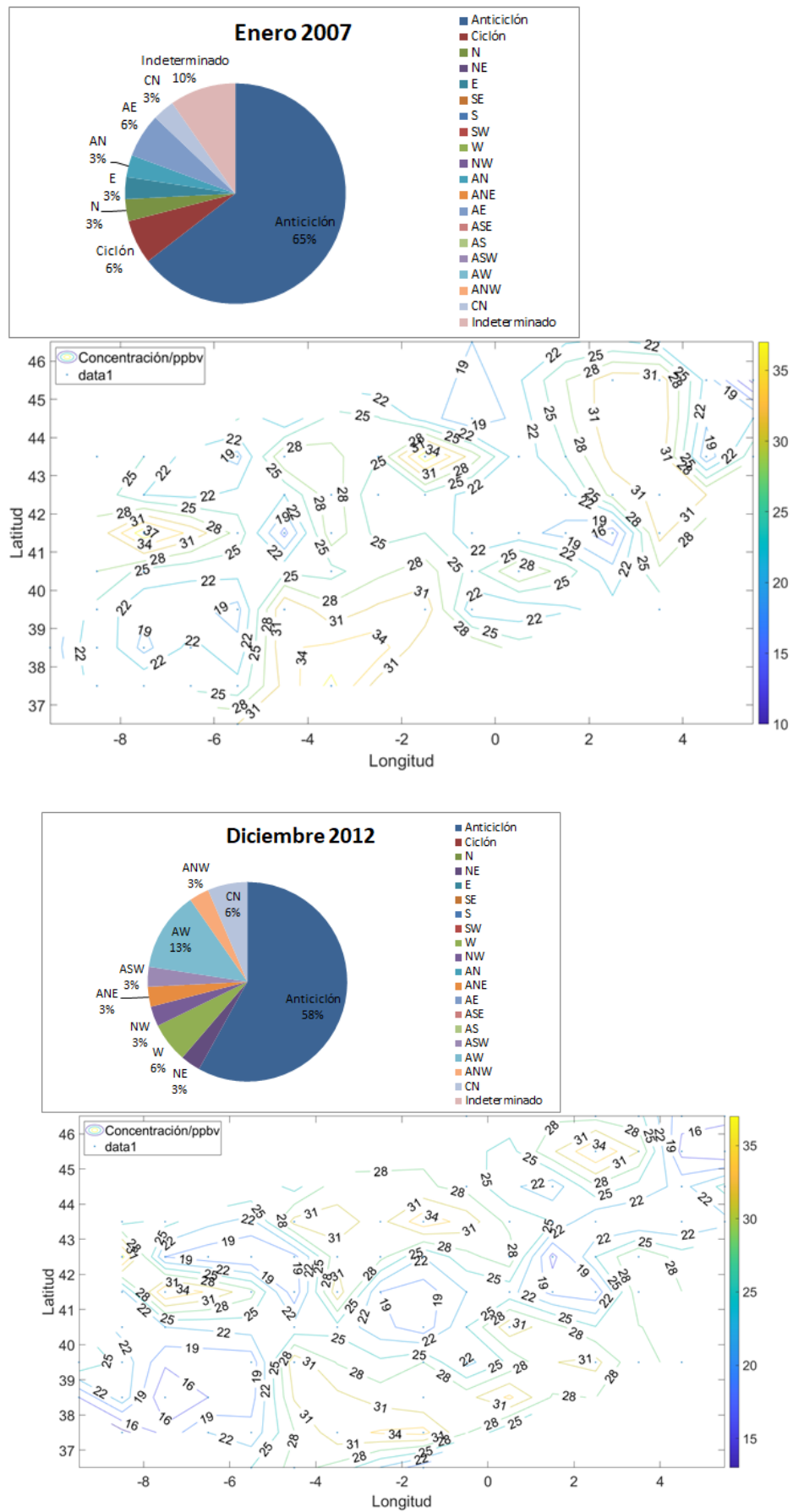
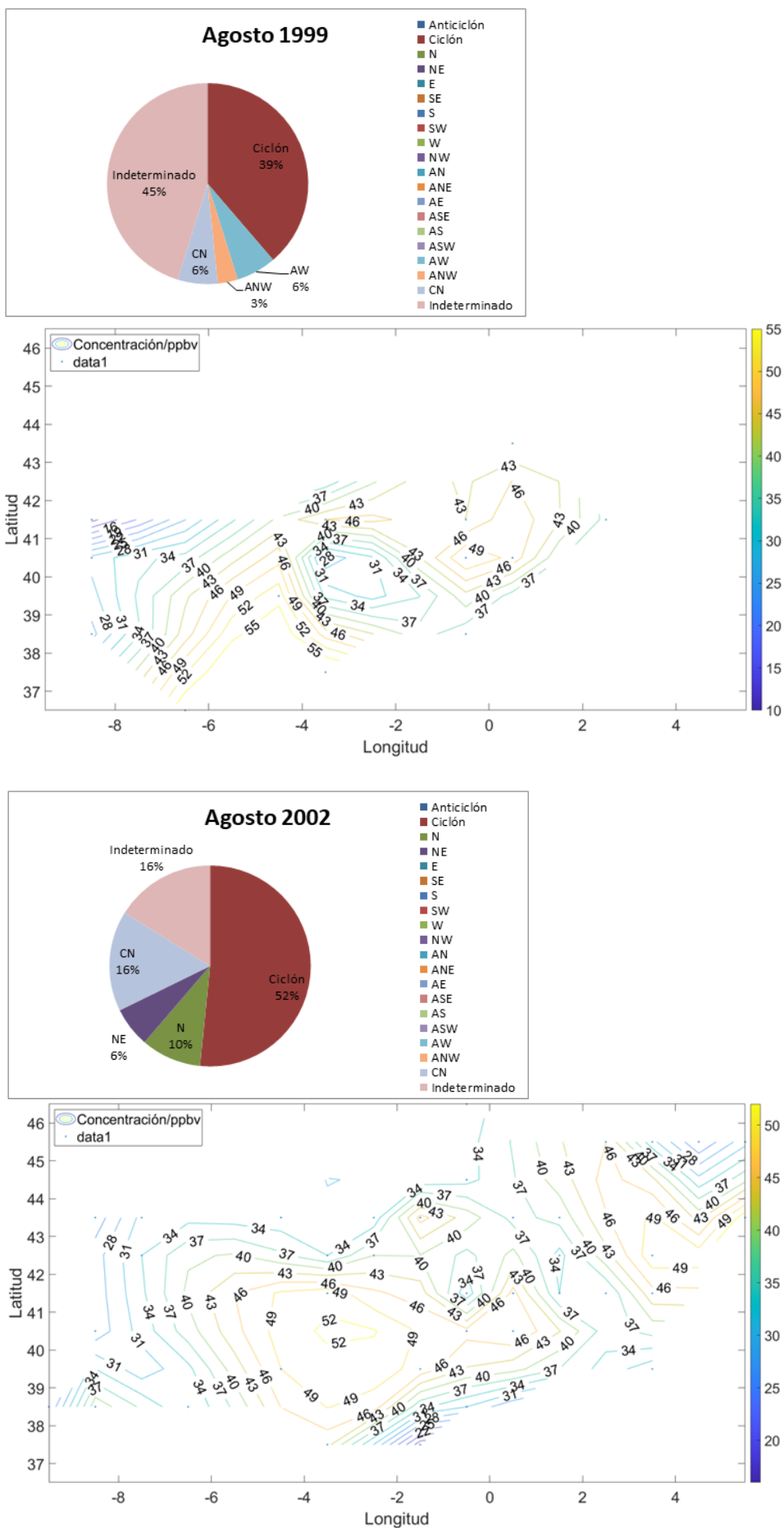
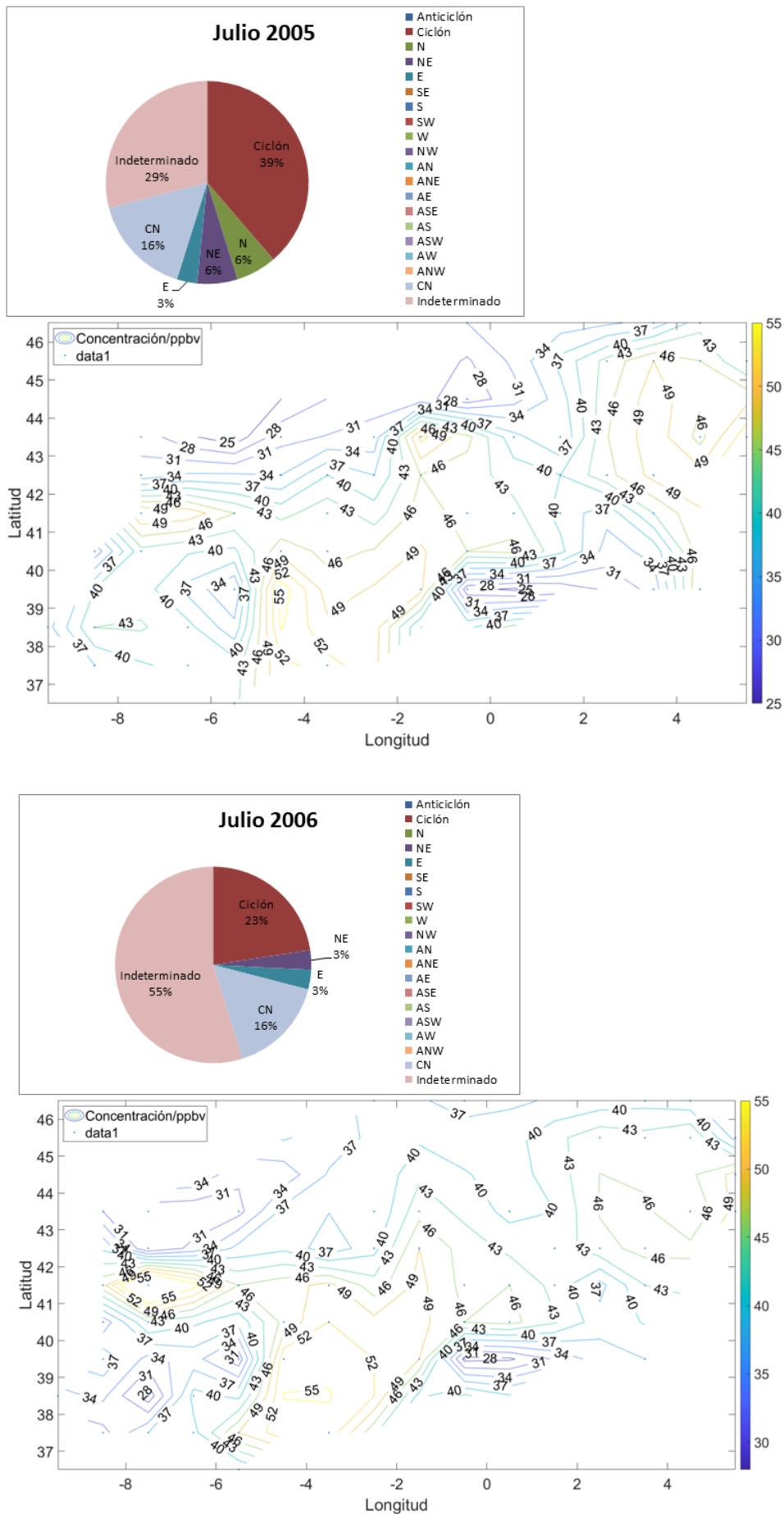


Figura 3.9: Gráficos de ejemplo de las situaciones escogidas para el invierno.





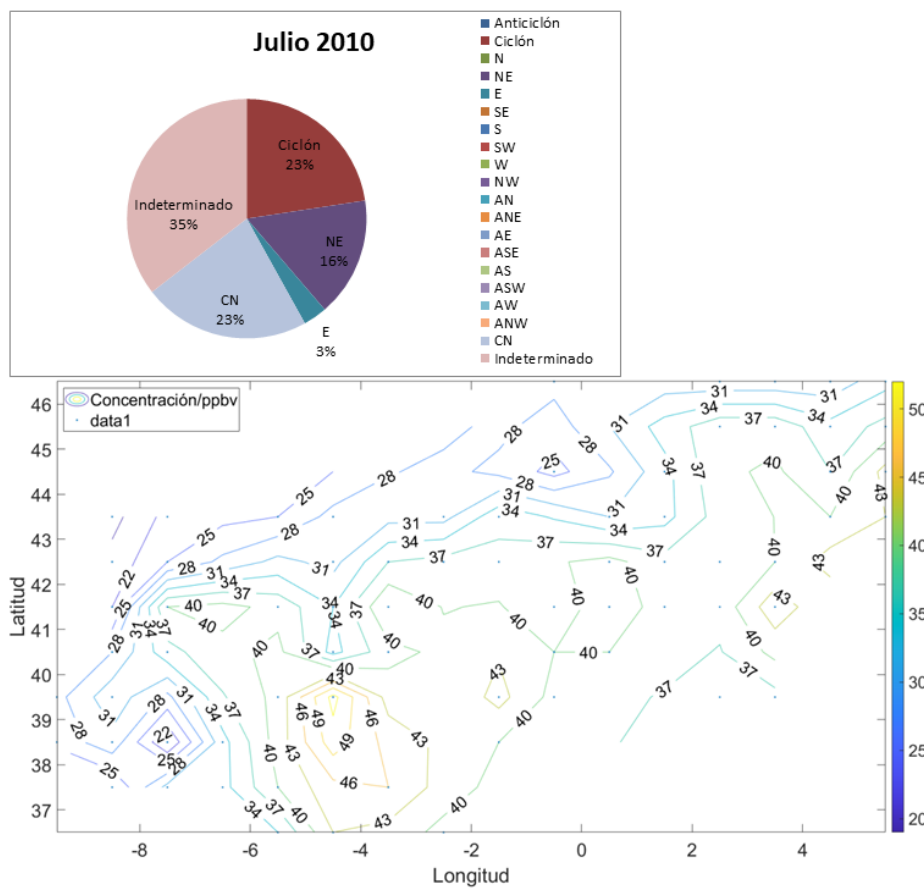


Figura 3.10: Gráficos de ejemplo de las situaciones escogidas para el verano.

Los datos de la concentración de ozono son bastante limitados. No hay medidas para todos los puntos de la red, especialmente los años más antiguos, ni las mismas para todos los años. Debido a esto, los puntos con datos tampoco están equiespaciados. Esto explica por qué los mapas parecen ser bastante irregulares y erráticos al dibujar las líneas, y la aparente discontinuidad para meses próximos en los años antiguos. En los gráficos no aparecen todos los colores de la leyenda debido a que esos tipos componen una parte insignificante o no aparecen directamente. Además, los tipos ciclónicos híbridos a excepción del CN han sido eliminados directamente al ser tipos que no han ocurrido nunca en los años escogidos. También ha de notarse que la escala de longitud es algo más pequeña, ya que a partir de los 10° oeste aproximadamente no había puntos con medidas.

El código usado para obtener los mapas de concentración se encuentra en el Anexo apéndice A.

Por último se han hecho 2 mapas de concentración (figuras 3.11 y 3.12), correspondientes a cada uno de los casos. Para los mapas se han escogido los puntos de los cuales se tiene suficientes muestras de datos y cuyos valores no fluctúen demasiado entre medidas, de forma que el valor de la media sea realista. En ambos mapas se han escogido los mismos puntos para hacer la comparación más simple.

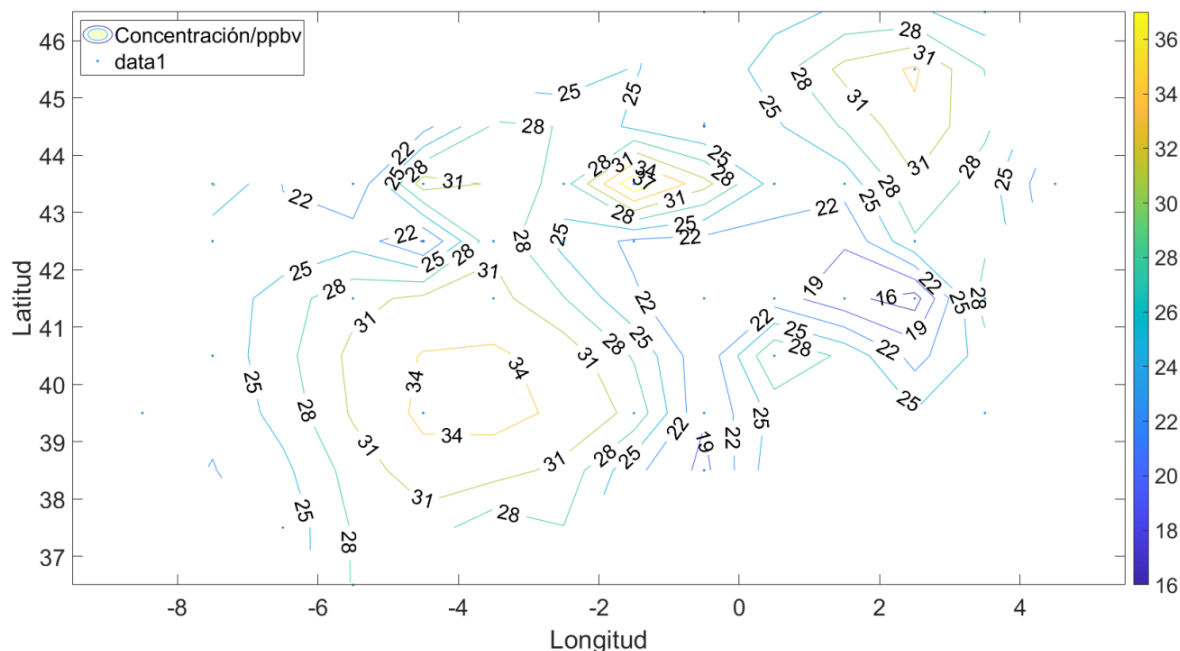


Figura 3.11: Mapa de la distribución media de ozono en invierno, correspondiente a la distribución aproximada debida a la presencia de un anticiclón.

