



Sección de Física
Universidad de La Laguna

ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DEL ANTICICLÓN DE LAS AZORES

Víctor Hernández León
03/07/2018

Trabajo Fin de Grado

Grado en Física

Curso 2017-2018

Tutores: Francisco J.
Expósito González y Juan P.
Díaz González

Índice

1	Abstract	3
2	Introducción, marco científico y objetivos	4
3	Promedios, desviaciones estándar, tendencias y localizaciones del anticiclón	6
3.1	Abstract	6
3.2	Metodología y resultados	6
3.3	Análisis de resultados	13
4	Área del anticiclón	17
4.1	Abstract	17
4.2	Metodología y resultados	17
4.3	Análisis de resultados	20
5	Análisis de componente principales (PCA) para las presiones.	22
5.1	Abstract	22
5.2	Metodología y resultados	22
5.3	Análisis de resultados	27
6	Conclusiones	35
7	Bibliografía	37

1 Abstract

The Azores High has a major influence on the weather and climate of Northwestern Africa, Western Europe and North America. In this investigation climatology of the Azores High is developed by examining its spatial and temporal changes, using a mean data for every month since 1981 to 2015. Furthermore, principal components analysis is applied to analyze the anticyclone's spatial variance structure and the spatial modes.

While accomplishing this study, it is obtained that the high pressure is dominated for two main situations, one of them correspond with the summer months and the other one with the winter months. In the first one the anticyclone dominates the Atlantic basin increasing the trade winds around Canary Island and blocking the track of low pressure systems to Europe. In the second one the anticyclone loses stability and intensity giving place to a greater number of low pressure system in Canary Island and, in general, in all Western Europe. Further, other common modes in the high pressure are shown, which generate instability in the region of Canary Island.

Along the thirty five years of study, trends in the area of the anticyclone or in the eigenvectors of the principal components are not observed, except in the summer months when it gets a negative trend.

2 Introducción, marco científico y objetivos

El presente trabajo tiene como objetivo principal analizar y caracterizar el Anticiclón de las Azores desde 1981 hasta 2015, evaluando posibles tendencias o cambios que puedan repercutir en el clima de Canarias y, en general, en el Oeste de Europa y en el Noroeste de África.

Para ello se ha dispuesto de valores promedios de presión, componente zonal (U) y componente meridional (V) del viento en superficie para cada mes durante 35 años. Estos píxeles se encuentran separados cada 0.5 grados, desde 80°W a 0°W en longitud y desde 0°N hasta 60°N en latitud, dando lugar a un total de 19481 píxeles o valores por imagen. A su vez, como se han obtenido datos durante 35 años y cada imagen corresponde a un promedio del mes se estudiaron un total de 420 imágenes. Los datos han sido descargados de la European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), concretamente de la base de datos ERA-Interim, la cual almacena y reanaliza datos de toda la superficie terrestre.

Los análisis se han realizado a dos grupos de datos diferentes, el primero de ellos es el conjunto de todos los meses durante los 35 años y el segundo son los datos agrupados por estaciones: Invierno (meses de Enero, Febrero y Marzo), Primavera (meses de Abril, Mayo y Junio), Verano (meses de Julio, Agosto y Septiembre) y Otoño (meses de Octubre, Noviembre y Diciembre), para cada año.

También se ha llevado a cabo promedios, análisis de componentes principales, determinación del centro del anticiclón y cálculo del área del mismo para todos los datos. Así como un exhaustivo análisis de como estos resultados explican en mayor o menor medida el clima en Canarias. Para realizar todos los cálculos se ha utilizado el lenguaje de programación Python, concretamente la versión 2.7.

Como ya se ha mencionado anteriormente, este anticiclón influye en una región muy amplia del Hemisferio Norte y es una parte fundamental de la circulación general de la atmósfera a nivel global. Este hecho le otorga una gran importancia entre la comunidad científica que realizan continuos estudios para analizar su evolución o los posibles cambios que pueda sufrir. La mayoría de las investigaciones climatológicas de esta región se centran en el estudio de largas series temporales que muestran ciclos con periodos mayores de un año. Las dos principales oscilaciones que afectan al Atlántico Norte son la North Atlantic Oscillation (NAO) y la Quasi-Biennial Oscillation (QBO), estudiadas y caracterizadas en multitud de artículos como los de John Marshall (2001) y Hasanean (2004) entre otros. Este trabajo no tendrá en cuenta estas oscilaciones globales con periodos de repetición tan amplios ya que se debería estudiar una región muy extensa de la superficie terrestre y a su vez, analizar datos atmosféricos a diferentes

alturas. Por esta razón, el presente documento se centrará en la caracterización e influencia del anticiclón sin tener en cuenta los factores globales que le afectan a él.

Normalmente los anticiclones estacionarios, como el de Azores, se estudian contando el número de veces que existen valores altos de presión en una región determinada. Se han realizado diversos estudios, como los de Harman (1987) y Klein (1957), que usando mallas de $5^\circ \times 5^\circ$ caracterizaron los centros de altas presiones en Norteamérica y en el Norte del Océano Atlántico respectivamente. Zishka y Smith (1980) realizaron un análisis similar sobre Norteamérica pero usando una malla $2^\circ \times 2^\circ$. Estos estudios mostraron los movimientos del anticiclón y su estacionalidad en esa región, también usando como datos los cambios en la frecuencia (número de veces que la presión supera cierto valor en una región previamente elegida).

Otros estudios más similares al nuestro, como el de Sahsamanolou (1990), estudiaron los cambios espaciales y temporales del Anticiclón de las Azores basándose en valores medios de la presión, tanto mensuales como anuales. El objetivo principal de su estudio era caracterizar la magnitud y la localización de esta alta presión. Sus resultados mostraron que el Anticiclón sufre una migración mensual con una forma elíptica en la región situada entre los 25° - 40° N y los 20° - 50° W.

Como ya se ha mencionado anteriormente, para llevar a cabo la caracterización del Anticiclón de las Azores se han realizado y analizado diversos cálculos: en el Capítulo 3 se muestra la metodología y los resultados obtenidos para los promedios, las desviaciones estándar, las tendencias y las localizaciones del anticiclón; en el Capítulo 4 se caracteriza el anticiclón a partir del área que ocupa sobre la superficie terrestre y en el Capítulo 5 se realiza un análisis de componentes principales, para obtener los modos recurrentes de esta alta presión. Finalmente, las conclusiones y las posibles mejoras de esta investigación se muestran en el Capítulo 6.

3 Promedios, desviaciones estándar, tendencias y localizaciones del anticiclón

3.1 Abstract

This chapter discloses the calculation of the sea level pressure mean, the zonal component (U) and the meridional component (V) of the wind seasonally are generate in the area of study. This average is developed to see the annual changes in the Azores High to research the possible existence of trends in the last years, with a linear regression method for pixel. Standard deviation for pixel and the mean position of the center of the anticyclone monthly and by season are also calculated.

As well, this chapter demonstrates the anticyclone changes its intensity and its position during the year. Also, there is a higher probability of changes in the sea level pressure values when the latitude increases and in the seasons of Winter and Autumn, being that the presence of low pressure system tracking from Western to Eastern changes the pattern of pressure. Furthermore, the movement of the Intertropical Convergence Zone from the North in the summer months to the South in the winter ones is also demonstrates.

Finally, the way these changes modify and affect the weather in Canary Island and, in general, in Western Europe has been analyzed.

3.2 Metodología y resultados

Con la intención de tener una idea general de la Alta presión y de los valores de las componentes zonal y meridional del viento en el área que abarca nuestro estudio, se ha realizando un promedio de estas magnitudes para todos los datos que se disponen (420 en total). El procedimiento que se ha seguido consiste en tomar todos los valores de la magnitud que se quiere promediar en un pixel determinado y calcular su valor medio. Realizando este procedimiento para todos los pixeles se obtiene una imagen promedio de la magnitud. Los resultados obtenidos para la presión, la componente zonal (U) y la componente meridional (V) del viento se muestran en las Fig 3.1, Fig 3.2 y Fig 3.3 respectivamente.

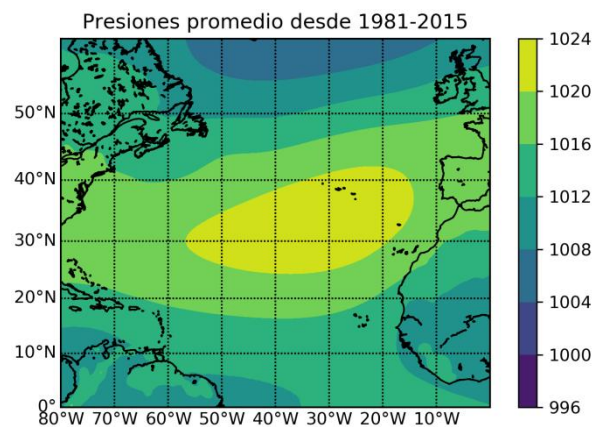


Fig 3.1 Presiones promedio (milibares) desde 1981 hasta 2015.

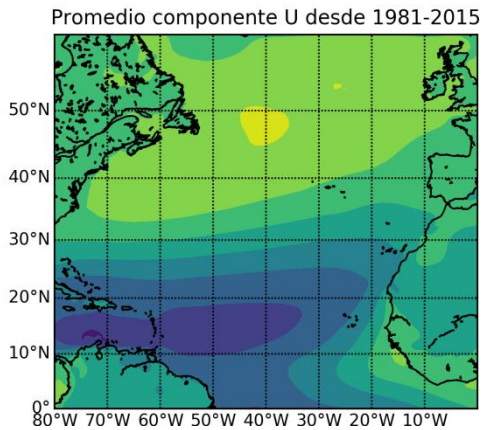


Fig 3.2 Promedio componente U (nudos)

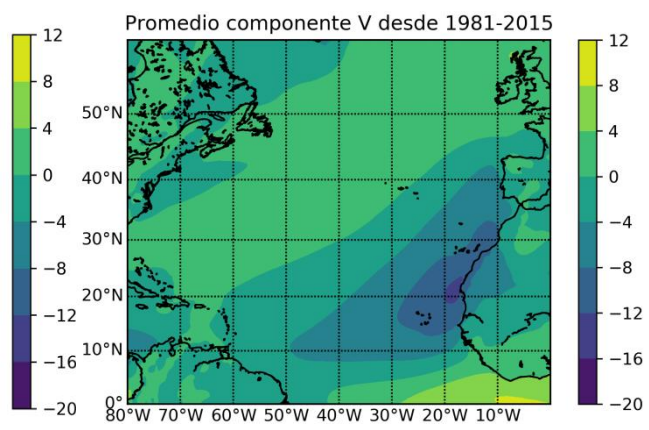


Fig 3.3 Promedio componente V (nudos).

Con el objetivo de observar la variabilidad de los datos de cada píxel con respecto a la media y estudiar qué regiones tienen mayores variaciones en los datos de las magnitudes estudiadas, se ha realizado el cálculo de las desviaciones estándar, nuevamente para cada píxel. Obteniendo los siguientes resultados:

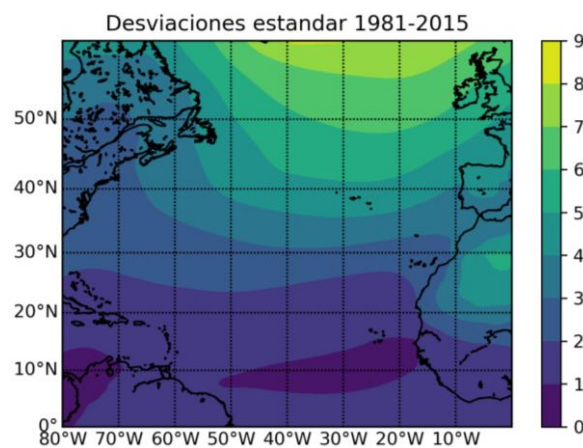


Fig 3.4 Desviaciones estándar para la presión en milibares.

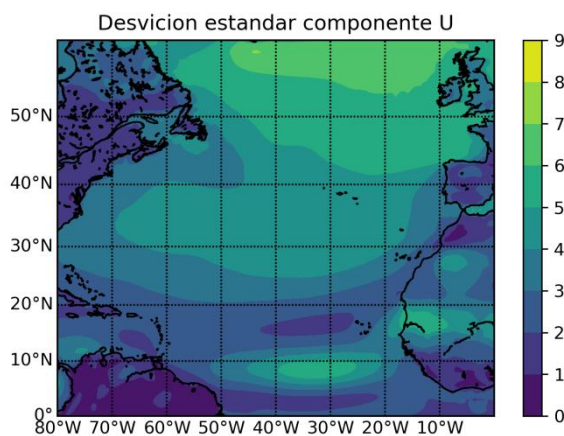


Fig 3.5 Desviaciones estándar para la componente U en nudos.

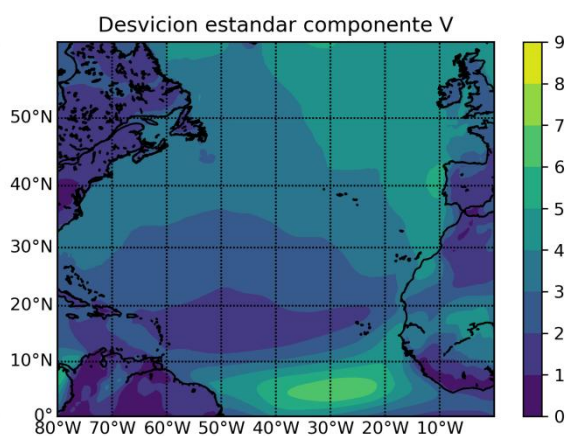


Fig 3.6 Desviaciones estándar para la componente V en nudos.

También, con la finalidad de estudiar las tendencias en los valores de la magnitud, se ha realizado un análisis de regresión para cada píxel. Para plasmar estos resultados en un mapa, se ha representado la pendiente de la regresión lineal calculada, de tal forma que si el valor obtenido para cierto píxel es mayor que cero y menor que el error de la pendiente se podría considerar que en ese punto la magnitud ha aumentado en los últimos 35 años. Por el contrario, si el valor es menor que cero consideraríamos que se ha producido una disminución. A raíz de ello, se ha obtenido un mapa con regiones en las que la magnitud estudiada tiende a aumentar o tiende a disminuir, basándose en los 35 años anteriores. Realizando este cálculo se obtiene los siguientes resultados para la presión (Fig 3.7), la componente U (Fig 3.8) y la componente V (Fig 3.9):

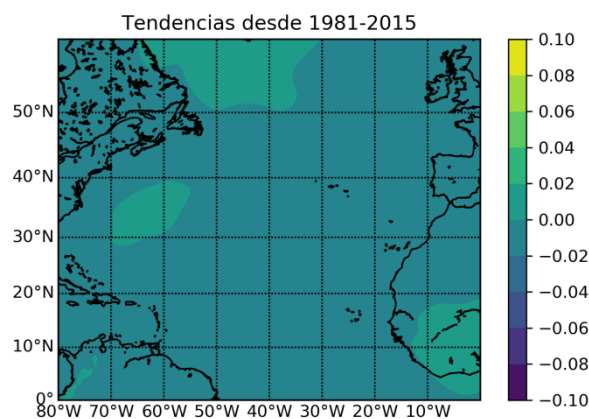


Fig 3.7 Tendencias en la presión (*milibares/mes*).