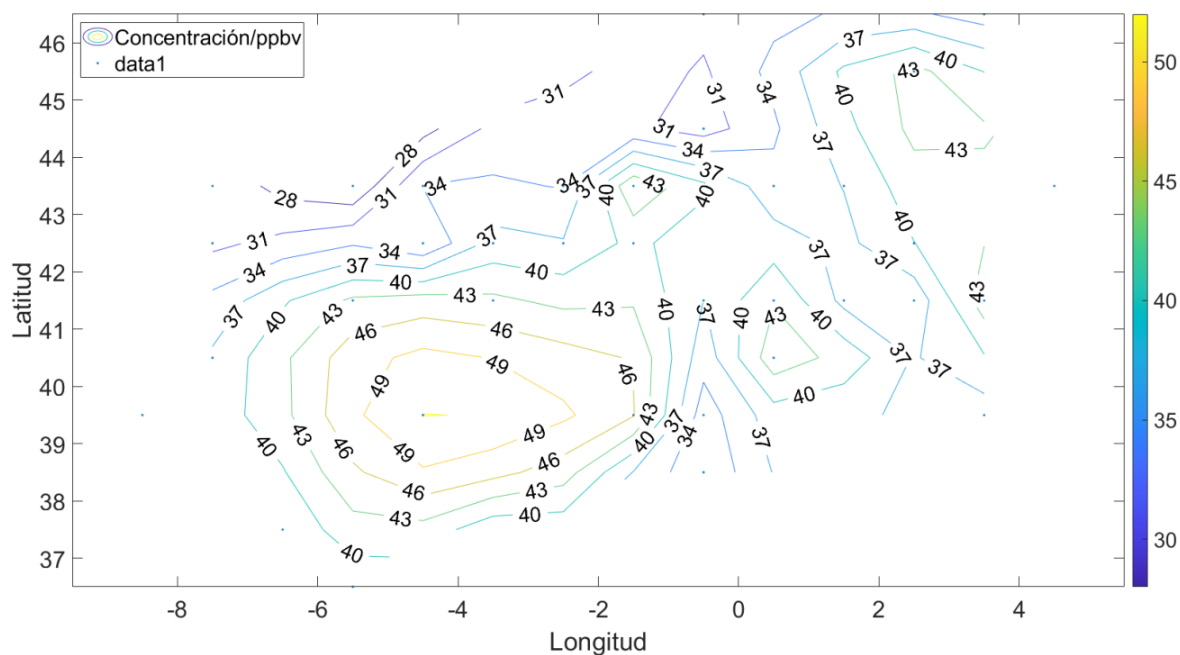


Figura 3.12: Mapa de la distribución media de ozono en finales de primavera y verano, correspondiente a la distribución aproximada debida a la presencia del patrón ciclónico e indeterminado.

Recordemos que debido al proceso de formación de ozono, su concentración es mayor en verano, de ahí la diferencia en la escala. Comparando los mapas se observa que algunas zonas tienden a tener concentraciones similares respecto a la escala independientemente del tiempo aunque también se observan diferencias en la forma de las isobaras indicando una distribución diferente.

Una de las principales diferencias corresponde a los máximos y mínimos de concentración. En la figura 3.11 se observan 5 máximos aislados de concentración y 2 mínimos aislados (entendiéndose por extremos aislados aquellos puntos que no se encuentran al borde del mapa), en contraste a la figura 3.12, donde uno de los máximos desaparece y de los mínimos uno desaparece y el otro se encuentra desplazado. Además, a excepción del máximo localizado en el centro de la península (el más grande de los visibles en ambas figuras) los otros máximos pierden intensidad relativamente durante el verano. Esto se indica en la figura 3.13.

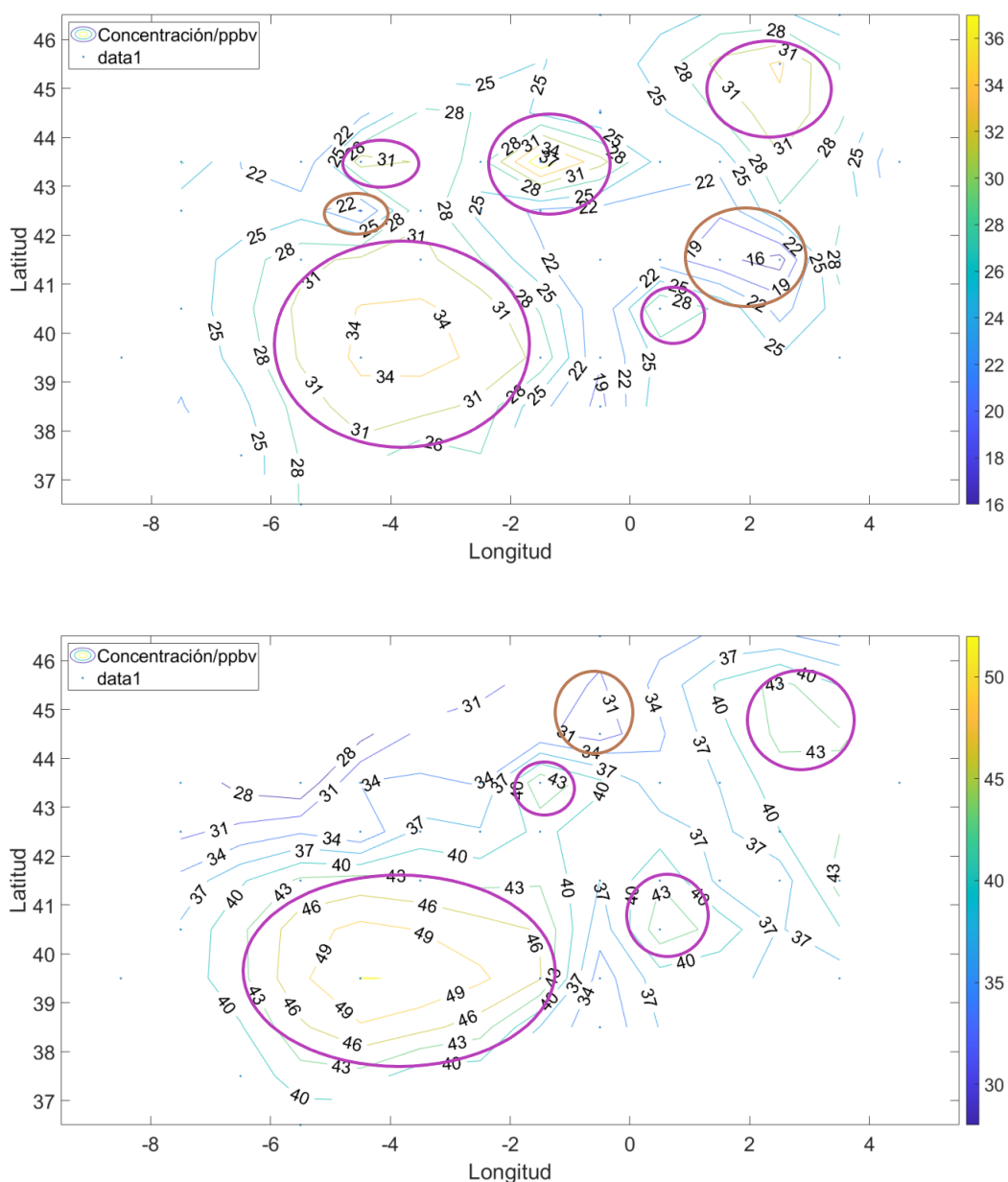


Figura 3.13: Los máximos se han indicado con elipses color púrpura y los mínimos con elipses color marrón

Otra diferencia notoria entre las figuras 3.11 y 3.12 es el cambio en la dinámica de la dispersión del ozono. Esto se aprecia mejor en la figura 3.14:

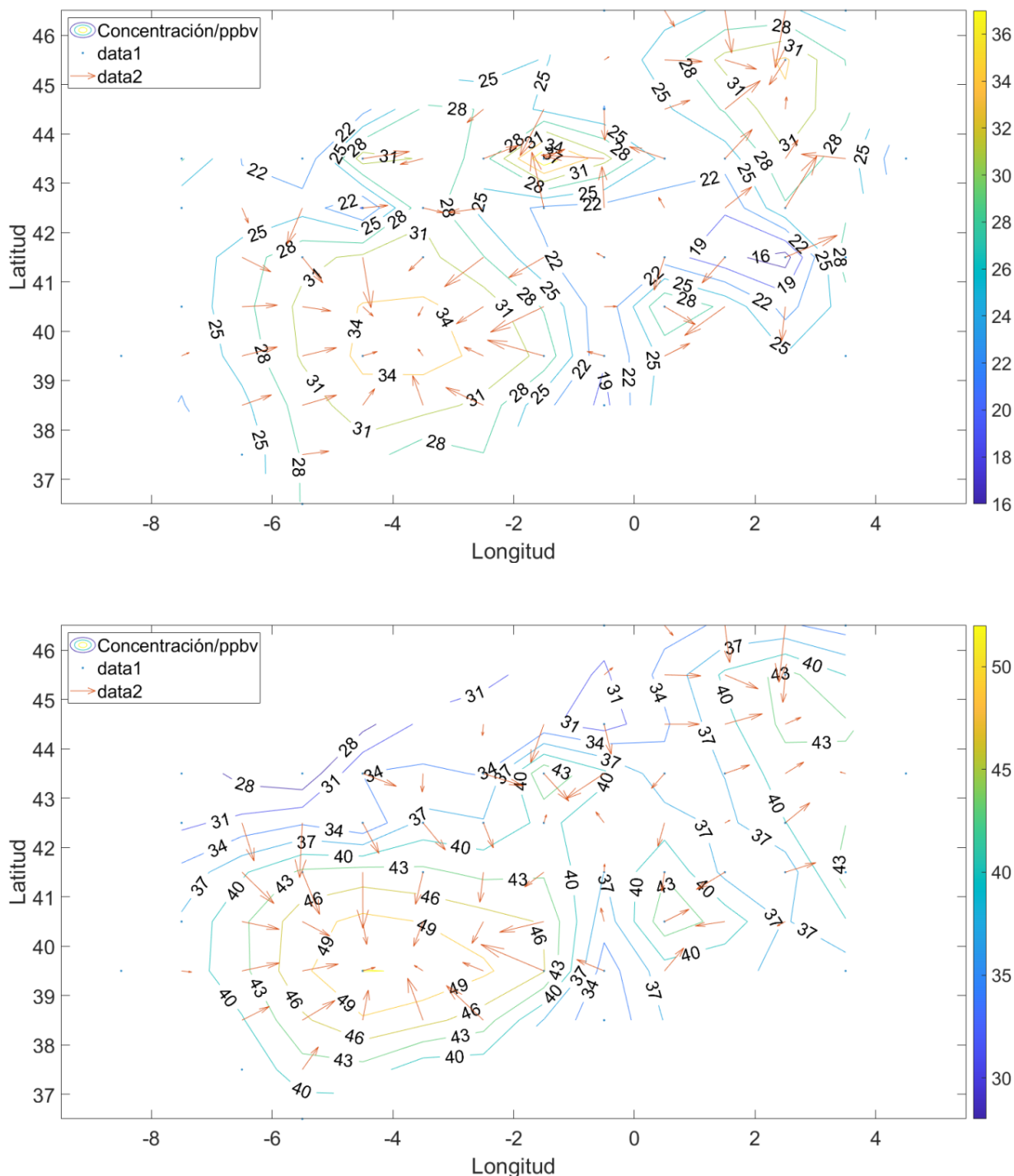


Figura 3.14: Se ha dibujado el gradiente, indicado con las flechas naranjas.

Como se ve en la figura 3.14, las mayores diferencias se aprecian en el norte y el este de la península, donde hay cambios tanto en la dirección como en la intensidad. También se observa lo comentado anteriormente, para el mapa correspondiente al anticiclón se ven extremos más marcados (flechas más grandes) en comparación al mapa correspondiente a los tipos ciclón e indeterminado, donde las flechas son más pequeñas, aunque en este segundo caso la dispersión del ozono es, en general, más uniforme que en el primero.

3.2.2. Evolución del ozono a lo largo del año

En esta parte se mostrará otro enfoque para analizar el efecto del tiempo en la distribución del ozono. Se ha evaluado cómo varía la distribución de ozono en la península a lo largo del año. Para ello se han escogido unos puntos representativos repartidos por la península (figuras 3.15 y 3.16) y se ha considerado la evolución de la concentración de ozono en cada uno. Con este método no se obtiene el patrón aproximado de un tipo sinóptico en concreto sobre la distribución a diferencia del método anterior, pero nos permite evaluar mejor cómo el cambio en la proporción entre distintos patrones a lo largo del año (como hemos observado en los gráficos de la sección 2.2) afecta a la dispersión del ozono por la península.

1,5 E/41,5 N	1
0,5 E/40,5 N	2
1,5 W/42,5 N	3
1,5 W/39,5 N	4
3,5 W/42,5 N	5
3,5 W/40,5 N	6
3,5 W/37,5 N	7
4,5 W/39,5 N	8
5,5 W/43,5 N	9
5,5 W/41,5 N	10
5,5 W/36,5 N	11
6,5 W/38,5 N	12
6,5 W/37,5 N	13
7,5 W/43,5 N	14
8,5 W/42,5 N	15
8,5 W/40,5 N	16
8,5 W/37,5 N	17

Figura 3.15: Puntos escogidos y sus coordenadas.

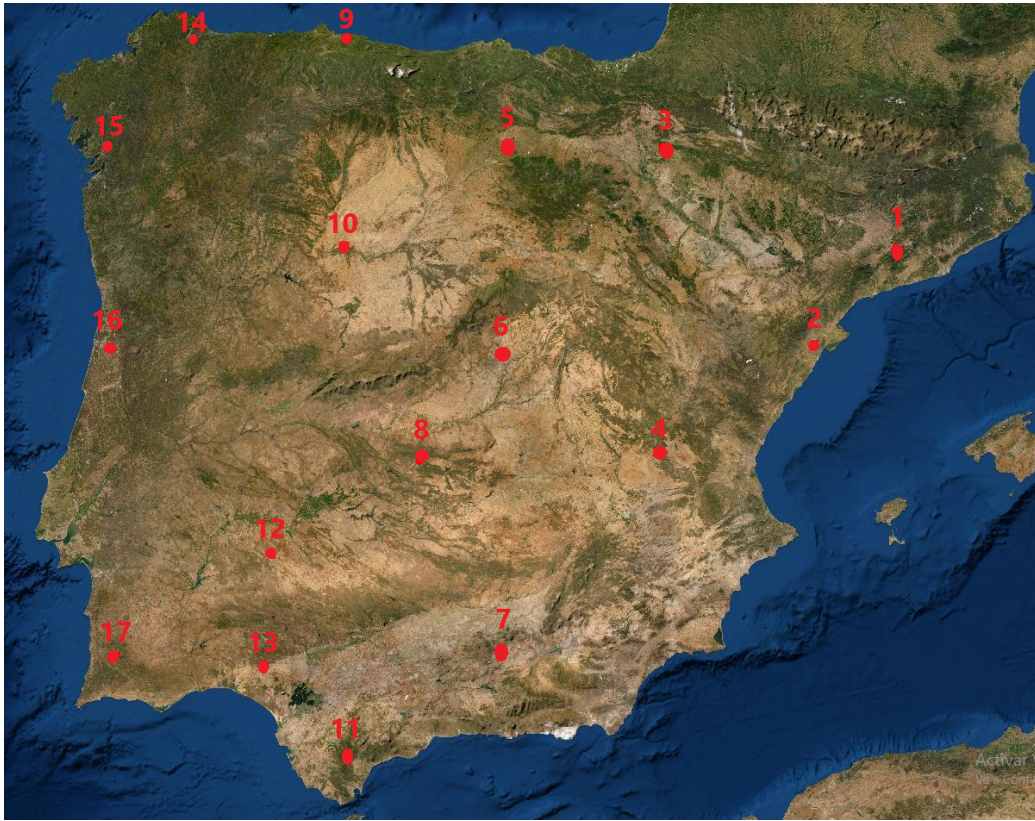


Figura 3.16: Mapa de la península con las localizaciones aproximadas de los puntos escogidos marcadas en rojo. Imagen extraída de [10]