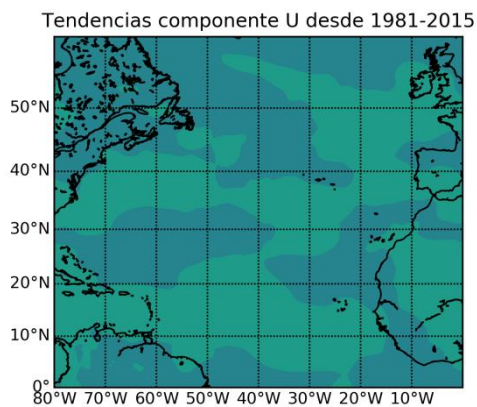


Fig 3.8 Tendencias componente U

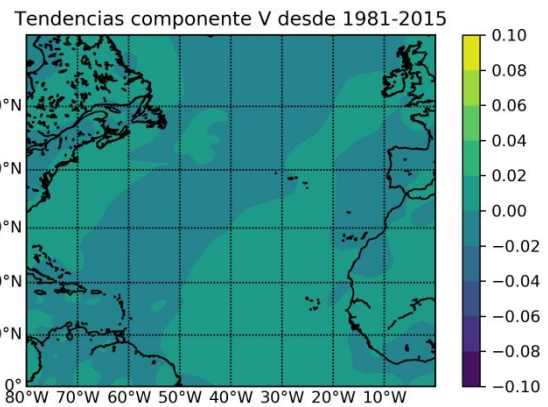
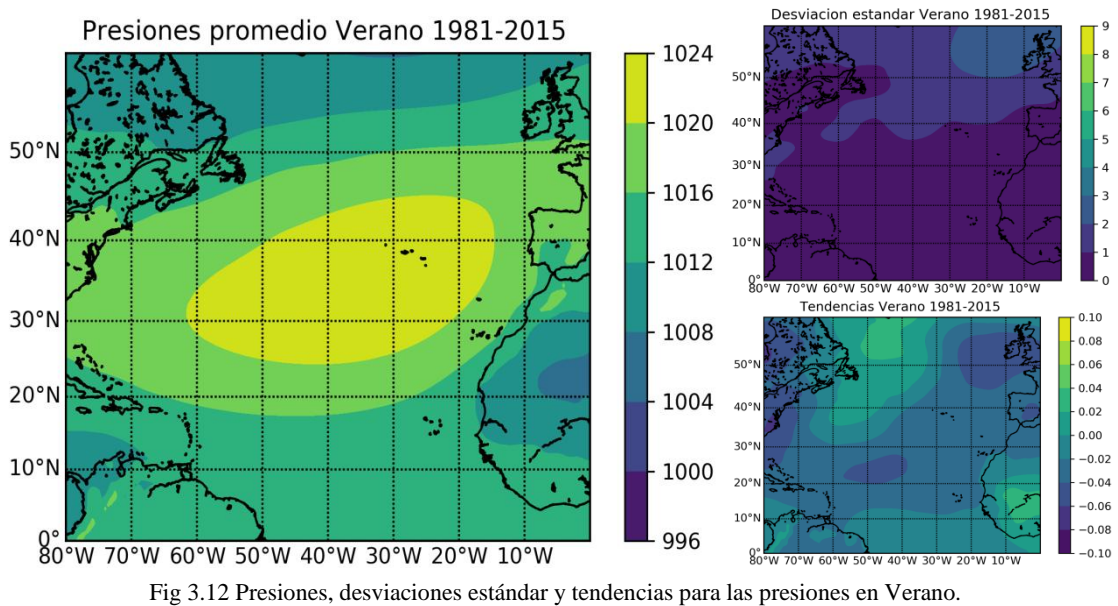
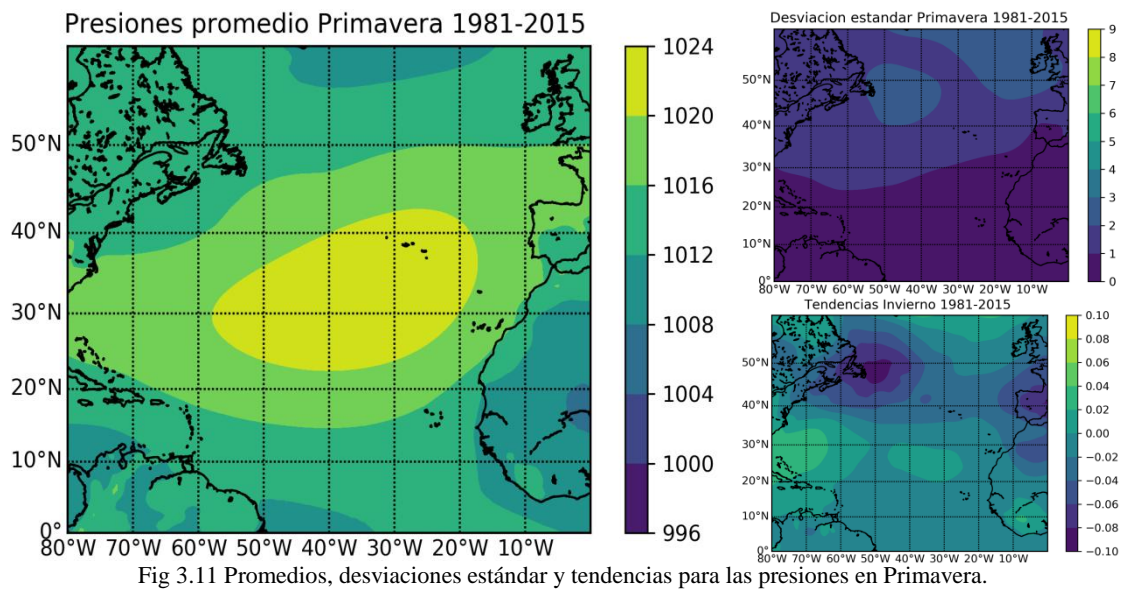
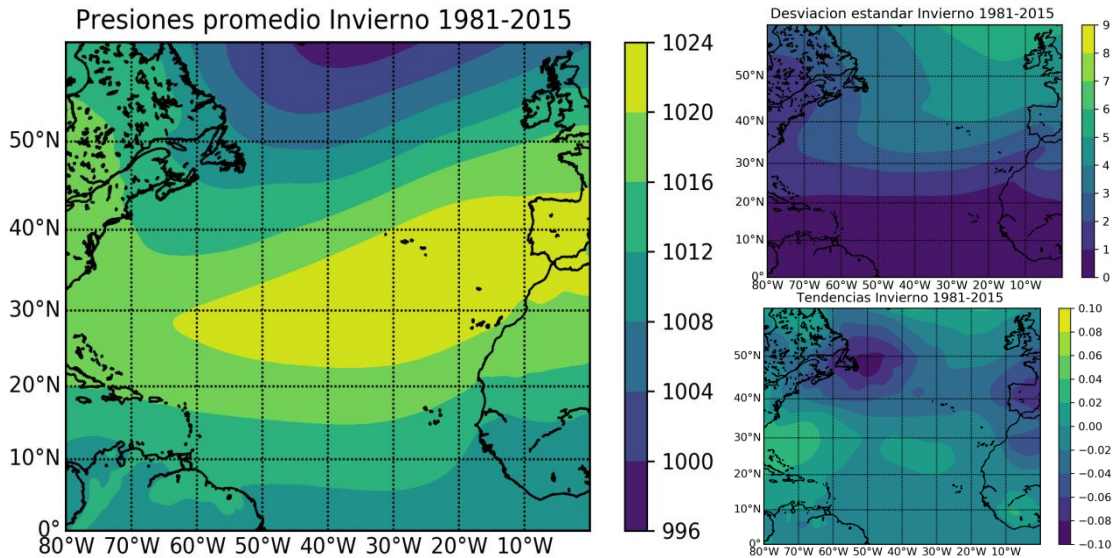


Fig 3.9 Tendencias componente V

A continuación se muestran los mismos cálculos anteriormente indicados pero en este caso agruparemos los datos por estaciones. Obteniendo para las presiones en Invierno los resultados mostrados en la Fig 3.10, en Primavera los de la Fig 3.11, en Verano los de la Fig 3.12 y en Otoño los de la Fig 3.13:



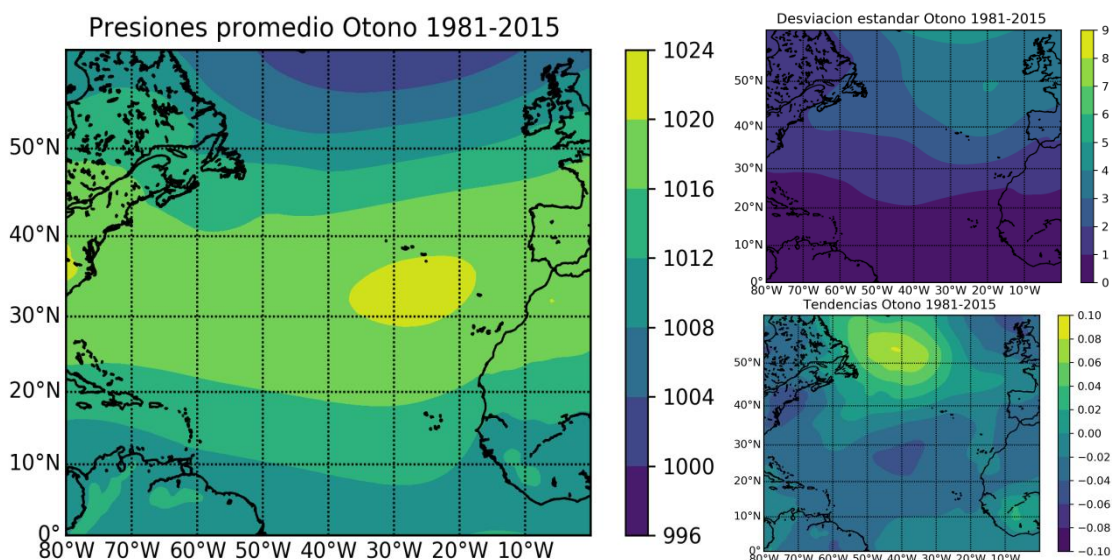


Fig 3.13 Presiones, desviaciones estándar y tendencias para las presiones en Otoño.