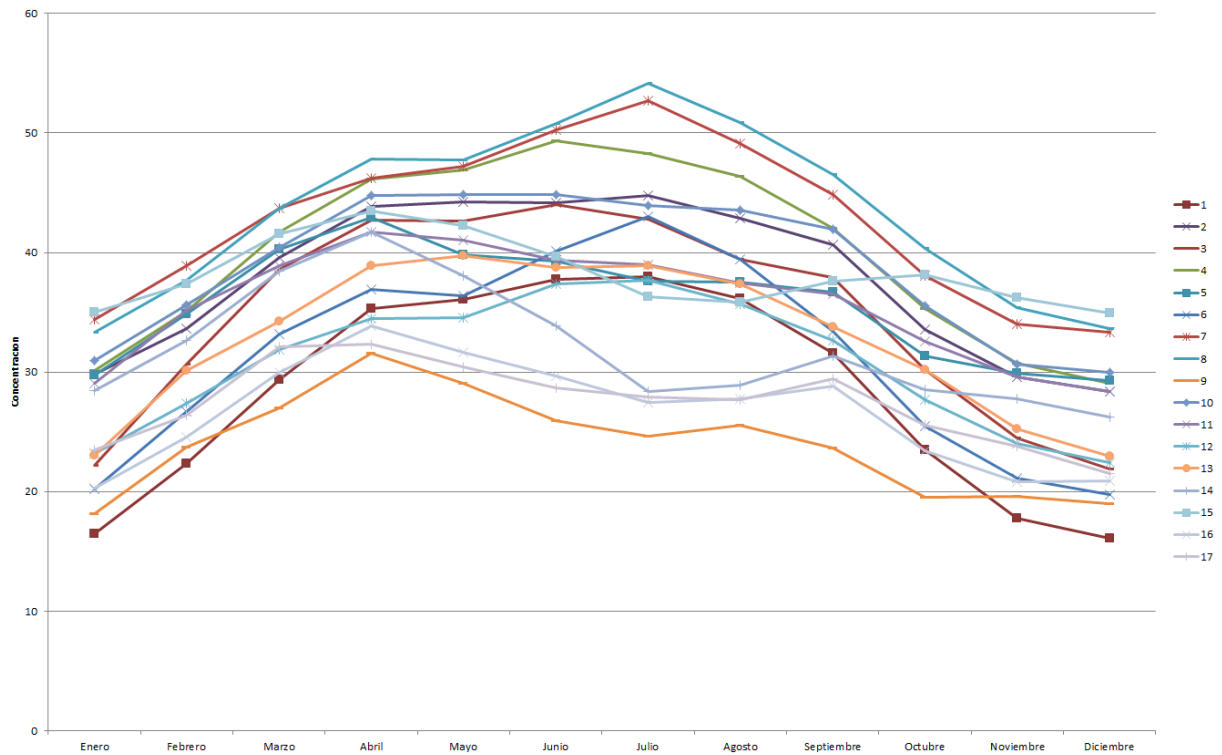
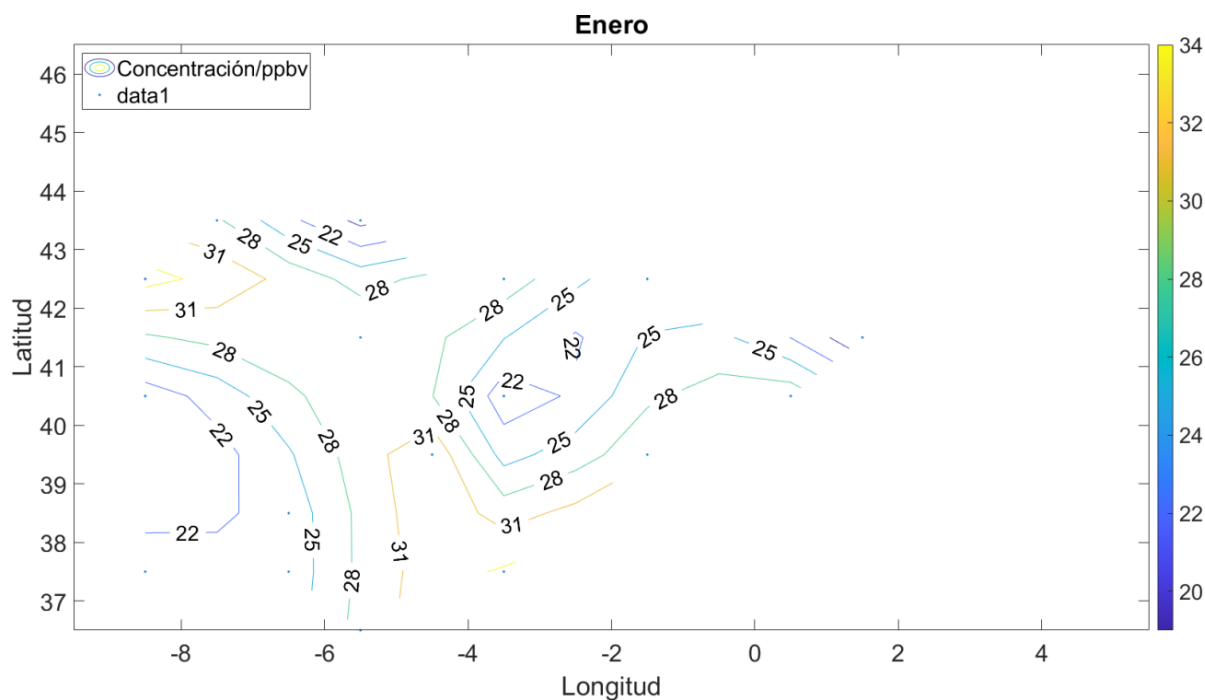


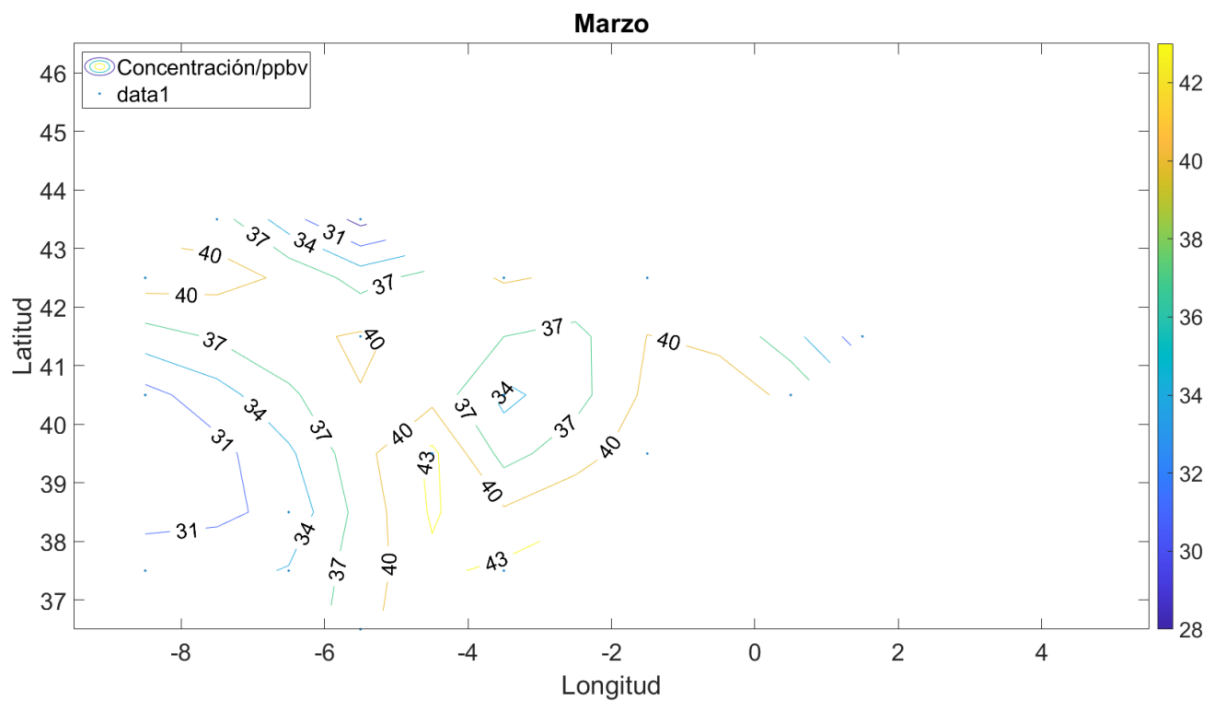
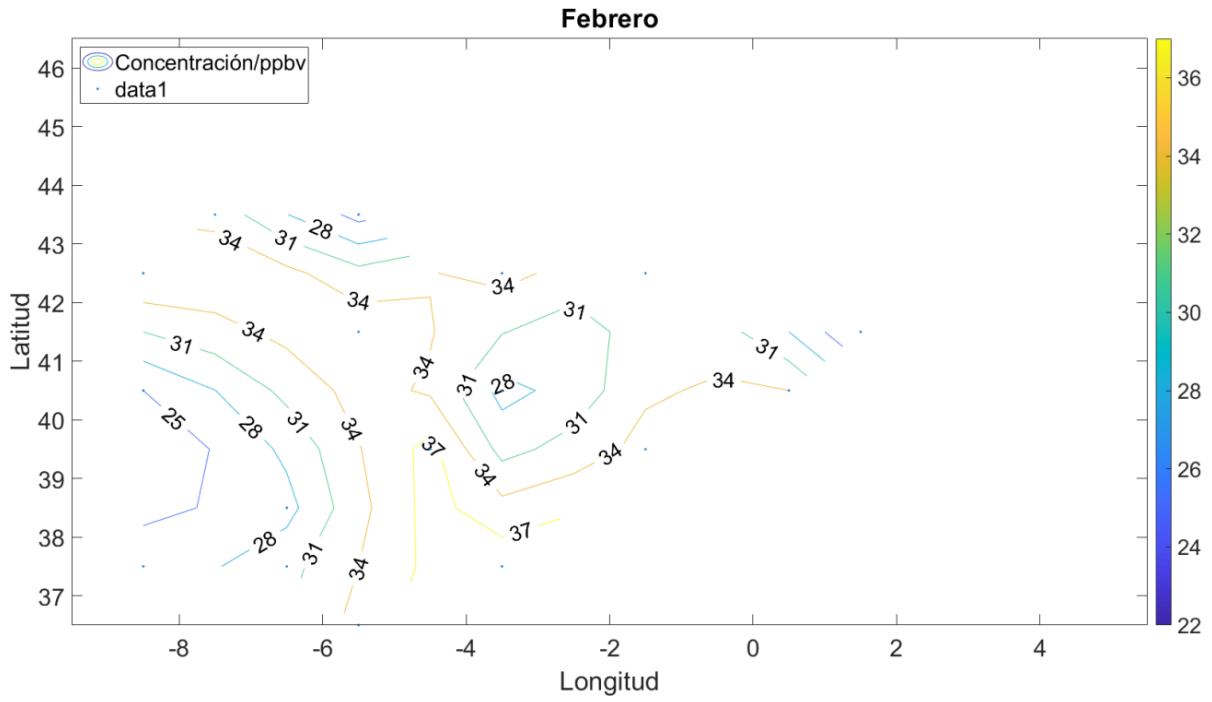
Figura 3.17: Gráfico de la concentración de ozono a lo largo del año para distintos puntos de la península ibérica.

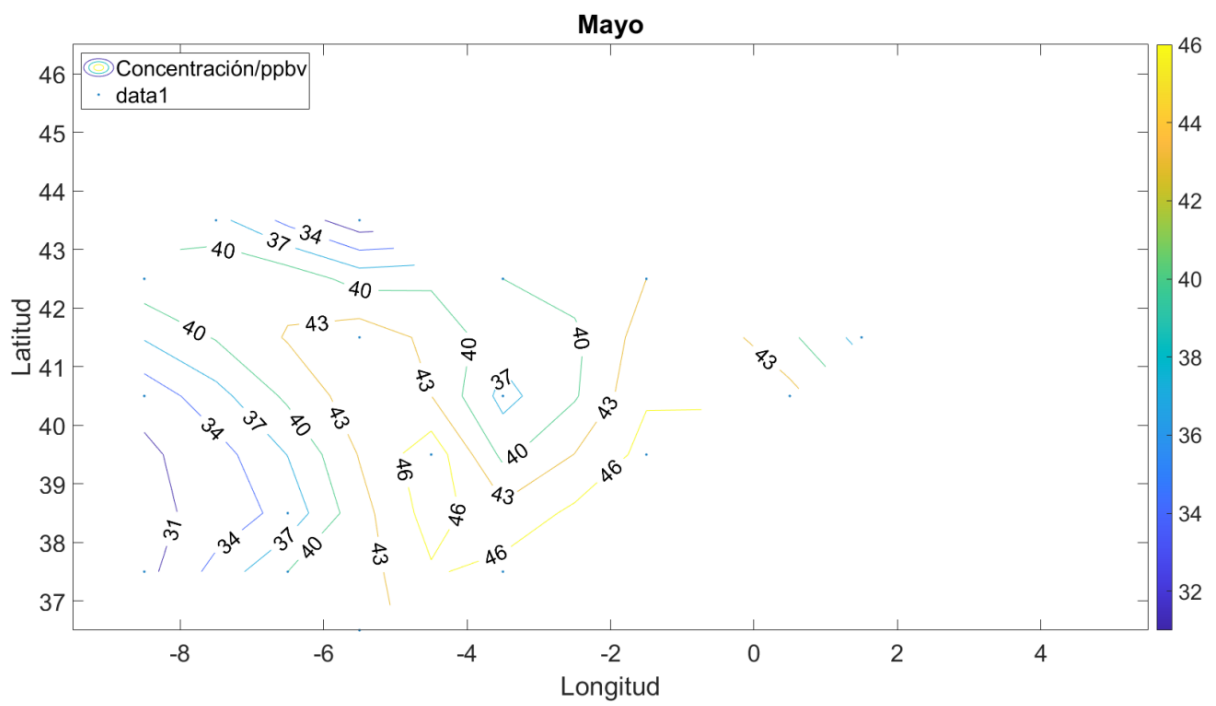
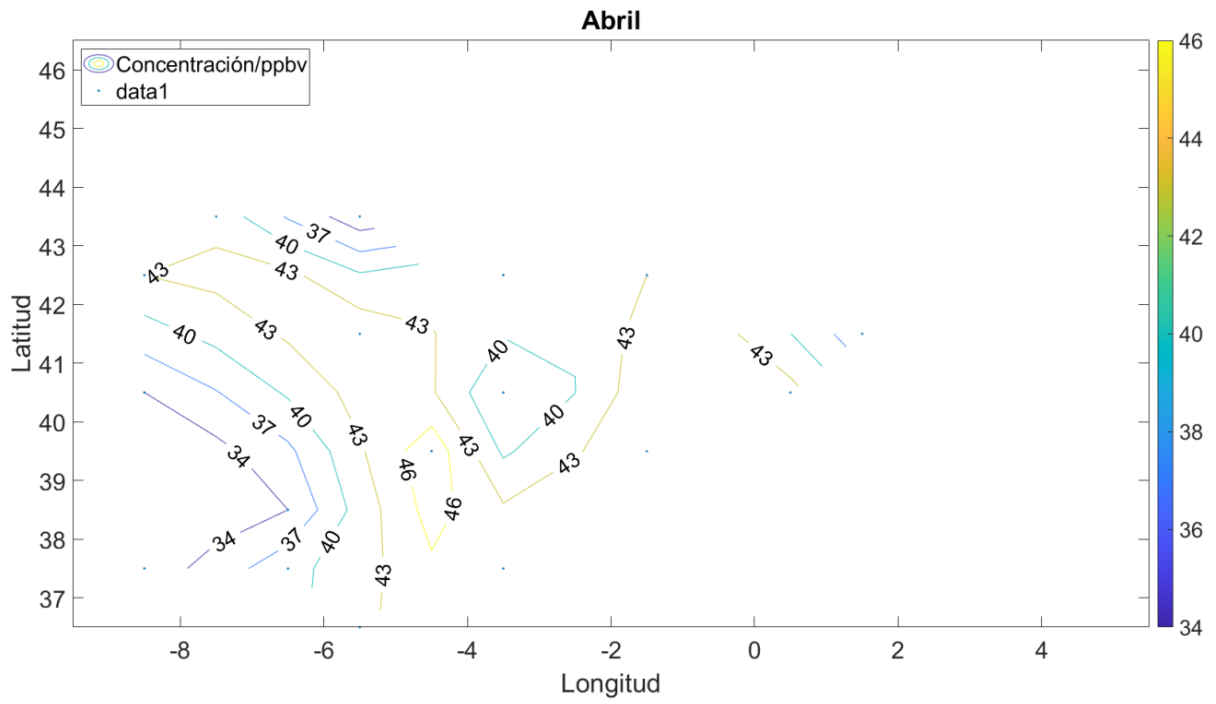
En la figura 3.17 podemos observar que aunque la mayoría de puntos siguen una evolución similar a lo visto en la figura 3.8, algunas zonas siguen una evolución distinta. También se observa cómo algunos puntos presentan siempre concentraciones relativas altas/bajas a lo largo del año.

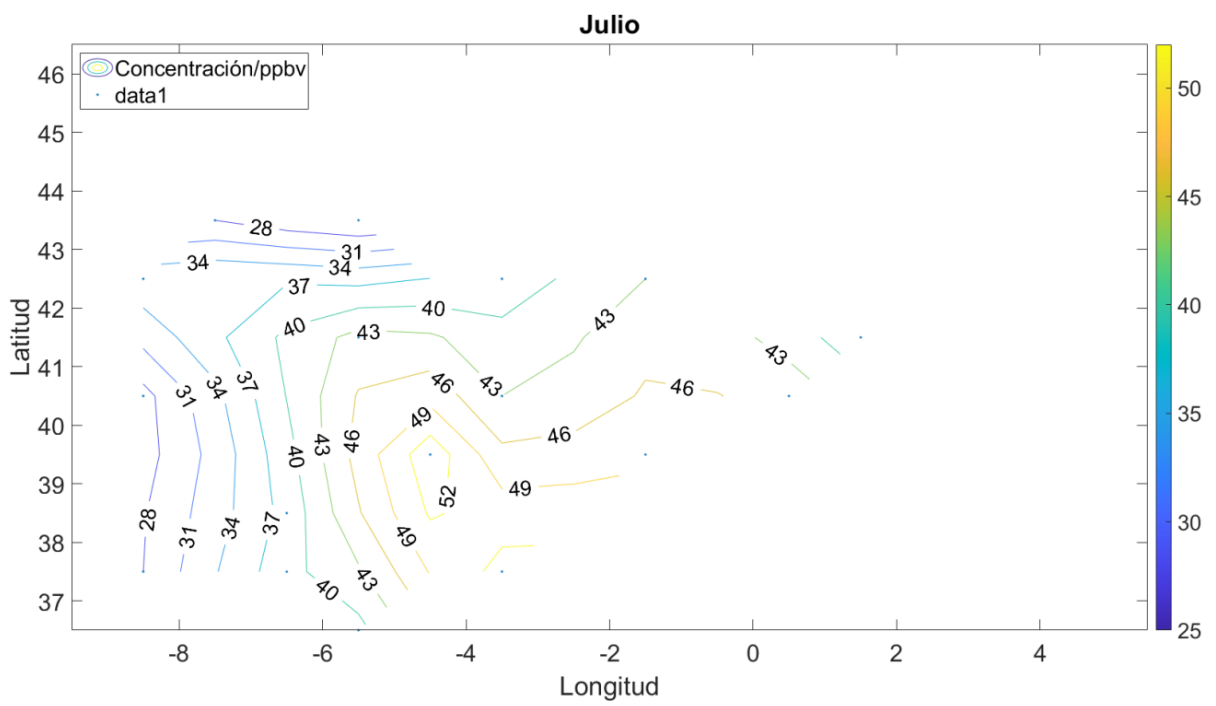
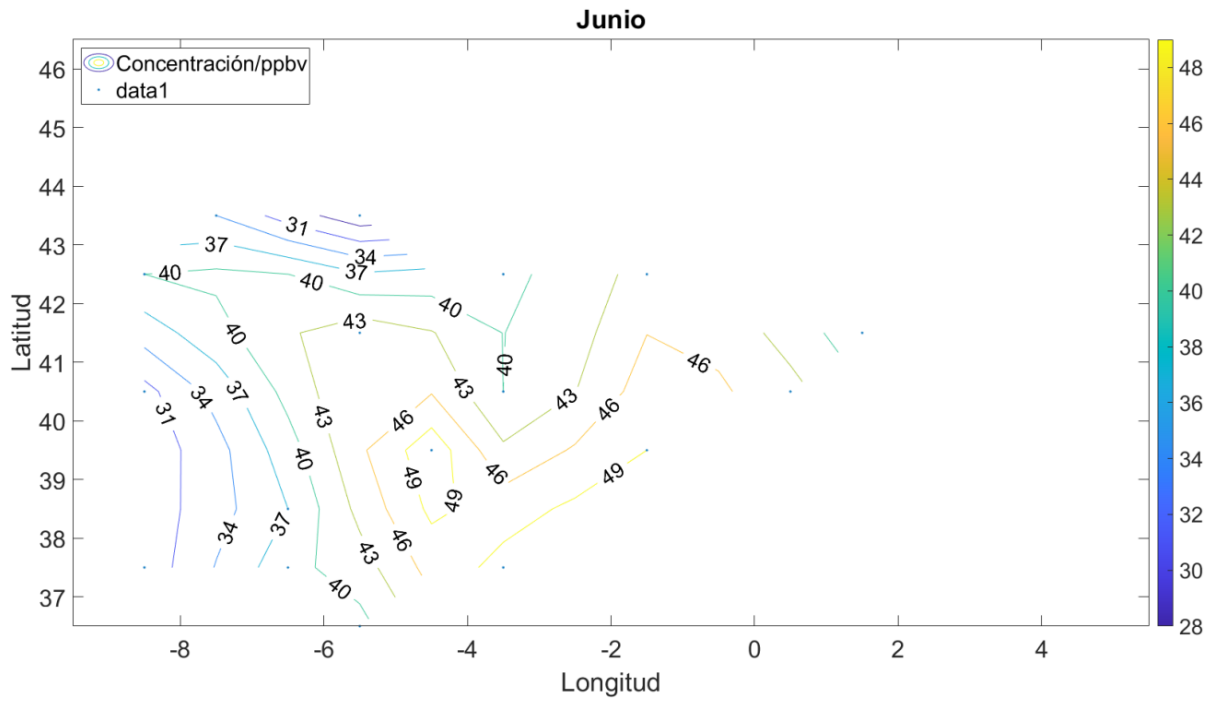
En verano los valores máximos de ozono se localizan por la zona centro-sureste, cuyos puntos además alcanzan sus máximos anuales durante el periodo junio-julio en vez de abril como se ve en la figura 3.8, y los valores mínimos se hallan en la costa atlántica. En invierno los valores máximos ahora se hallan en la zona sureste y la zona noroeste de la península y los valores mínimos en la zona noreste y la suroeste. Durante la primavera y el otoño los puntos presentan una distribución similar, siendo la mayor diferencia la concentración ya que en primavera la concentración de ozono aumenta rápidamente con el paso del tiempo y en abril de media se alcanzan máximos como se ve en la figura 3.8. Durante estas estaciones la dispersión del ozono se corresponde a una transición entre las situaciones descritas para el invierno y para el verano.

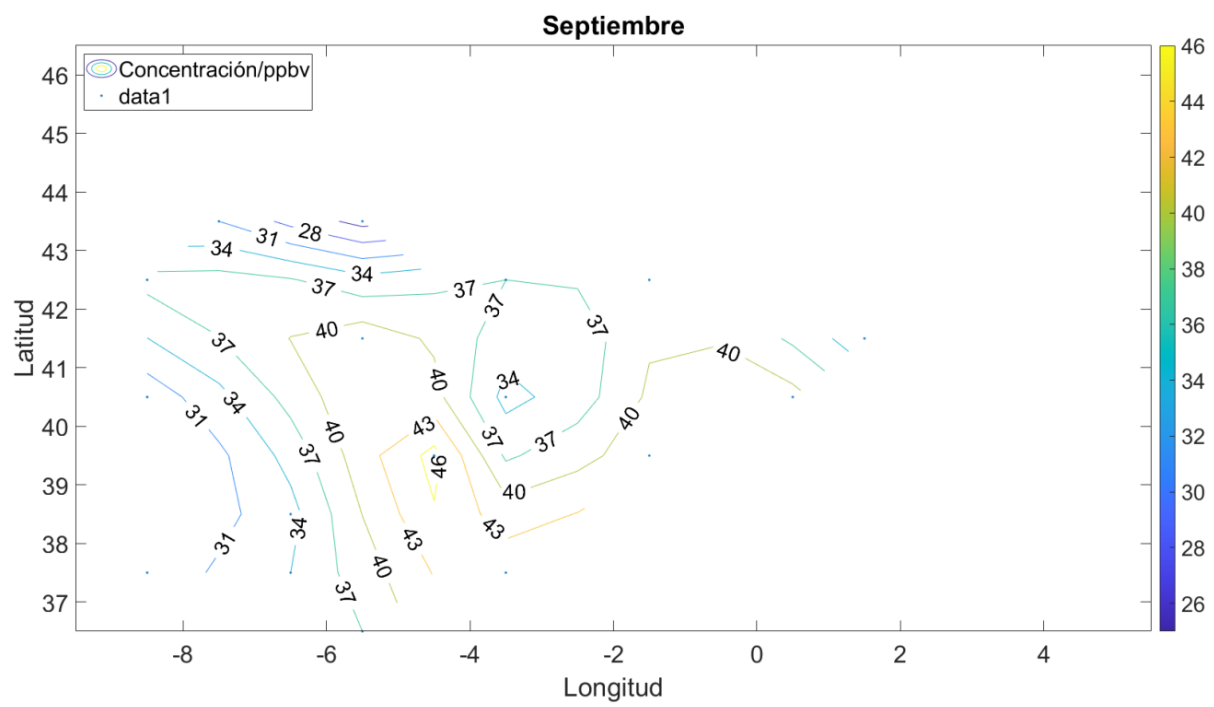
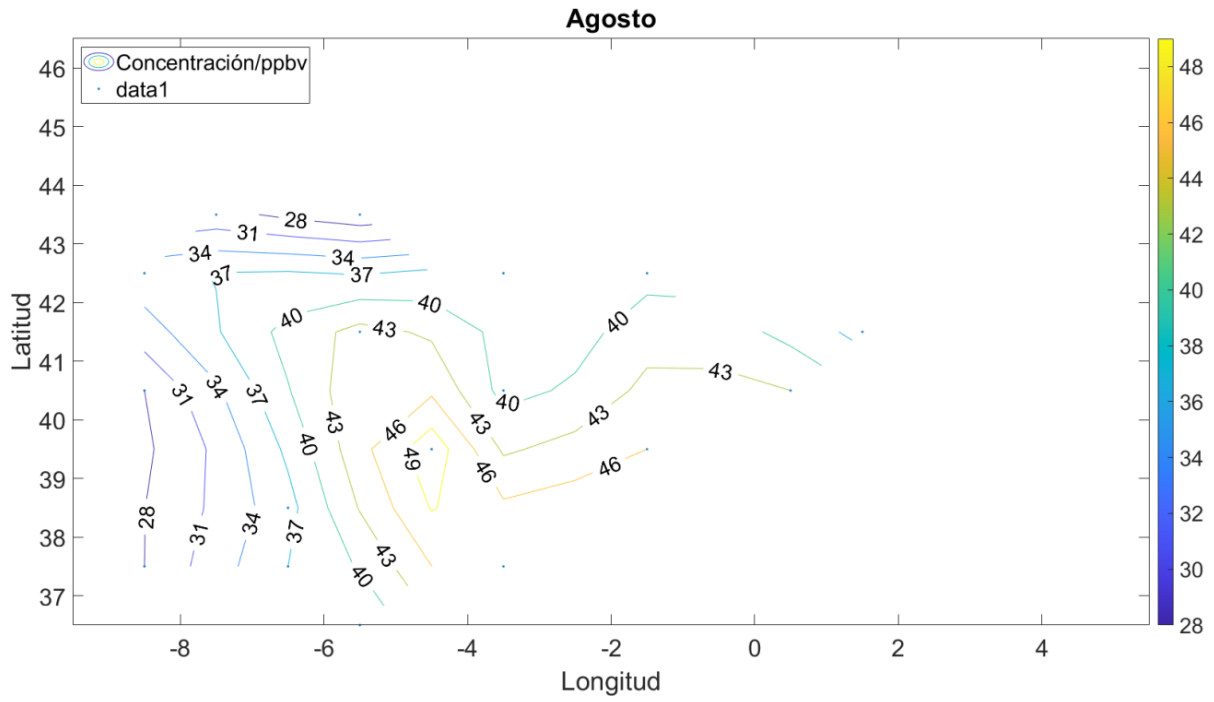
La zona sureste y la zona suroeste siguen presentado máximos y mínimos de concentración, respectivamente, pero las zonas del norte de la península presentan gradientes más pequeños en comparación a lo visto con las estaciones más extremas del año. La evolución aquí descrita se puede apreciar mejor en la figura 3.18.

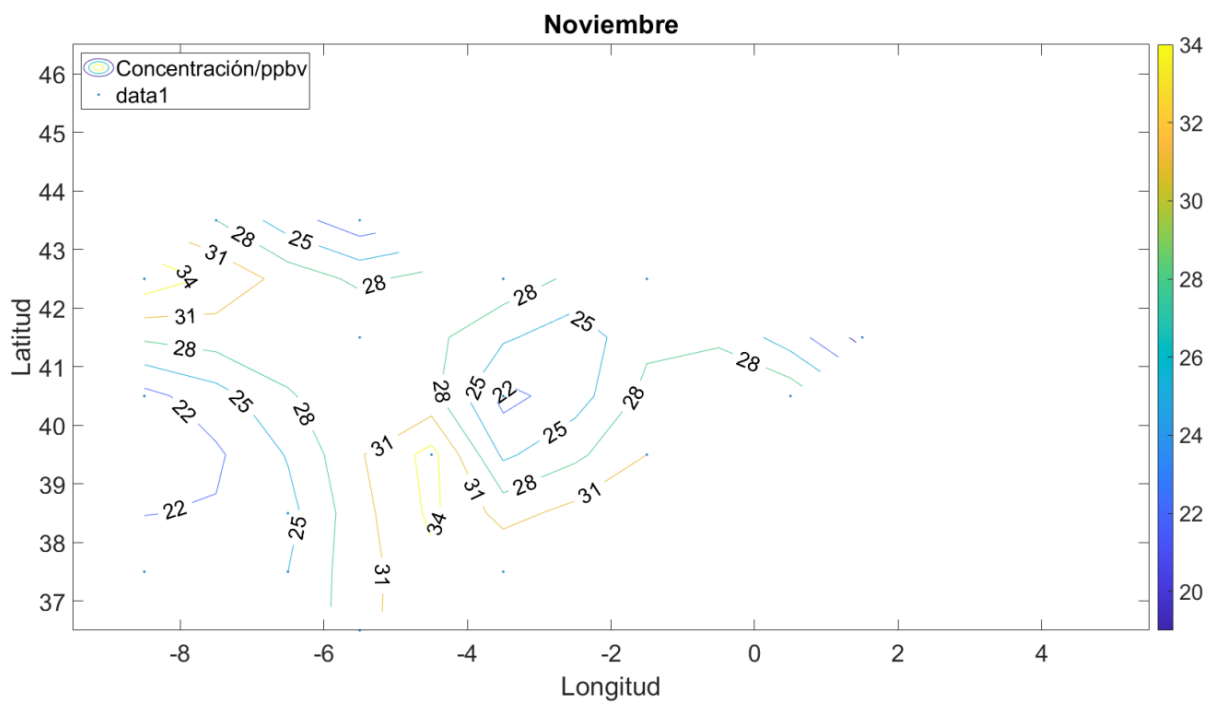
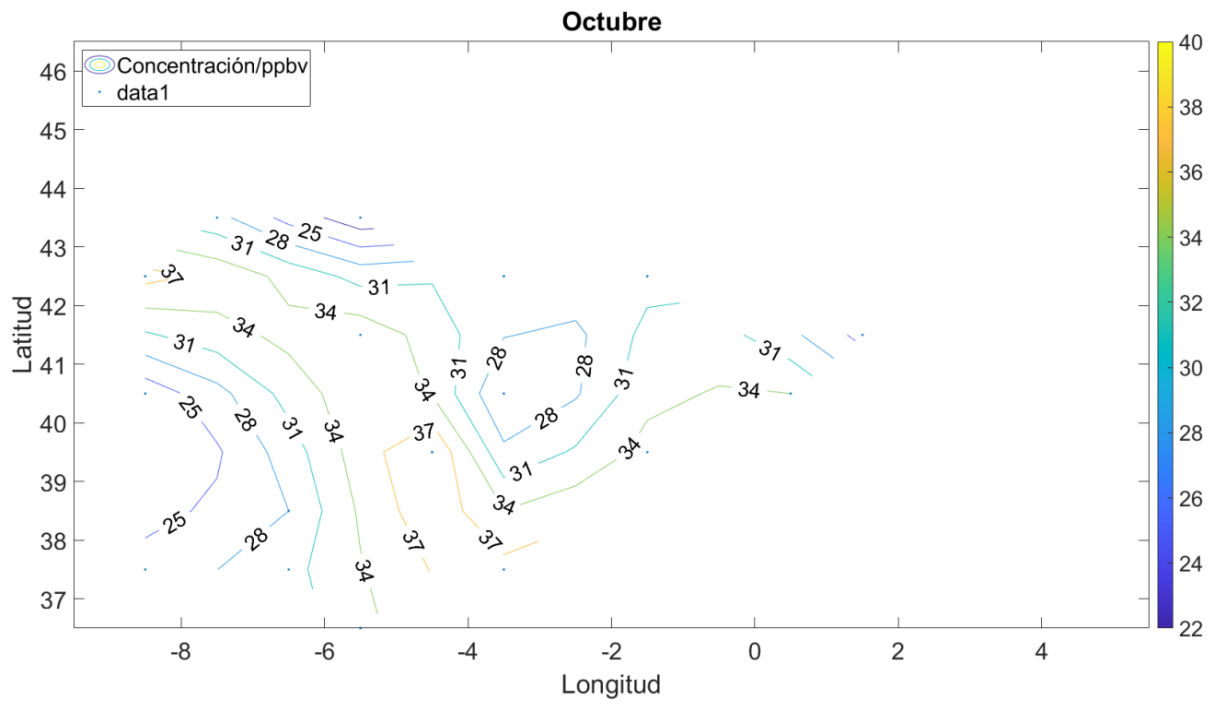