Se han realizado estos mismos cálculos para las componentes U y V del viento pero se mostrarán los promedios de ambas componentes en las diferentes estaciones. Esto se debe a que las conclusiones que obtendremos de las desviaciones estándar y las tendencias de las componentes del viento son las mismas que la de los mapas de presión que ya se han mostrado anteriormente. Los promedios de la componente U obtenidos para las cuatro estaciones se pueden visualizar en la Fig 3.14, mientras que los promedios de la componente V se representan en la Fig 3.15.

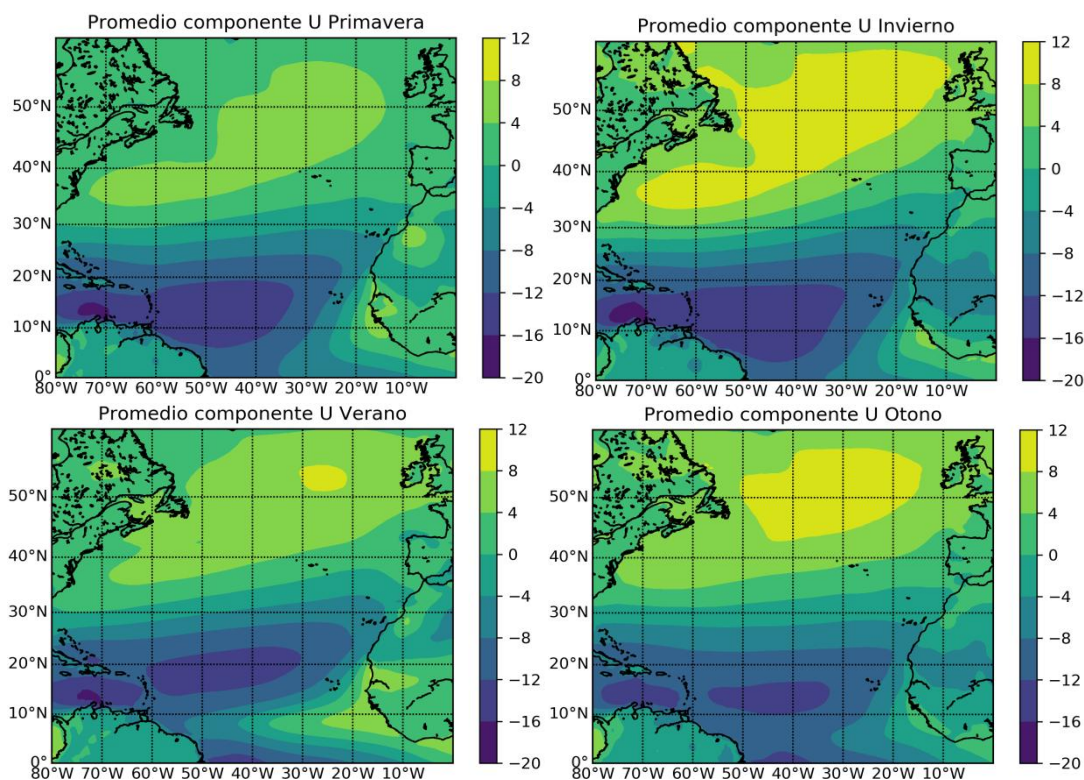


Fig 3.14 Promedio de la componente U por estaciones.

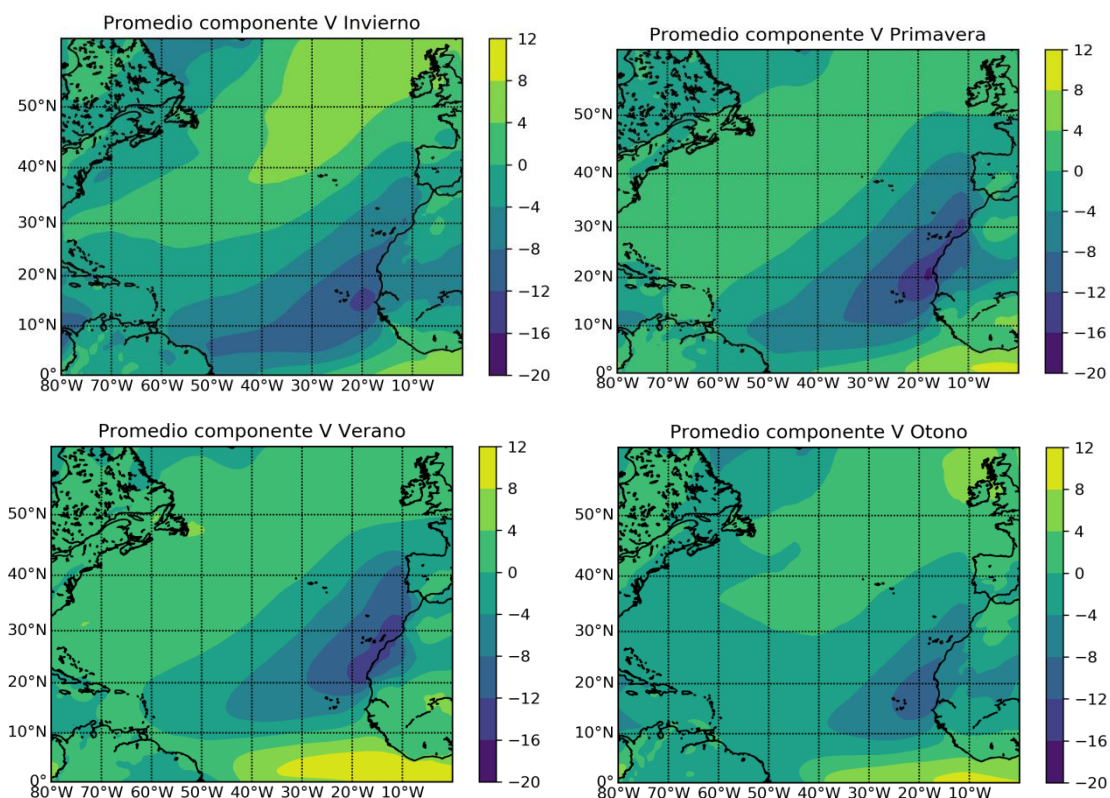


Fig 3.15 Promedio de la componente V por estaciones.

El último cálculo de este apartado se ha realizado con la finalidad de encontrar el centro del anticiclón y de esta forma determinar el movimiento estacional y mensual que presenta. Para ello se ha tomado el centro de la alta presión en un cierto intervalo de tiempo como el valor máximo de presión promedio durante ese intervalo.

En primer lugar se ha realizado el cálculo por estaciones, esto quiere decir que se ha cogido los tres meses que conforman la estación, se ha calculado su promedio para cada año durante los 35 años y para finalizar se ha calculado el promedio total. A continuación, se ha buscado el punto en el que la presión promedio tiene su mayor valor. Ya se ha calculado con anterioridad los promedios por estaciones, Fig 3.10 para Invierno, Fig 3.11 para Primavera, Fig 3.12 para Verano y Fig 3.13 para Otoño; por lo que solo se ha de encontrar el punto en el que la presión tiene su valor más alto en esas imágenes. Cuando se realiza este cálculo se obtienen los puntos que se muestran en la Fig 3.16.

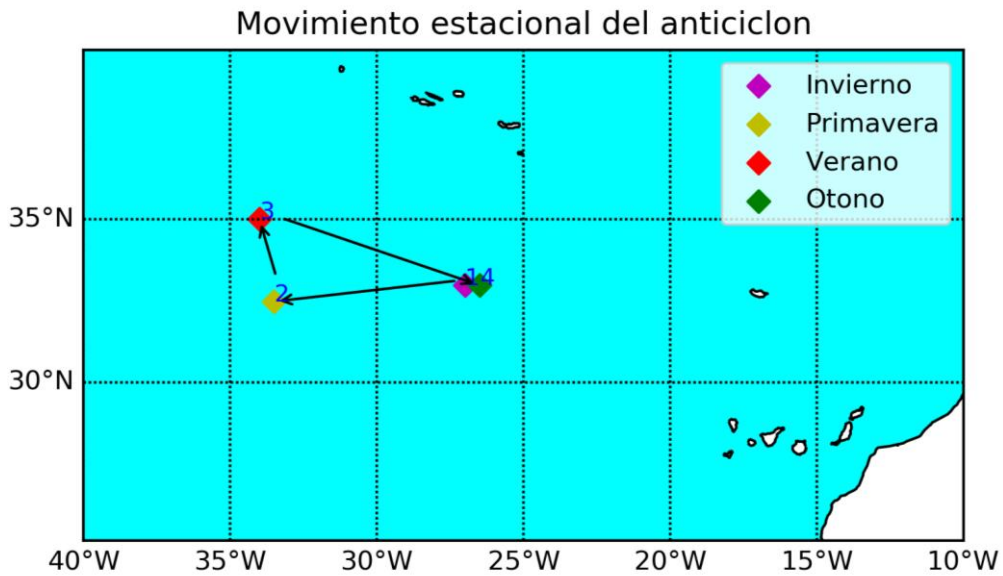


Fig 3.16 Centro del anticiclón por estaciones

Con el objeto de caracterizar mejor el ciclo del anticiclón hemos realizado este mismo cálculo por meses. Recordemos que los datos con los que estamos trabajando son ya promedios mensuales desde 1981 hasta 2015 por lo que solo debemos agrupar estos datos por meses y calcular su promedio. Obteniendo de esta forma 12 imágenes (una para cada mes) con la presión promedio. Como con las estaciones, solo debemos buscar el valor máximo de presión promedio, que nos caracterizará el centro de la Alta presión para cada mes. Los resultados obtenidos se pueden ver en la Fig 3.17.

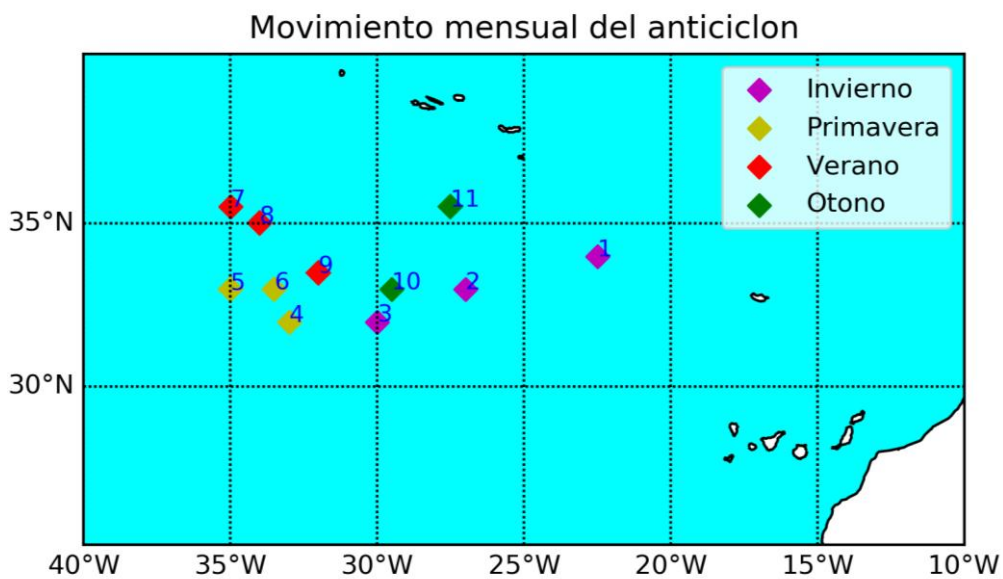


Fig 3.17 Centro del anticiclón por meses.

3.3 Análisis de resultados

A continuación se realiza un análisis de los resultados obtenidos en el apartado anterior, comenzando por los cálculos que incluían toda la serie temporal. En la Fig 3.1 se muestra la posición y la forma promedio del anticiclón, se observa que su centro se encuentra entre las latitudes 30°- 40°N y entre las longitudes 40°- 20°W, situado levemente al sur del archipiélago de las Azores, el cuál le da su nombre. Este promedio también muestra el viento predominante en Canarias, los Alisios, cuya dirección es del noreste (NE). Sabemos que el viento tiene esta dirección en el archipiélago Canario ya que es prácticamente tangente a las isobaras y gira en sentido horario alrededor de las altas presiones en el Hemisferio Norte. La explicación de que el viento en superficie no sea exactamente tangente a las isobaras se debe al rozamiento del mismo con la superficie terrestre, lo que produce una pequeña desviación hacia las bajas. En las Fig 3.2 y Fig 3.3 se observan los promedios de las componente U y V del viento, respectivamente, las cuales confirman el predominio de los Alisios en Canarias. Para que sea aún más visible se ha representado conjuntamente las dos componentes del viento y su módulo para todos los meses de los que se disponen datos, obteniendo el resultado de la Fig 3.18. En ella se puede observar lo ya mencionado anteriormente, un predominio de vientos del NE con una intensidad en torno a 10 nudos (kts) en el archipiélago Canario.

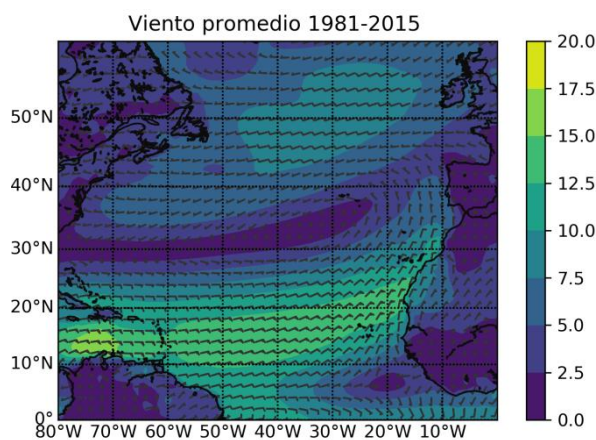


Fig 3.18 Viento promedio (nudos) desde 1981 hasta 2015.

También se aprecia valores muy bajos de viento o prácticamente nulos en la zona central del Océano Atlántico Norte y en la Zona de Convergencia Intertropical (ZCI), situada entre el Ecuador y 10°N, uniendo las costa oeste de África y la costa Este de Sudamérica.

En la Fig 3.4, en la cual se analiza las desviaciones estándar del promedio de presiones anteriormente estudiado, se observa una clara dependencia de los valores con la latitud. A medida que nos alejamos del Ecuador las desviaciones estándar van aumentando, esto quiere

decir que en esos píxeles los valores de presión tienen una gran variabilidad en torno a la media obtenida. La explicación de este resultado se encuentra en las borrascas o bajas presiones: estos núcleos no son estacionarios, como los anticiclones, sino que se van desplazando a lo largo de la Tierra de oeste a este. A latitudes más altas la presencia de borrascas es más probable, lo que implica una mayor variación en los valores de los píxeles en torno a su valor medio y por ende, unas desviaciones estándar mayores. Por el contrario en la Zona de Convergencia Intertropical se observa lo contrario, los valores de las desviaciones estándar son prácticamente nulos, lo que implica que en esa región la presión casi no varía.

En las desviaciones estándar de las componentes del viento, Fig 3.5 y Fig 3.6 se observa un patrón similar al de presiones, con una variación respecto a la latitud. Sin embargo, en la zona de convergencia intertropical se observan desviaciones estándar bastante altas en ambas componentes. Esto se debe a que la ZCI sufre variaciones a lo largo de las estaciones, desplazándose hacia el norte en verano y hacia el sur en invierno, lo que implica cambios en los valores de las componentes del viento.

En cuanto a las tendencias calculadas en las Fig 3.7, Fig 3.8 y Fig 3.9 se puede concluir que no tienen robustez estadística ya que el error en las pendientes es del mismo orden o superior al valor obtenido. Además, estas tendencias se podrían considerar prácticamente nulas ya que los valores obtenidos para las pendientes son muy bajos. Un ejemplo de ello se encuentra en el píxel con coordenadas 55°N y 10°W en el cual se obtiene una pendiente de -0.002 y un error de 0.003 .

En las Fig 3.16 y Fig 3.17 se observa que el centro del anticiclón tiene un ciclo estacional, ocupando diferentes posiciones a lo largo del año. Por ello, a continuación, se analizan los resultados que se han obtenido por estaciones, comparándolos y viendo sus diferencias.

Para las presiones promedio en Invierno (Fig 3.10) y en Otoño (Fig 3.13) se observa como el anticiclón tiene una forma achatada en latitudes y alargada en longitudes, mientras que en las estaciones de Verano (Fig 3.12) y Primavera (Fig 3.11) tiene una forma ovalada, acumulándose los valores altos de presión en torno a una región concreta. Este cambio en las formas del anticiclón modifica los vientos Alisios en Canarias y la probabilidad de borrascas en las islas. Esto se debe a que el anticiclón actúa como un escudo, mientras se encuentra concentrado y potente (valores altos de presión) en un lugar no permite que las borrascas lo atraviesen, obligándolas a desplazarse a latitudes más al norte. Sin embargo, cuando el anticiclón no tiene fuerza (valores bajos de presión) y se encuentra muy distribuido espacialmente en la superficie, a las borrascas les resulta más fácil desplazarse a latitudes más al sur. Esto provoca que en Verano y Primavera la presencia de borrascas en Canarias y en general en la Península Ibérica sea mucho menor que en las estaciones de Otoño e Invierno.