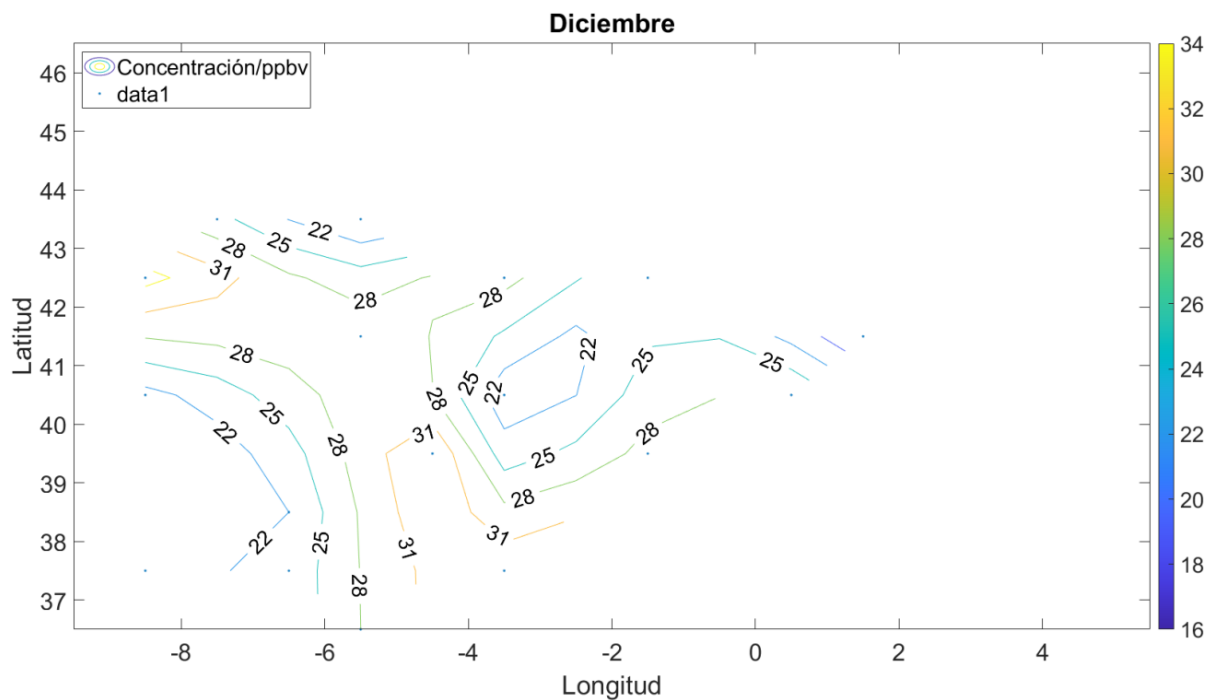
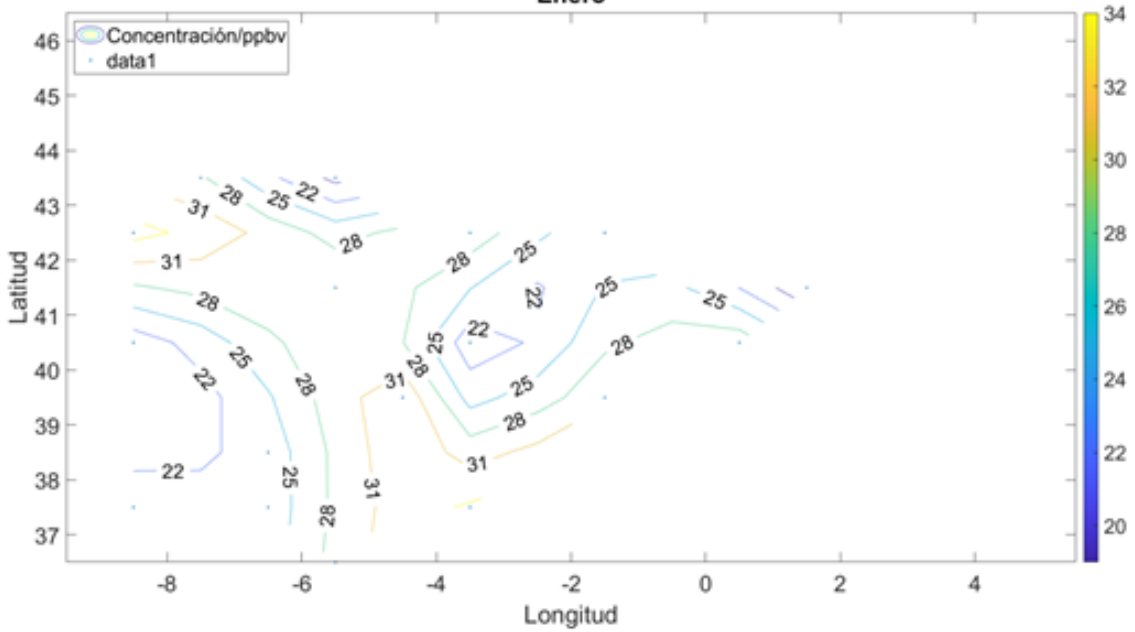
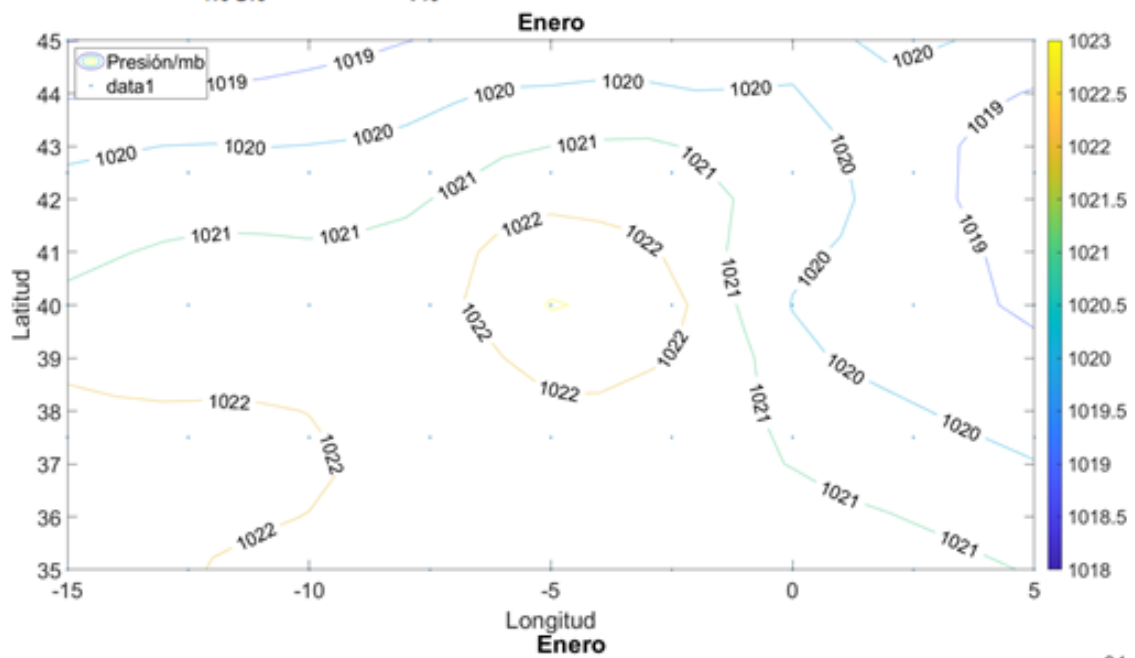
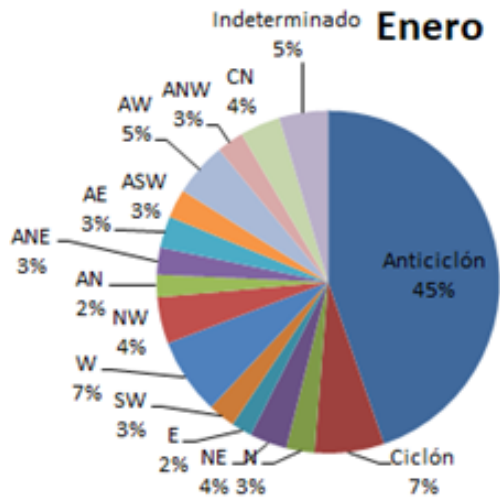


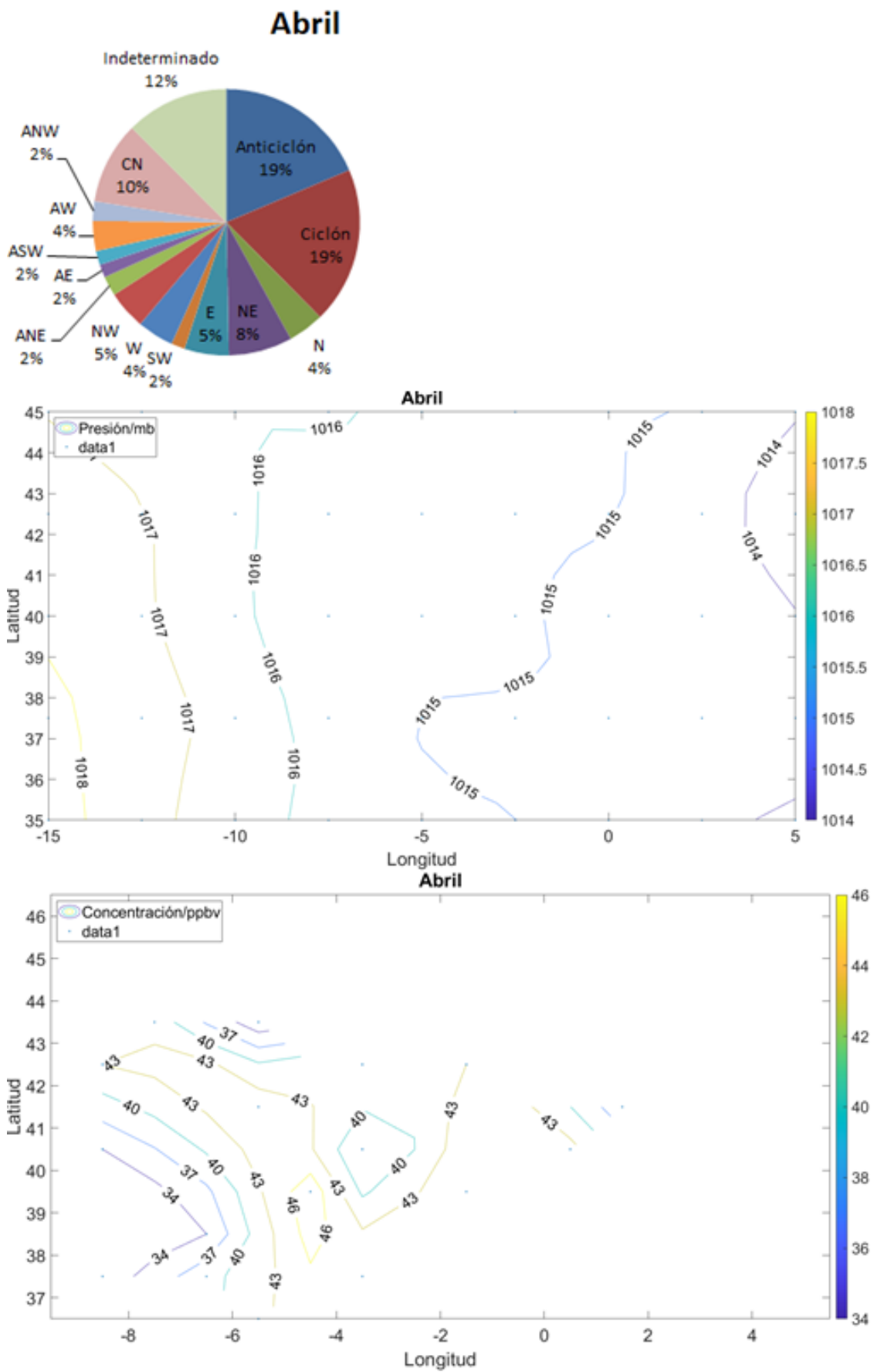
Figura 3.18: Mapas mensuales de la media de concentración del ozono en la península para los puntos indicados en las figura 3.15.

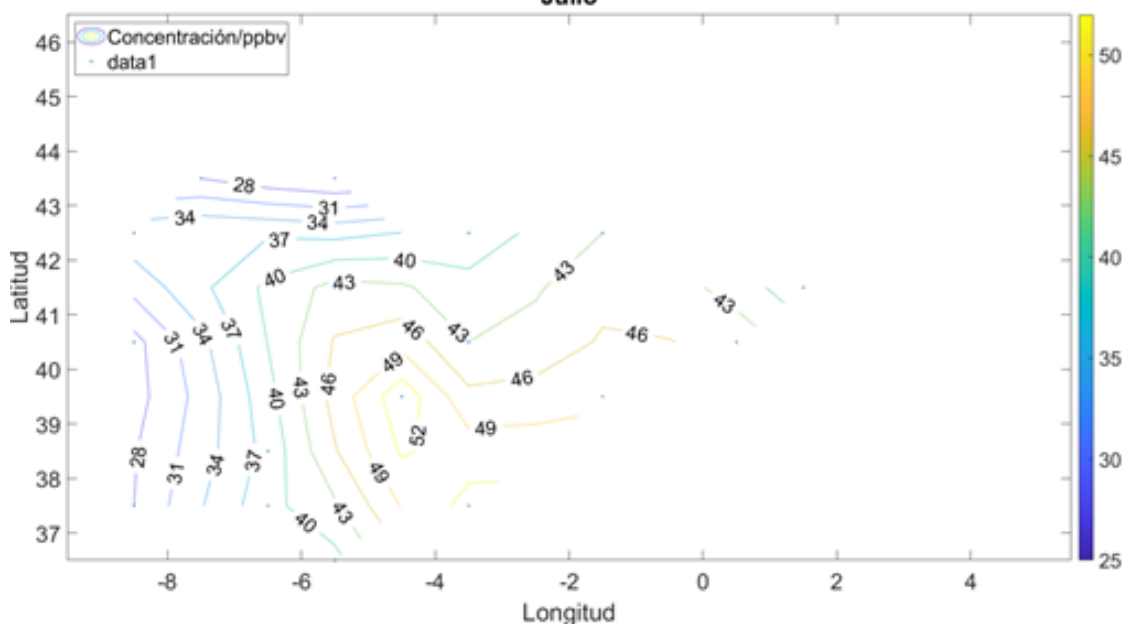
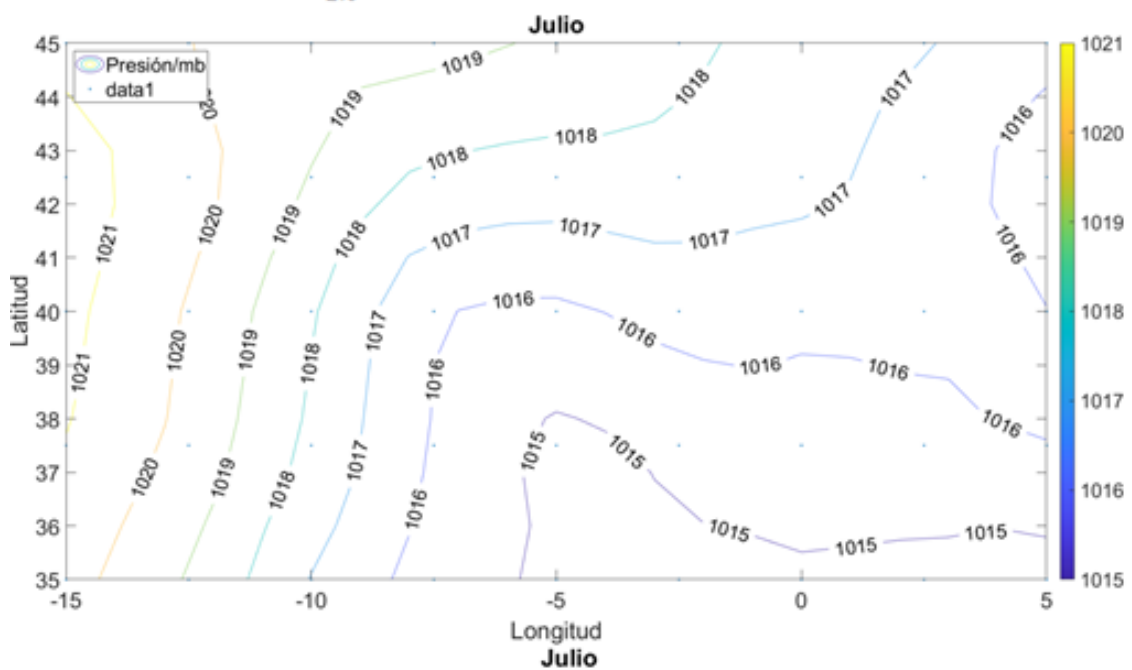
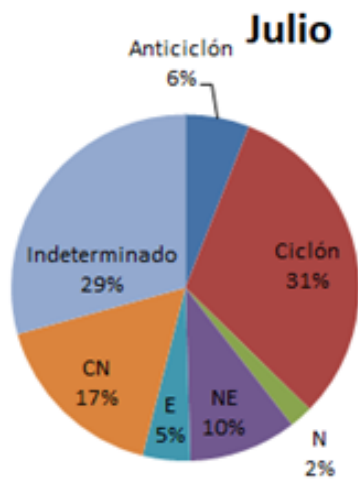
Al igual que se hizo en la sección 3.1, se han comparado los resultados obtenidos para la concentración de ozono con los de otras publicaciones para verificar su consistencia.

El punto 1 (noreste de la península) comprende de media valores entre 17 ppbv y 37 ppbv a lo largo del año, cuyos valores se ajustan bien a los mostrados en [11]. La concentración y evolución del punto 6 presenta un buen acuerdo con los datos obtenidos para Madrid en [12]. Por último para el punto 13 y la zona que lo rodea hemos obtenido resultados similares a los dados en [13].

Teniendo los mapas de la figura 3.18, asignamos a cada uno su correspondiente gráfico y mapa de isobaras (figuras 3.3 y 3.4 respectivamente). Para no reiterar demasiado en la información ya mostrada solo se volverán a poner 4 mapas, cada uno representativo de una estación.