En cuanto al viento también se puede observar un ciclo estacional, incrementándose en los meses de Verano y disminuyendo en los meses de Invierno. Para visualizar mejor este efecto se representa nuevamente las componentes U, V y su módulo por estaciones en la Fig 3.19. En ella se puede observar como la ZCI y, en general, todo el patrón de la imagen, se desplaza hacia el norte en las estaciones de Verano y Primavera, mientras que en las estaciones de Invierno y Otoño se encuentran más al sur. Este desplazamiento al norte en los meses de Verano implica un aumento de la velocidad del viento en la región del archipiélago Canario.

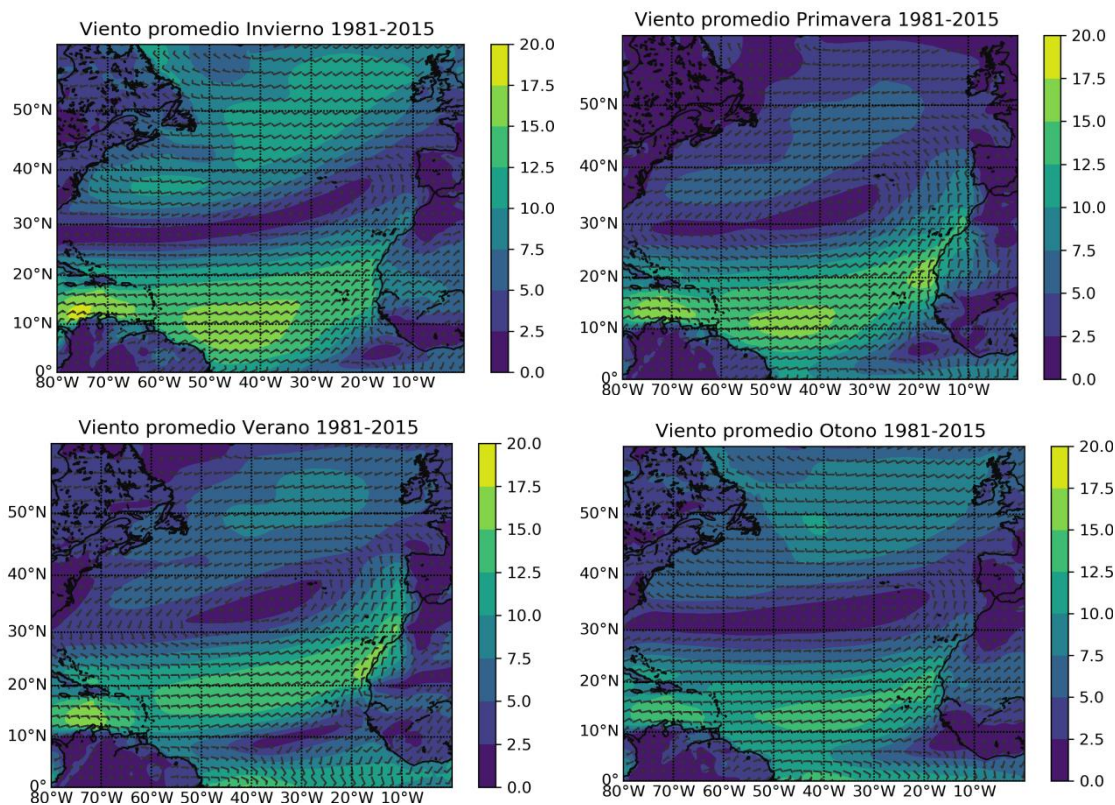


Fig 3.19 Viento promedio (nudos) por estaciones.

En esta figura (Fig. 3.19) también se puede observar cómo se modifica la ZCI a lo largo del año y la razón por la cual obteníamos valores altos en las desviaciones estándar de estos píxeles en las componentes U y V del viento.

En cuanto a las desviaciones estándar de la presión por estaciones, Fig 3.10 (Invierno), Fig 3.11 (Primavera), Fig 3.12 (Verano) y Fig 3.13 (Otoño); se observa que en las estaciones de Invierno y Otoño los valores son más altos que en los meses de Verano y Primavera. Este resultado es coherente con lo que se ha explicado anteriormente, en Invierno y Otoño la presencia de borrascas es mucho más alta y por ello los valores de presión varían más con respecto a la media. En cambio en las estaciones de Primavera y Verano no se producen tantos cambios en los valores de presión debido a que la presencia de borrascas es menor.

Por último, las tendencias calculadas por estaciones muestran valores mayores y errores generalmente menores que teniendo en cuenta toda la serie temporal (Fig 3.7). Aun así los valores de las pendientes siguen siendo demasiado bajos y los errores demasiado grandes como para considerar píxeles en los cuales la presión, durante los últimos 35 años, ha ido aumentando o disminuyendo considerablemente.

4 Área del anticiclón

4.1 Abstract

The main objective of this chapter is to obtain a magnitude that characterizes each image with 19481 pixels in only one value. For this reason, it is chosen to calculate the area for months. The advantage of this estimate is to work with every data as a time series, making possible to calculate trend and periodicity of this magnitude that characterizes the high pressure.

Besides, the average of the area for each season and its respective standard deviation are calculated. This estimate shows that in the months of summer and spring the anticyclone is more stable than in winter and autumn as the presence of low pressures in North Atlantic Ocean.

Finally, the periodicity of the area is calculated and the results obtained are analyzed with its possible influence in the Canary Island weather and climatology.

4.2 Metodología y resultados

Como se ha explicado anteriormente, el anticiclón va cambiando de forma a lo largo del año, por ello, en este capítulo se ha caracterizado la alta presión por el área que ocupa cada mes, una característica esencial en la descripción de las altas presiones. Este cálculo ha dado cuenta de la extensión que ocupa el Anticiclón y ha permitido resumir cada imagen de 19481 píxeles en un único valor de área que la caracteriza, los cuales se analizan como una serie temporal.

En primer lugar se ha elegido un valor límite de presión que encerrara la superficie a la que calcular el área. Para ello se ha buscado el mes que tenía los valores más bajos de presión y se ha cogido como límite los valores más altos de esa imagen, obteniendo el valor de 1016.7 mb. Este procedimiento se ha realizado para evitar valores nulos en el área, es decir, que en las 420 imágenes se obtuvieran valores distintos de cero.

Una vez delimitada la superficie que representa el anticiclón se contabiliza el número de píxeles que superaban dicho valor por latitud. Mediante la ecuación 4-1 se calcula el área en kilómetros cuadrados correspondiente a cada pixel a una determinada latitud, luego sumando todos estos valores obtenemos el área total.

$$A_p = d \cdot r \cdot 60 \cdot 1.852$$

$$\Omega = (\cos^{-1}(\sin(\phi)))^2 + (\cos(\phi))^2 \cos(r) \quad (4-1)$$

$$d = \Omega \cdot 60 \cdot 1.852$$

A_p es el área del píxel en kilómetros cuadrados, ϕ es la latitud a la cual se encuentra el píxel en cuestión, r es la resolución de cada píxel en grados de latitud (0.5 en nuestro caso) y Ω da cuenta de la variación que sufre la distancia equivalente a un grado de longitud a medida que se varía la latitud.

En la Fig 4.1 se representan los valores del área obtenida para los 420 meses de los que se disponen datos y en la Fig 4.2 se muestra los valores agrupados por estaciones. Además, se ha obtenido el valor medio y las desviaciones estándar para el promedio total y las cuatro estaciones:

$$A_{TOTAL} = [17.4 \pm 4.7] \cdot 10^6 \text{ Km}^2$$

$$A_{INVIERNO} = [19.5 \pm 4.0] \cdot 10^6 \text{ Km}^2$$

$$A_{PRIMAVERA} = [17.0 \pm 2.5] \cdot 10^6 \text{ Km}^2$$

$$A_{VERANO} = [17.4 \pm 2.2] \cdot 10^6 \text{ Km}^2$$

$$A_{OTOÑO} = [16.0 \pm 4.3] \cdot 10^6 \text{ Km}^2$$

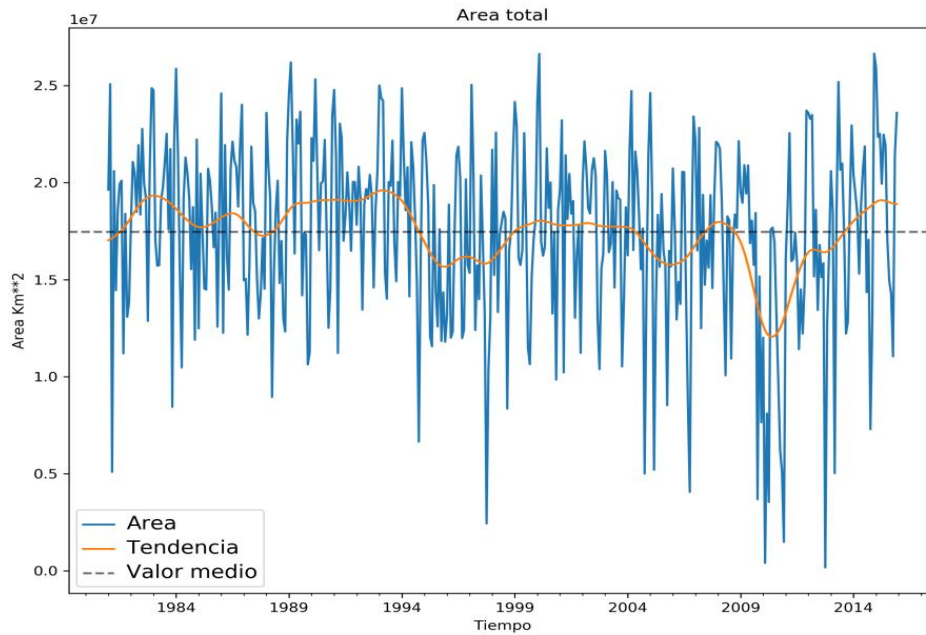


Fig 4.1 Área promedio del anticiclón en kilómetros cuadrados.

La tendencia que se muestra en las figuras de este trabajo han sido calculadas mediante el filtro de Hodrick-Prescott, el cual descompone la serie observada en dos componentes, uno tendencial y otro cíclico, propuesto en 1980 por Robert J. Hodrick y Edward C. Prescott.

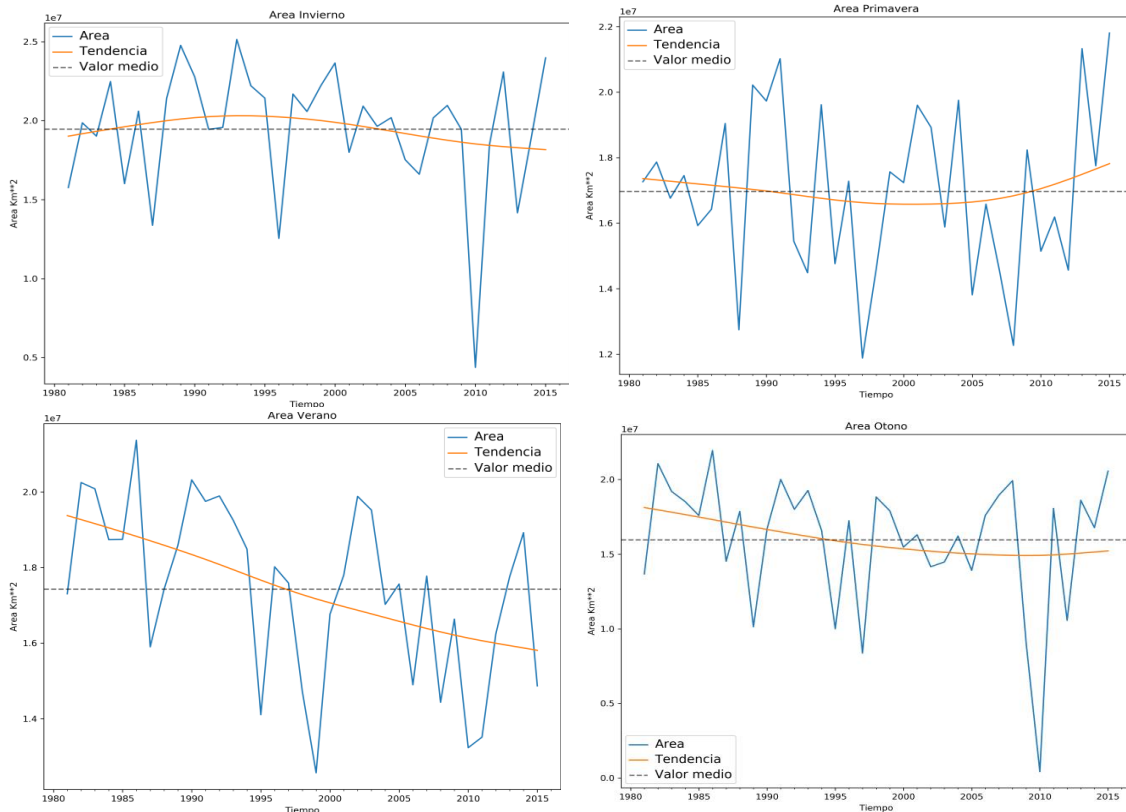


Fig 4.2 Áreas promedios por estaciones en kilómetros cuadrados.

Para estudiar la periodicidad de estos valores se ha realizado una transformada rápida de Fourier (FFT), la cual nos indica la frecuencia de los ciclos, si existieran, en los valores calculados. En la Fig 4.3 se muestra la FFT en escala logarítmica para los valores promedios del área durante los 420 meses, obteniendo dos picos, cuyos valores de frecuencia, poder espectral y periodo (inversa de la frecuencia) se muestran en la Tabla 4.1.

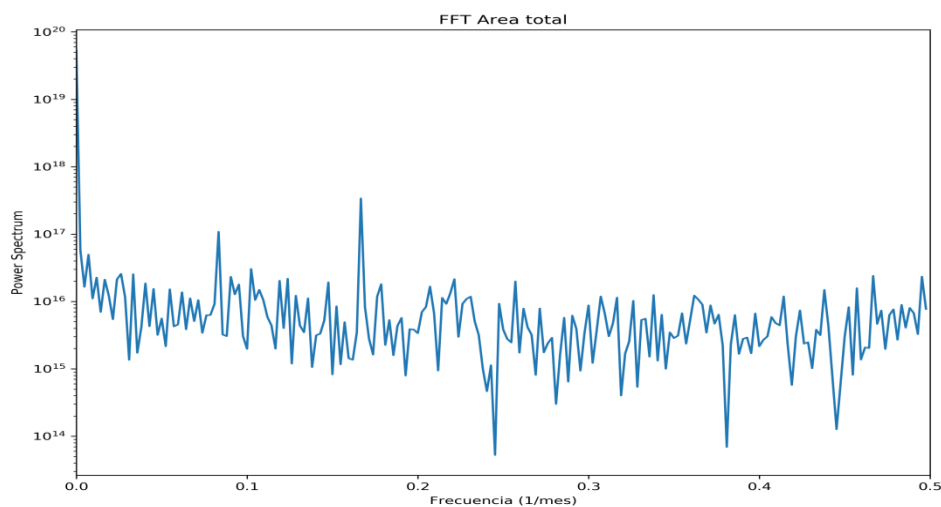


Fig 4.3 Transformada rápida de Fourier (FFT) para el área promedio del anticiclón (eje Y en escala logarítmica).

Frecuencia (1/mes)	Poder espectral	Periodo (meses)
0.083333	1.079e+17	12.0
0.166667	4.236e+17	6.0

Tabla 4.1 Valores FFT para el área promedio.

Este cálculo también se ha realizado para el área por estaciones pero en él no se observaba periodicidad alguna.

4.3 Análisis de resultados

Como se ha mencionado anteriormente la elección del valor de 1016,7mb como umbral para determinar el área del anticiclón se ha elegido para evitar valores iguales a cero. Este valor mínimo fuerza a considerar el anticiclón como una gran extensión en los meses que la presión tiene valores altos y distribuidos espacialmente, como ocurre en Invierno. Pero aun así, los resultados obtenidos aportan cierta información de gran utilidad para caracterizar la alta presión.

Los resultados que muestran el área total promedio y el área promedio por estaciones presentan ciertas diferencias. El área de Invierno es la mayor de todas, resultado inesperado a priori, ya que en Invierno el anticiclón debería tener poca presencia, pero si se observa el promedio para los meses de Invierno se obtiene que el anticiclón, aun con valores altos de presión, se encuentra muy alargado y achatado, desde la Península Ibérica hasta casi las costas de Norte América. Por lo que, aunque el área en Invierno sea la mayor de todas no significa que la alta presión esté en su etapa más activa. Posteriormente las estaciones con más áreas son las de Verano, Primavera y Otoño respectivamente. Otro dato a tener en cuenta son las desviaciones estándar obtenidas, como es lógico, el mayor valor se encuentra en el promedio total, donde se obtiene mayores diferencias en torno a la media. El siguiente valor más alto se encuentra en la estación de Otoño, lo que indica una gran variabilidad en los valores del área en esta estación. Los valores más bajos se encuentran en las estaciones de Verano y Primavera. Al igual que lo obtenido en el Capítulo 3 cuando se calculan las desviaciones estándar, son las estaciones donde menos variación se produce en los valores de presión de cada píxel y en los valores del área. Por ello, en las estaciones de Verano y Primavera, el anticiclón cambia menos de forma y de tamaño, dando lugar a un tiempo más estable y con menos probabilidad de cambios.