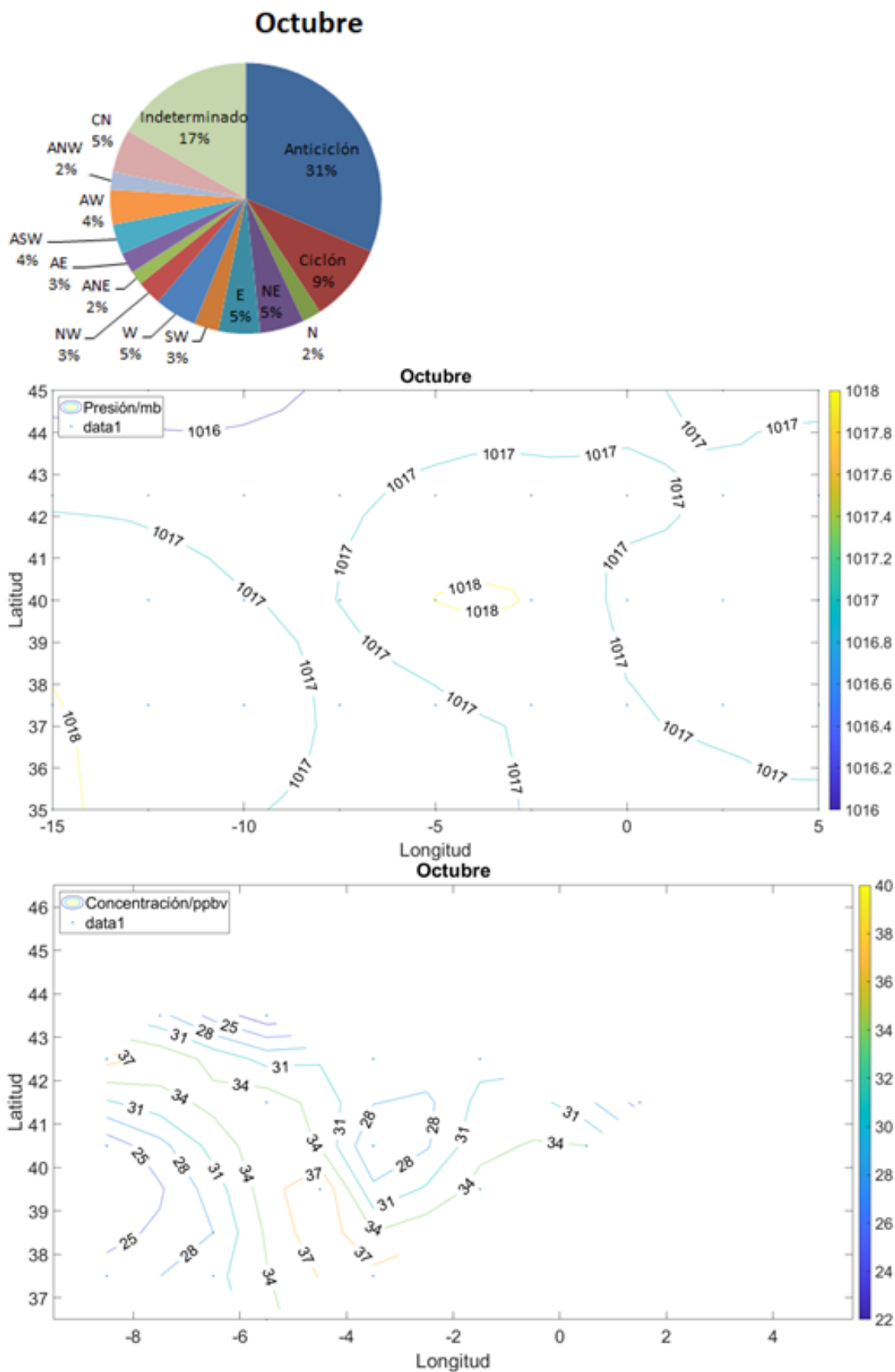


Figura 3.19: Mapas de concentración de ozono con sus respectivos mapas de isobaras.

Comparando lo que se muestra en la figura 3.19, se observa que para el mes de enero, donde se tiene una mayor componente anticiclónica, aparte de viento de componente norte-oeste, la zona cercana al núcleo del anticiclón que se ve en el mapa isobárico, localizado en el sistema Central aproximadamente, tiene un gradiente muy pequeño (observable en la falta de líneas en esa parte) y el resto de las líneas de concentración presentan aproximadamente una configuración circular alrededor de esta zona.

Para los meses de abril y octubre vemos que los mapas de concentración de ozono son muy similares, siendo la única diferencia significativa la escala, la cual está justificada en que en abril los días son más largos que en octubre. Ambos meses presentan proporciones similares en la ocurrencia de los tipos de tiempo, por lo que, el hecho de que la dispersión del ozono en ambos sea muy similar pese a ser épocas opuestas del año constituye otro ejemplo de que la circulación atmosférica influye en la dispersión de este contaminante. Los mapas de isobaras de estos 2 meses en principio son distintos pero los gradientes de presión que aparecen son pequeños lo que no supone mucha diferencia entre uno y otro. Por último, para el mes de julio vemos que la dispersión vista para el mes de enero ha sido sustituida por un gradiente oeste-este en la zona sur-suroeste y un gradiente norte-sur en la zona norte, además de que el gradiente de concentración es mayor (se ven más líneas en el mismo espacio), habiendo desaparecido la zona de igual concentración localizada en el centro de la península. En este mes en el mapa se destaca viento con una fuerte componente norte y una componente este más débil, y no se percibe componente anticiclónica en comparación a enero.

Capítulo 4

Conclusiones

Durante el desarrollo del trabajo se han tomado 2 vías para analizar los datos de la concentración de ozono a lo largo de la península ibérica, lo que nos ha dado 2 enfoques a la hora de buscar una relación entre la circulación atmosférica y la dispersión de este contaminante.

El primer enfoque consistió en buscar el efecto de patrones sinópticos concretos, de los que obtuvimos resultados para 2 tipos específicos: uno predominantemente anticiclónico y uno correspondiente a la mezcla entre el patrón ciclónico y el indeterminado. Comparando ambos resultados se observa que aunque algunas zonas mantienen concentraciones similares relativamente en ambos casos, la dispersión del ozono se modifica notablemente, visible en el cambio en la forma de las líneas (o viéndolo de otra forma, el cambio en la dirección y el tamaño de las flechas de gradiente) y en la uniformidad de estas.

El segundo enfoque consistió en ver cómo evolucionaba de media el ozono a lo largo del año y a partir de los resultados relacionarlo con la variación de la frecuencia de los tipos sinópticos para los distintos meses. Comparando los resultados se apreció cómo influye la circulación atmosférica en la dispersión del ozono, viéndose que para los meses de enero y julio, cuya proporción de patrones sinópticos es muy distinta, la dispersión del ozono también cambia mucho. Sin embargo, en contraste a estos 2, los meses de abril y octubre, que presentan proporciones similares, sus mapas de dispersión de ozono también son muy similares.

En ambos enfoques hemos llegado a resultados similares. Aunque hay zonas que tienden a tener concentraciones altas o bajas independientemente del tiempo, estos cambios notorios en el gradiente de concentración de ozono nos muestran que las condiciones atmosféricas juegan un papel fundamental en cómo se dispersa el ozono por la península ibérica.

Un ejemplo de esto es lo que se ha visto en los resultados para invierno y verano. En invierno, temporada en la que la presencia anticiclónica es la predominante, la concentración de ozono presenta menor gradiente en general y es más irregular, con más zonas grandes relativamente con la misma concentración aproximadamente (aunque también aparecen más extremos en la concentración en determinados puntos). Por contraste, en verano, donde la presencia anticiclónica es sustituida por patrones indeterminados y bajas térmicas, y se tiene de media un viento de componente norte-este, la dispersión del ozono

es más regular, habiendo distancias más uniformes entre las líneas de concentración de los mapas y siendo los cambios en la dirección de las líneas más suaves (flechas de gradiente de tamaños similares en zonas próximas y apuntando en direcciones similares). Además, en general, los gradientes en la concentración de ozono son mayores.

Dicho todo esto de otra forma, vemos que los anticiclones van a tender a producir una mayor dispersión del ozono, lo que explicaría el menor gradiente en estas situaciones, al estar el ozono más disperso las concentraciones serían más parecidas entre unos puntos y otros. Por el contrario, la situación estival, caracterizada por vientos débiles en general (reflejado en el gran aumento de situaciones indeterminadas durante esta época del año) junto a las bajas térmicas, que producen viento hacia el interior de la península, donde se localiza el máximo principal de la concentración de ozono; es lo que produciría el aumento del gradiente de esta época, al no favorecerse la dispersión del ozono desde la zona central, donde la concentración es máxima.

Estos resultados son importantes porque del ozono troposférico se conocen sus efectos sobre la salud humana y el medio ambiente como se menciona en la introducción, y de cara al futuro predecir cómo evolucionaría la concentración del ozono puede ser útil para prevenir sus efectos dañinos.

Bibliografía

- [1] URL: <https://es.wikipedia.org/wiki/Ozono> (vid. pág. 2).
- [2] Christel Prudhomme Ole Einar Tveito Radan Huth Andreas Philipp Piia Post Massimiliano Pasqui Pere Esteban Christoph Beck Matthias Demuzere. *COST Action 733 Harmonization and Application of Weather Type Classifications for European Regions*. Junio 2016 (vid. págs. 2, 6, 11).
- [3] Web de la base de datos donde se han obtenido los datos de presión atmosférica. URL: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.surface.html> (vid. págs. 3, 4, 51).
- [4] Web con el enlace para descargar los datos de concentración de ozono utilizados. URL: <https://essd.copernicus.org/articles/8/41/2016/essd-8-41-2016-assets.html> (vid. págs. 3, 9).
- [5] G.Alomar J.Martín-Vide C.Moreno-García M.Grimalt M.Tomás. *Determination of the Jenkinson and Collison's weather types for the western Mediterranean basin over the 1948-2009 period. Temporal analysis*. 13 de Agosto 2012 (vid. págs. 6, 7, 21).
- [6] J.Martin-Vide J.R.Miró N.Pepin J.C.Peña. *Daily atmospheric circulation patterns for Catalonia (northeast Iberian Peninsula) using a modified version of Jenkinson and Collison method*. 6 de Septiembre 2019 (vid. págs. 6, 7, 21, 22).
- [7] URL: https://es.wikipedia.org/wiki/Viento_geostr%C3%B3fico (vid. pág. 8).
- [8] Greg spellman. *The application of an objective weathertyping system to the Iberian peninsula*. Octubre 2000 (vid. págs. 21, 22).
- [9] Nicola Cortesi Alexandre M. Ramos y Ricardo M. Trigo. *Circulation weather types and spatial variability of daily precipitation in the iberian peninsula*. 13 de Octubre 2014 (vid. pág. 22).
- [10] URL: <https://www.maps.ie/coordinates.html> (vid. pág. 35).
- [11] Jose G. Sole Jose A. Adame. *Surface ozone variations at a rural area in the northeast of the Iberian Peninsula*. 6 de Febrero 2013 (vid. pág. 42).
- [12] Arturo Sanchez-Lorezno María Teresa Zarrabeitia Ana Santurtún José Carlos González-Hidalgo. *Surface ozone concentration trends and its relationship with weather types in Spain*. 4 de Noviembre 2014 (vid. pág. 42).
- [13] Benito A. de la Morena Jose A. Adame Carnero Juan P. Bolívar. *Surface ozone measurements in the southwest of the Iberian Peninsula (Huelva, Spain)*. 20 de Junio 2009 (vid. pág. 42).
- [14] M.Saliba E.D.Sofen D.Bowdalo M.J.Evans F.Apadula P.Bonasoni M.Cupeiro R.Ellul I.E.Galbally R.Girgzdiene S.Luppo M.Mimouni A.C.Nahas y K.Tørseth. *Gridded global surface ozone metrics for atmospheric chemistry model evaluation*. 11 de Febrero 2016.

Glosario de figuras

- Figura 2.1: Ficheros con datos de presión atmosférica escogidos de la lista de [3].
- Figura 2.2: Indicación de los archivos específicos que fueron descargados dentro de los escogidos.
- Figura 2.3: Localización de los datos de presión atmosférica utilizados en el archivo NC.
- Figura 2.4: Localización de la tabla con datos numéricos dentro de la sección del archivo indicada.
- Figura 2.5: Mapa de los puntos tomados.
- Figura 2.6: Esquema del viento geostrófico.
- Figura 2.7: Enlace a la página con el catálogo de medidas de la concentración de ozono.
- Figura 2.8: Archivos con las medidas de la concentración de ozono usados.
- Figura 2.9: Localización de los datos de concentración de ozono utilizados en el archivo NC.
- Figura 3.1: Esquema de la disposición de isobaras de distintos tipos sinópticos en un caso ideal.
- Figura 3.2: Frecuencia absoluta por mes de cada tipo sinóptico en el periodo de estudio.
- Figura 3.3: Frecuencia relativa (en %) por mes de cada tipo sinóptico en el periodo de estudio.
- Figura 3.4: Mapas isobáricos con la presión media de cada mes en el periodo de estudio.
- Figura 3.5: Gráficos de la evolución en la proporción de los tipos de tiempo a lo largo del año.
- Figura 3.6: Contribución (en %) a las precipitaciones de cada tipo de tiempo.
- Figura 3.7: Evolución interanual de la concentración media de ozono.
- Figura 3.8: Evolución mensual de la concentración media de ozono.
- Figura 3.9: Ejemplos representativos de las situaciones elegidas para el invierno.

- Figura 3.10: Ejemplos representativos de las situaciones escogidas para el verano y finales de primavera.
- Figura 3.11: Mapa de la concentración media de ozono en invierno.
- Figura 3.12: Mapa de la concentración media de ozono a finales de primavera y durante el verano.
- Figura 3.13: Mapas de la concentración media de ozono para invierno y verano resaltando los extremos.
- Figura 3.14: Mapas de la concentración media de ozono para invierno y verano dibujando el gradiente.
- Figura 3.15: Coordenadas de los puntos escogidos en la sección 3.2.2 y su nomenclatura.
- Figura 3.16: Mapa de la península ibérica marcando la localización de los puntos.
- Figura 3.17: Evolución media intraanual de la concentración de ozono de los puntos escogidos.
- Figura 3.18: Mapas de la concentración media de ozono de cada mes para los puntos elegidos.
- Figura 3.19: Mapas de la concentración media de ozono junto a sus respectivos mapas isobáricos.

Apéndice A

Código

Código usado para dibujar los mapas de isobaras:

```
data = load('Archivo con datos');  
x = -15 : 1 : 5; y = 35 : 1 : 45;  
[XI, YI] = meshgrid(x, y);  
ZI = griddata(data(:, 1), data(:, 2), data(:, 3), XI, YI, 'cubic');  
min(data(:, 3))  
max(data(:, 3))  
v = 996 : 1 : 1038;  
[c, h] = contour(XI, YI, ZI, v);  
clabel(c, h)  
hold on  
plot(data(:, 1), data(:, 2), 'o')  
hold off
```

Código para los mapas de concentración de ozono:

```
data = load('Archivo con datos');  
x = -9,5 : 1 : 5,5; y = 36,5 : 1 : 46,5;  
[XI, YI] = meshgrid(x, y);  
ZI = griddata(data(:, 1), data(:, 2), data(:, 3), XI, YI, 'cubic');  
min(data(:, 3))  
max(data(:, 3))  
v = 10 : 3 : 55;  
[c, h] = contour(XI, YI, ZI, v);  
clabel(c, h)  
hold on  
plot(data(:, 1), data(:, 2), 'o')  
hold off
```

Código extra para modificar los gráficos:

```
clabel(c, h, 'FontSize', 21)  
xlabel('Longitud')  
ylabel('Latitud')  
set(gca, 'FontSize', 24)  
legend({'Variable/Unidades'}, 'Location', 'northwest')
```

Código extra para dibujar el gradiente:

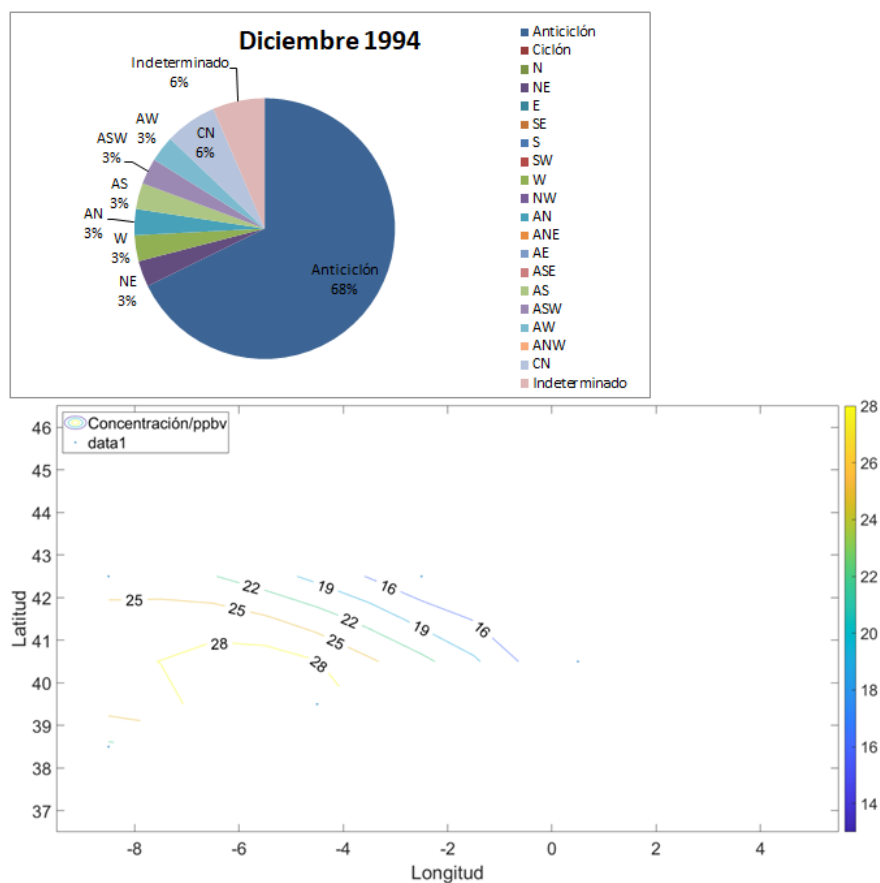
```
[px, py] = gradient(ZI);  
hold on  
quiver(x, y, px, py)  
hold off
```

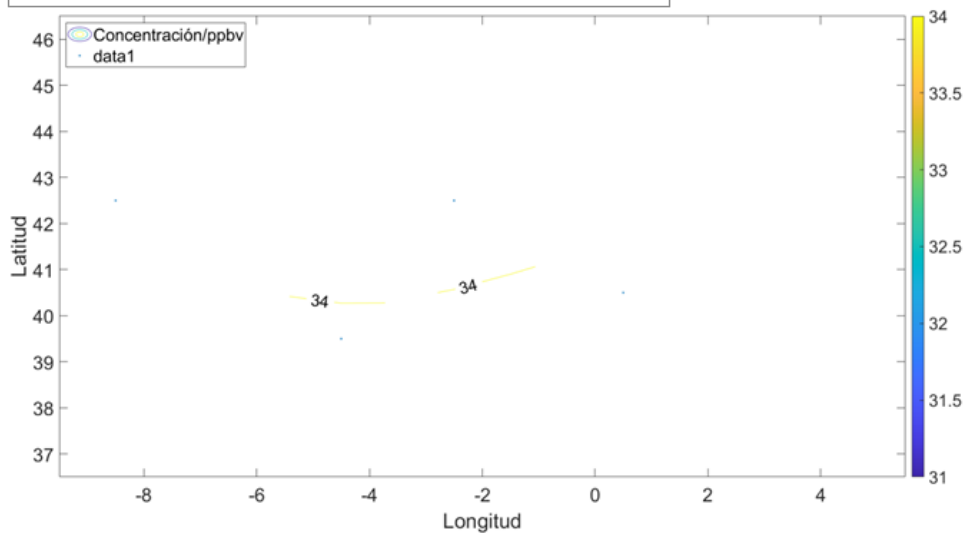
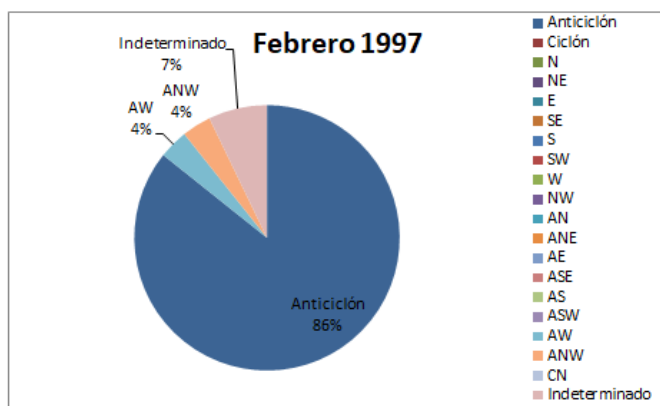
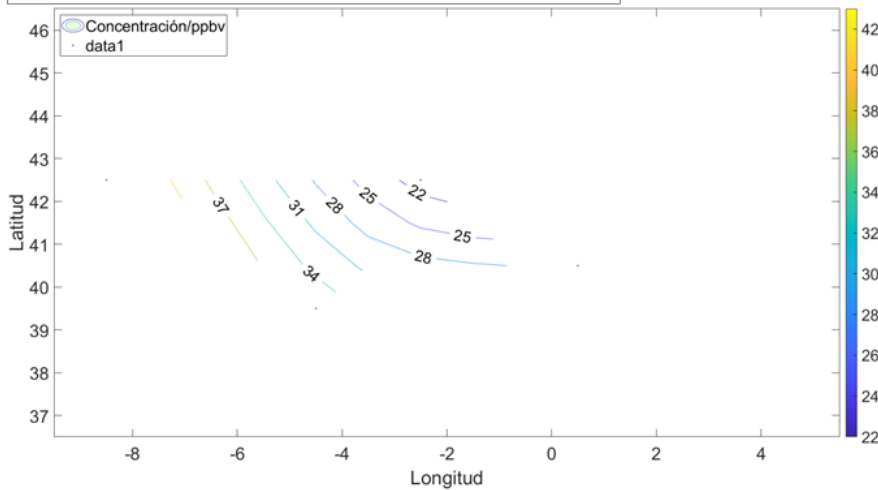
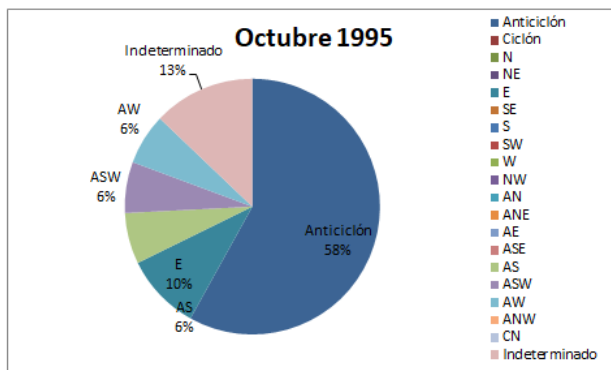
Apéndice B

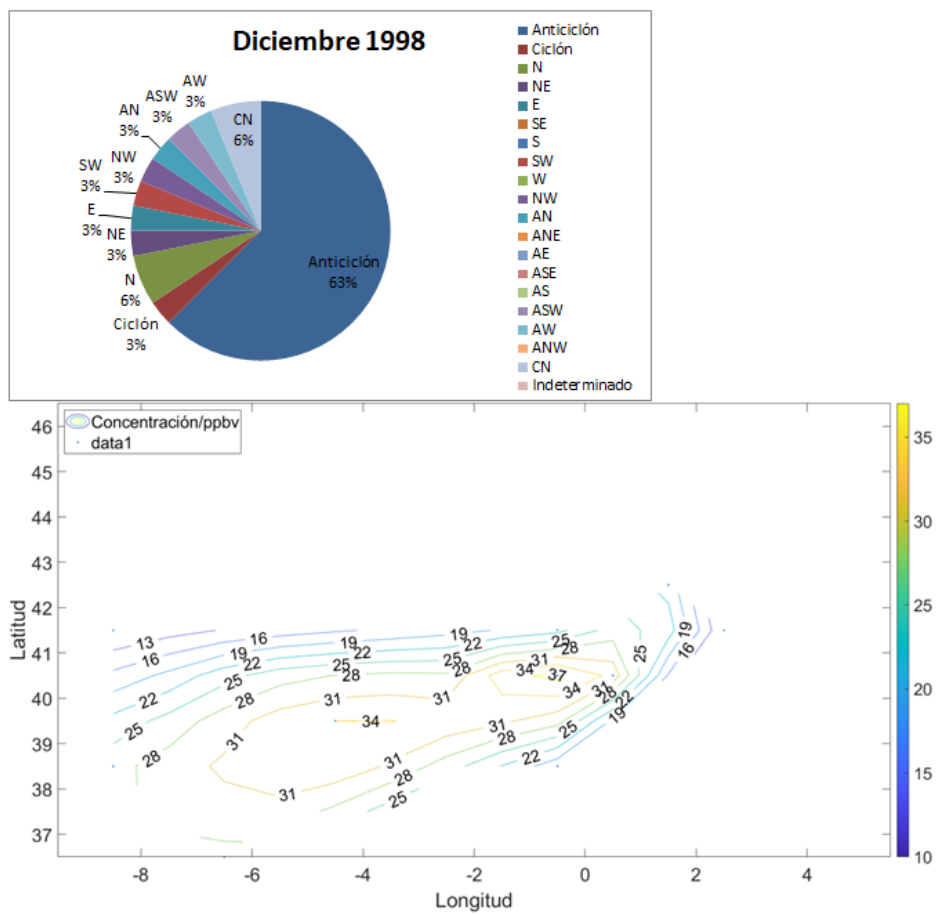
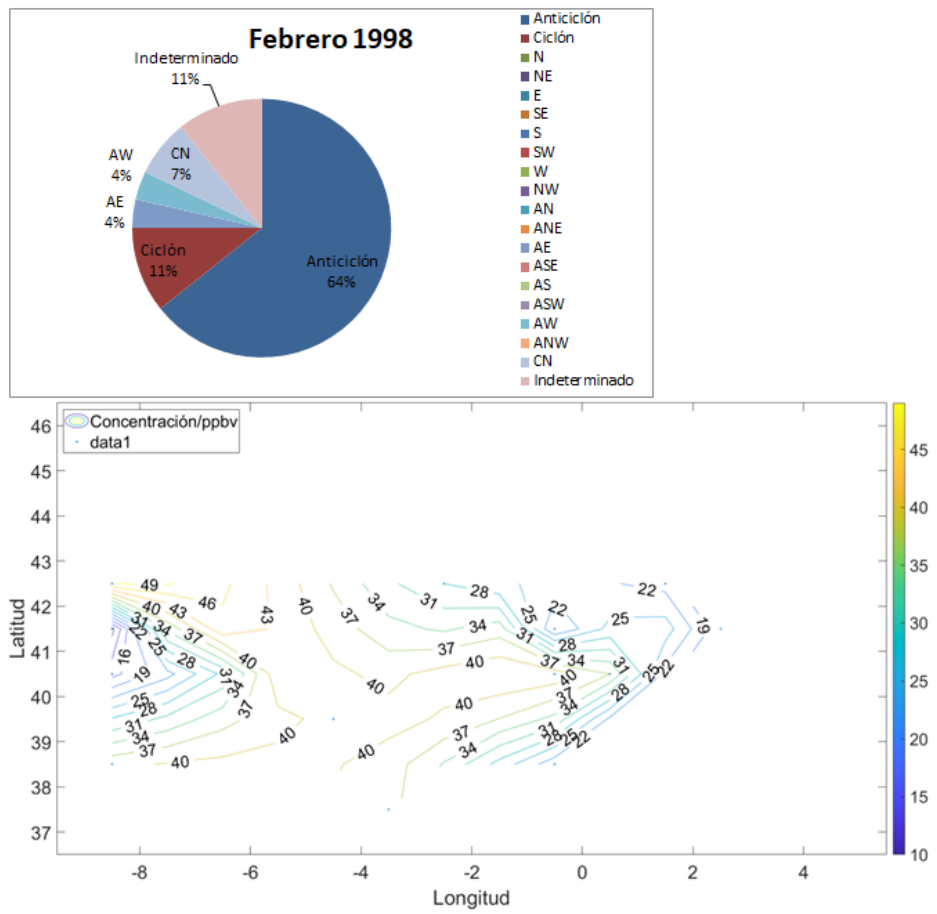
Mapas de concentración de ozono

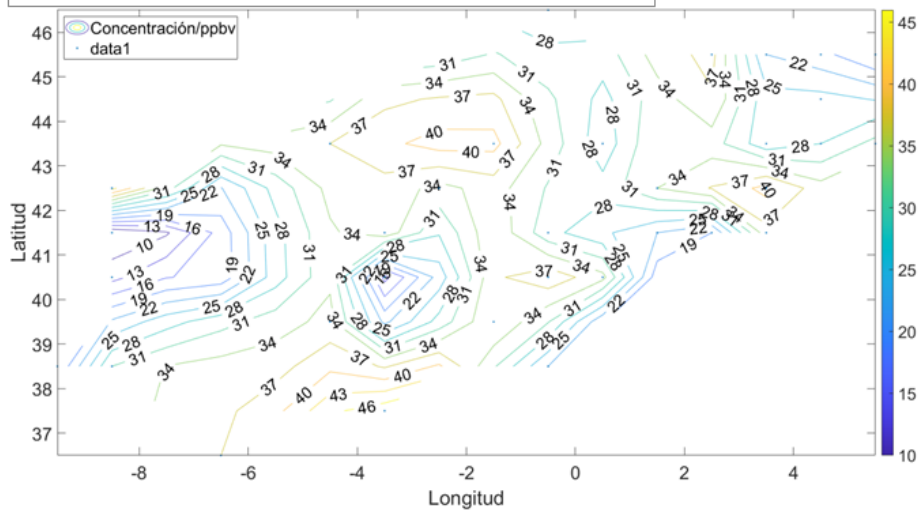
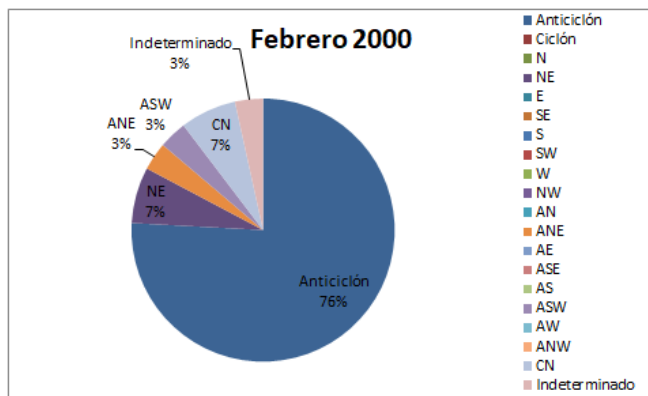
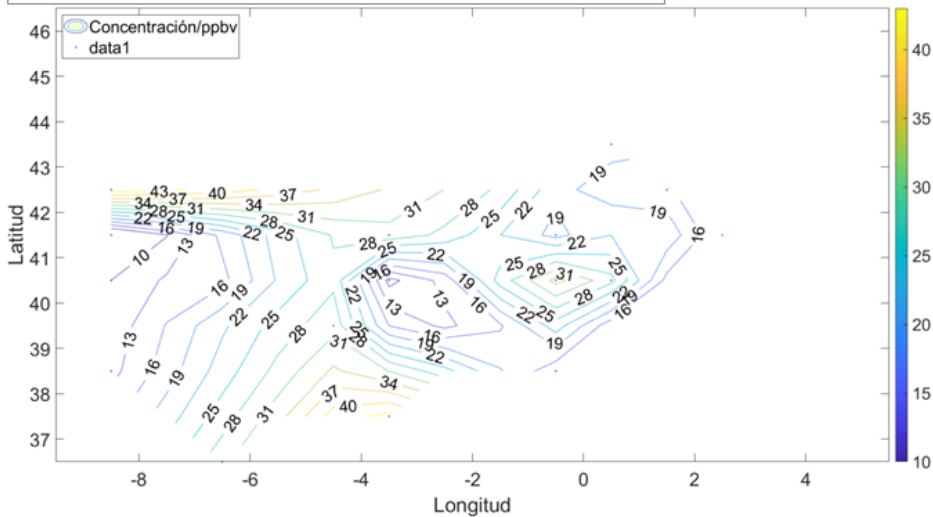
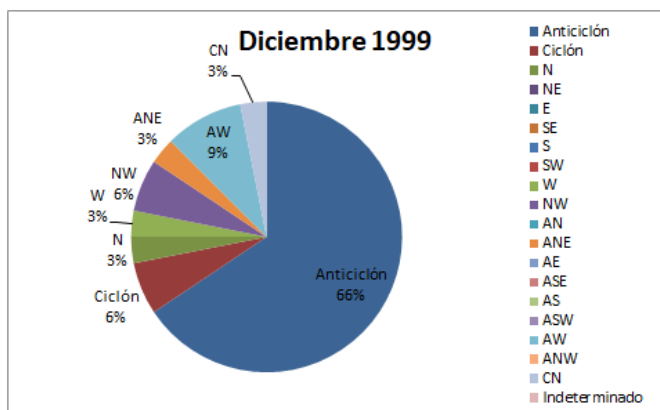
Aquí se muestran los mapas no incluidos en el capítulo 3, sección 2.

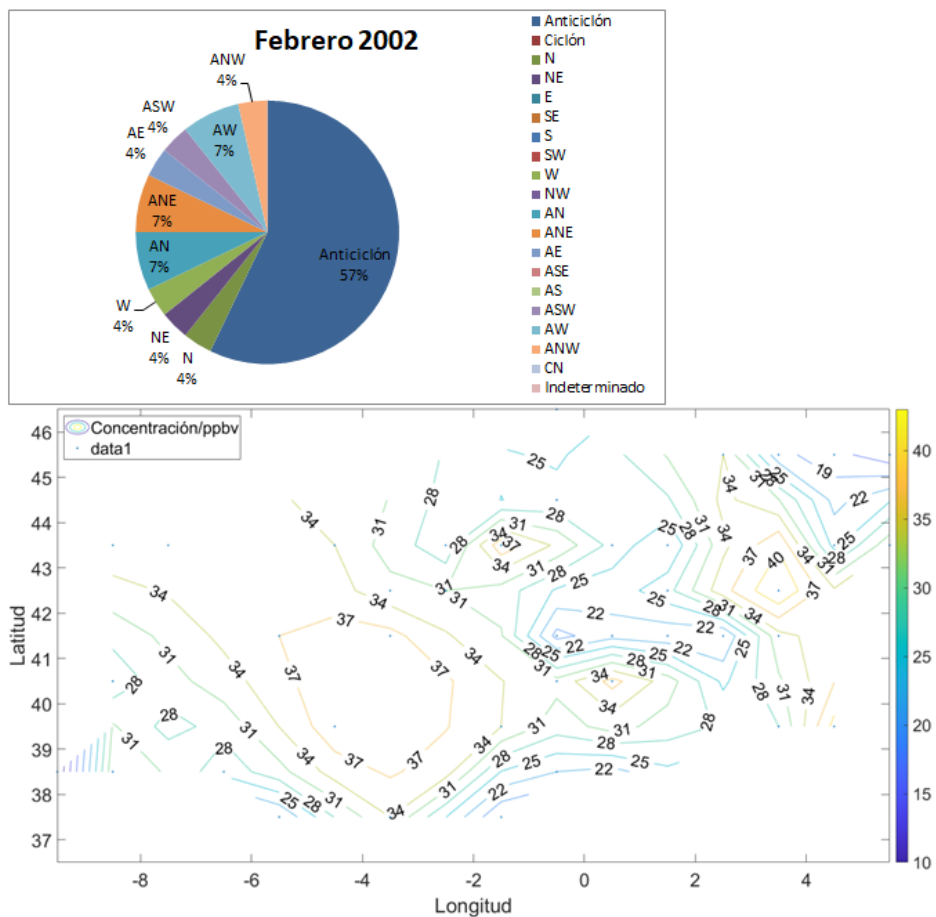
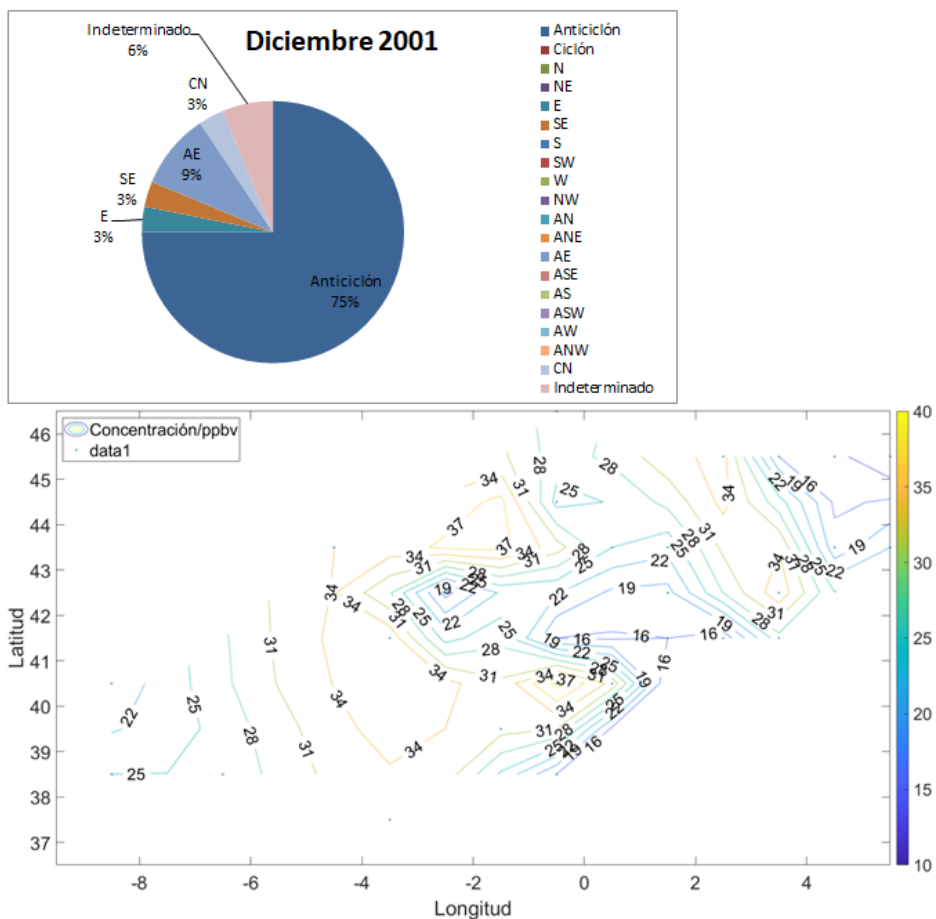
B.1. Anticiclón

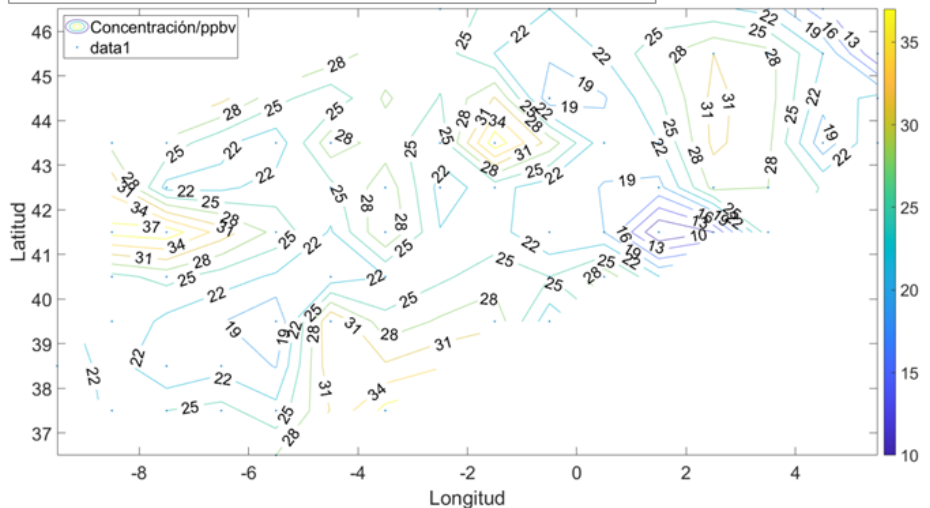
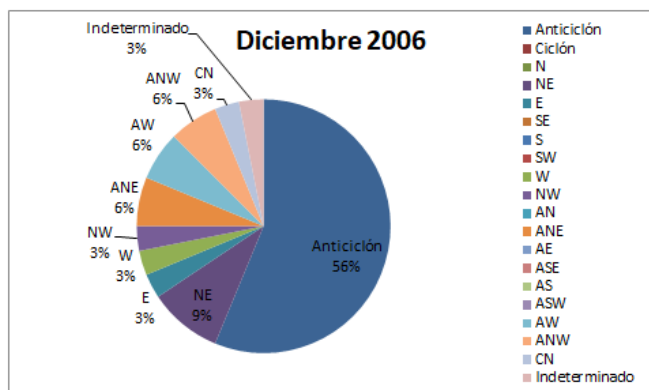
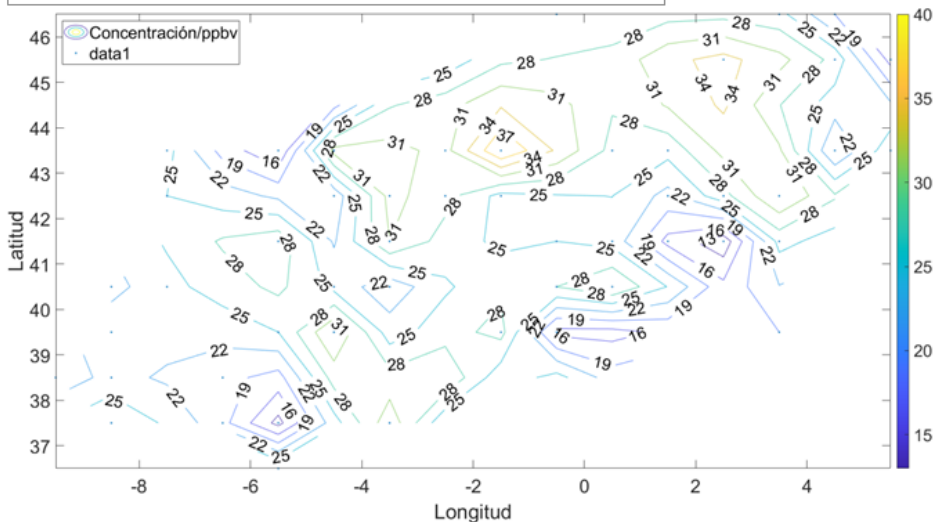
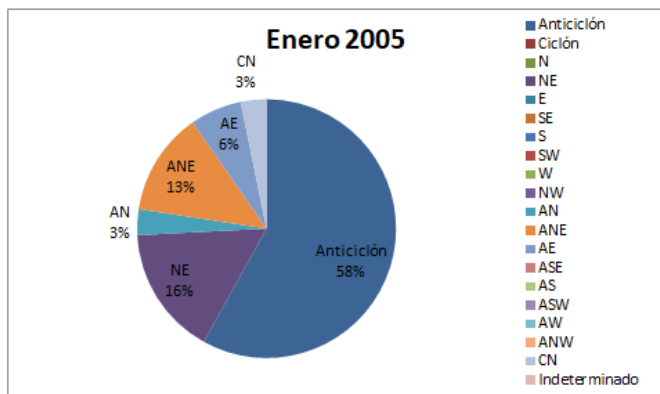


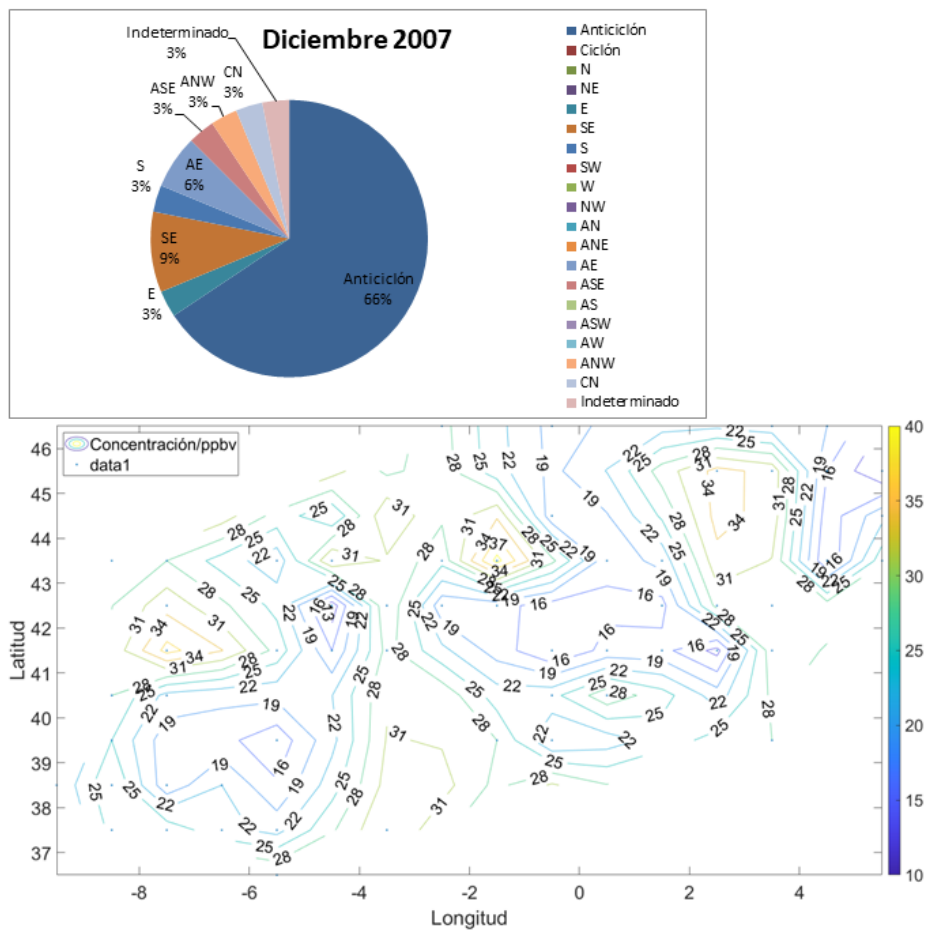


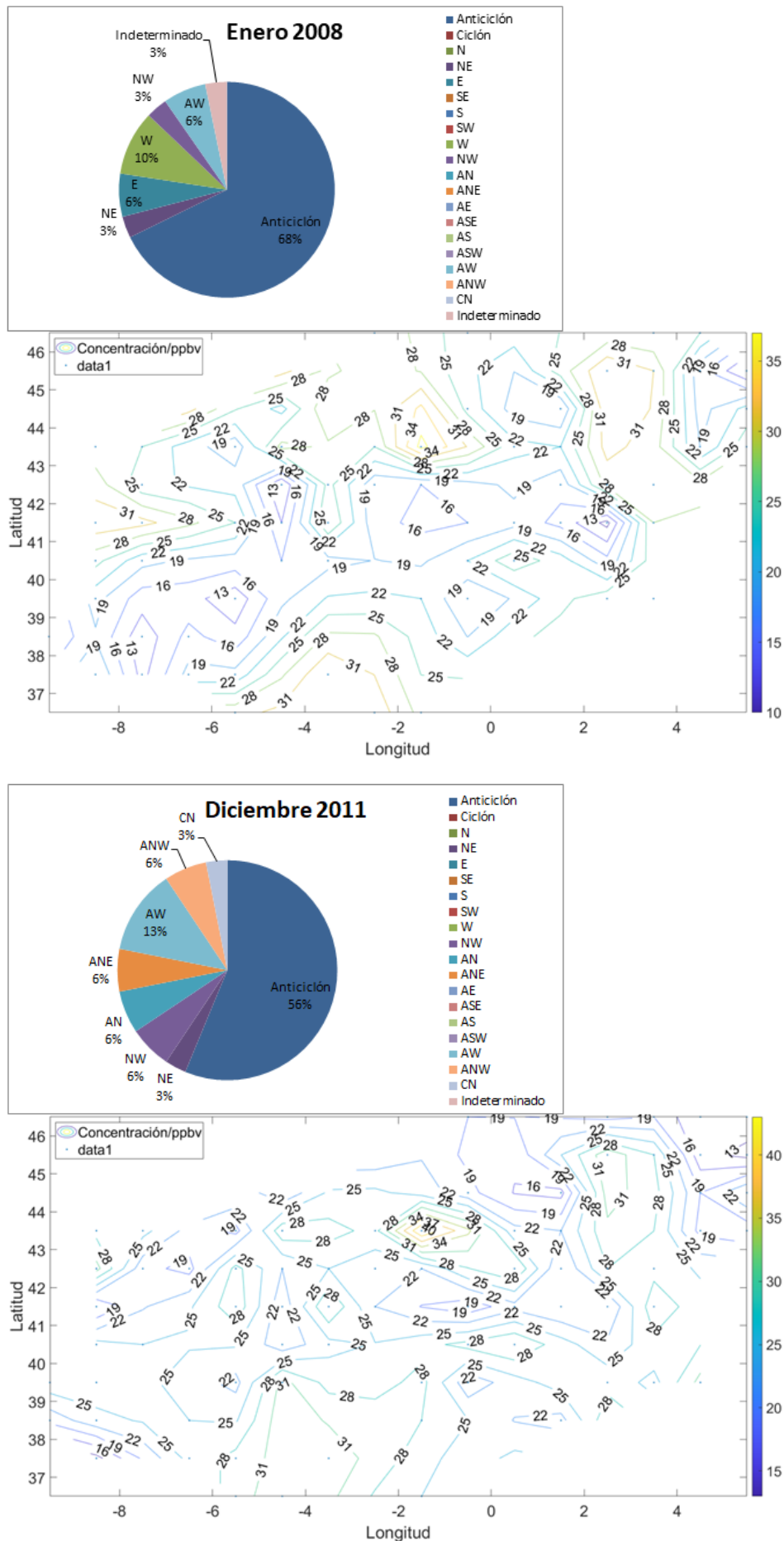


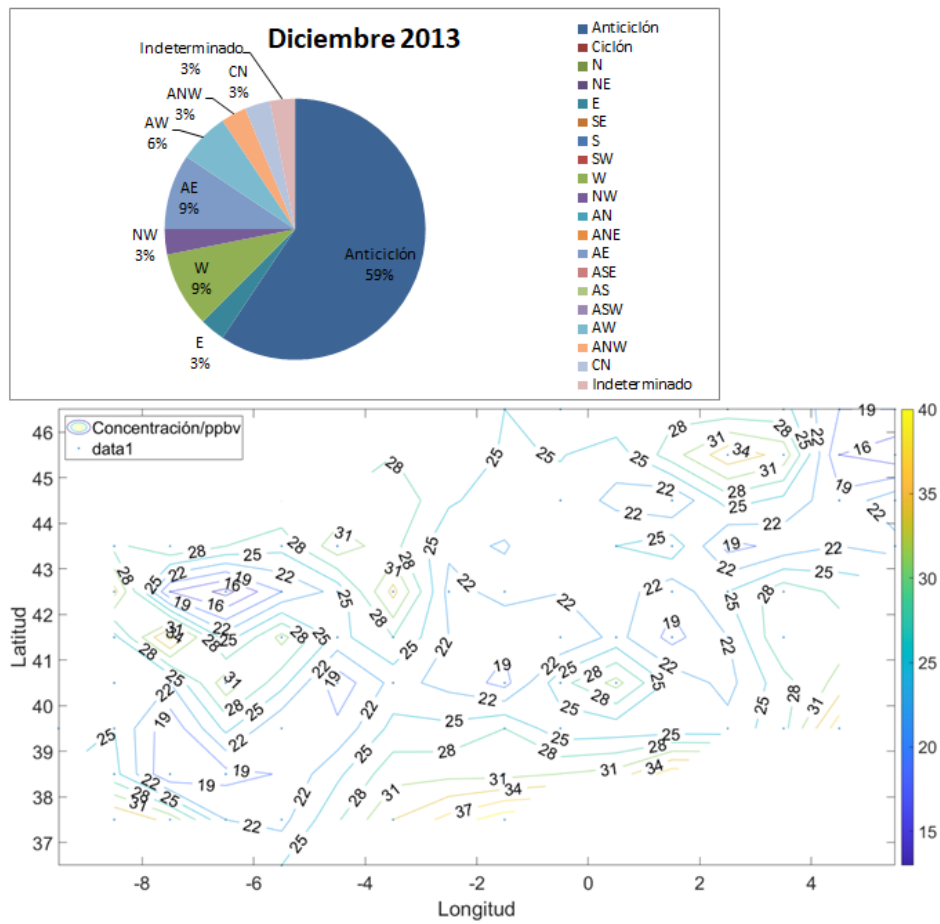












B.2. Ciclón+Indeterminado