Cuando se analiza la representación de los valores del área frente al tiempo (Fig 4.1) se observa fluctuaciones de la tendencia en torno al valor medio, no existiendo tendencia en los valores del área, por lo que podemos concluir que el área total del anticiclón se ha mantenido constante en los 35 años de estudio. Sin embargo sí se puede considerar intervalos de tiempo en los que el

área ha sido menor (2009-2013) o mayor (1990-1995) que la media (Hasanean, 2004). En cuanto a la periodicidad de esta serie temporal se encuentran dos frecuencias de relevancia (Fig 4.2 y Tabla 4.1), una con periodo de 12 meses menos relevante y una con periodo de 6 meses con mayor importancia. Esto indica la existencia de un patrón en los valores de las áreas que se repite de forma semianual superpuesto con un patrón que se repite de forma anual, con menos relevancia que el primero.

Una forma de eliminar estos ciclos es agrupar los valores de las áreas por estaciones, de esta forma se desestacionaliza la serie temporal y se puede analizar las tendencias de cada estación por separado. En la Fig 4.3 se observan estos promedios por estaciones, en los cuales no obtenemos tendencia salvo en la estación de Verano, la cual es claramente negativa. Para cuantificar esta tendencia negativa se ha realizado una regresión lineal, mostrada en Fig 4.4 y se han obtenen los siguientes valores para la pendiente y el coeficiente de correlación:

$$Pendiente = [-11.0 \pm 3.4] \cdot 10^4 \text{ Km}^2/\text{año}$$

$$R^2 = 0.25$$

A la vista de estos resultados se puede concluir que el área desde 1981 hasta 2015 ha ido disminuyendo en los meses de Verano a razón de $11.0 \cdot 10^4$ kilómetros cuadrados por año.

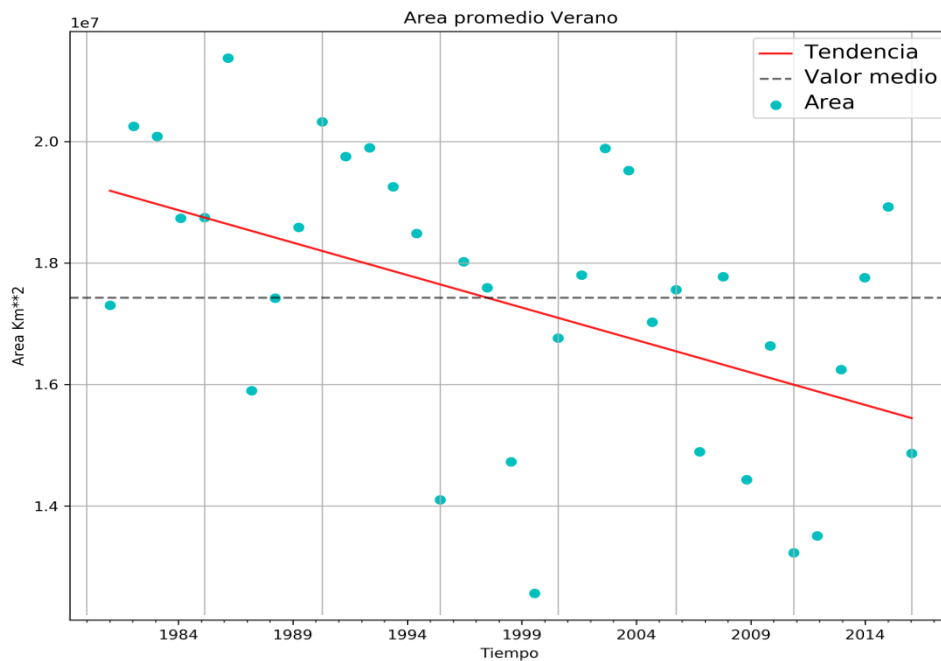


Fig 4.4 Ajuste por mínimos cuadrados de los valores del área para Verano.

5 Análisis de componente principales (PCA) para las presiones.

5.1 Abstract

In this chapter a principal component analysis is applied to determinate the different modes and current situations on the Azores High. Principal components are analyzed until the number five, which explains the 90.7% of the total variability; this data is high enough to consider that most of the variations and information contained are being studied in the 420 images that compose this investigation.

Also, their eigenvectors and loadings (components of the eigenvectors) are studied as temporal series and a Fast Fourier Transform is applied to them to see the cycles and periods during the thirty five years of study.

This chapter displays which situations are more probable to happen and in which months of the year is more common that they take place. Eventually, the manner this situation affects to the Canary Island's weather and, in general, to Western Europe is analyzed.

5.2 Metodología y resultados

El análisis de componentes principales es una técnica comúnmente utilizada en los análisis climatológicos. Como se ha visto anteriormente el anticiclón sufre grandes variaciones, tanto estacionales como anuales (Tabla 4.1 Valores FFT para el área promedio.), y es de gran interés para su caracterización estudiar las correlaciones y la detección de modos recurrentes en su posición. Utilizando el PCA se obtienen estos resultados y una forma de determinar la existencia o no de tendencias en estas situaciones recurrentes. Para dicho análisis se ha proporcionado una matriz de 19481x420 en la cual las columnas están compuestas por las variables (los 420 datos que disponemos para cada píxel) y las filas por las observaciones (los valores de cada píxel, 19481 en total). Como resultado se obtienen 420 componentes principales (PC) ordenadas por importancia, es decir, ordenadas de mayor explicación de varianza a menor. Se han obtenido en las primeras PC la mayor parte de la información contenida en las 420 imágenes estudiadas. Es en este hecho donde se encuentra la gran utilidad de este método ya que se puede describir todas las imágenes con una composición de unas pocas que explican casi toda la información.

En la Fig 5.1 se muestra la varianza explicada por cada PC y se puede observar que la PC1 explica el 62.8% de la varianza total, es decir, esa imagen explica más de la mitad de toda la información contenida en todos los datos, posteriormente la PC2 explica el 12.2%, la PC3 el 7% y así sucesivamente. Si se suma la varianza explicada por las componentes principales desde la

PC1 hasta la PC5 obtenemos un 90,7% de la varianza total, dato lo suficientemente elevado para considerar que se está estudiando la mayoría de las variaciones e información contenida en las 420 imágenes.

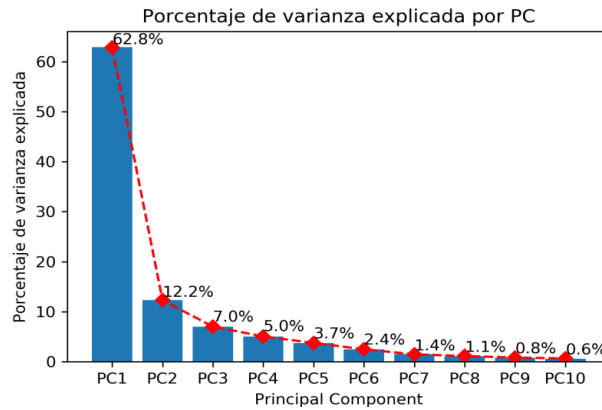


Fig 5.1 Porcentaje de varianza explicada para los datos de presiones.

Otro valor de gran interés, aparte de las imágenes (componentes principales), que aporta este tipo de análisis son los autovectores y los loadings, los cuales son los elementos que conforman cada autovector. Cada componente principal está formada por la multiplicación de su autovector correspondiente por todas las imágenes estudiadas, es decir, la multiplicación del loading 1 por la imagen 1 más el loading 2 por la imagen 2 y así hasta sumar las 420 imágenes. Estos loadings, que siempre tienen valores entre -1 y 1, se pueden considerar como pesos que le dan mayor o menor importancia a las imágenes para conformar una componente principal determinada. Un ejemplo del cálculo que crea las componentes principales se observa en la ecuación 5-1.

$$PC1 = \sum_{i=1}^{420} x_i I_i \quad (5-1)$$

Donde x_i corresponde al loading i -ésimo del autovector e I_i corresponde a la imagen i -ésima.

En la Fig 5.2 se muestran todos los resultados que se han obtenido para la PC1 (62.8% de varianza explicada): la imagen del componente principal, sus loadings representados frente al tiempo y la FFT de los mismos. Así como los picos obtenidos en la FFT, mostrados en la Tabla 5.1.

Frecuencia (1/mes)	Poder espectral	Periodo (meses)
0.083333	0.730	12.0

Tabla 5.1 Valores FFT para el PC1 de presiones.

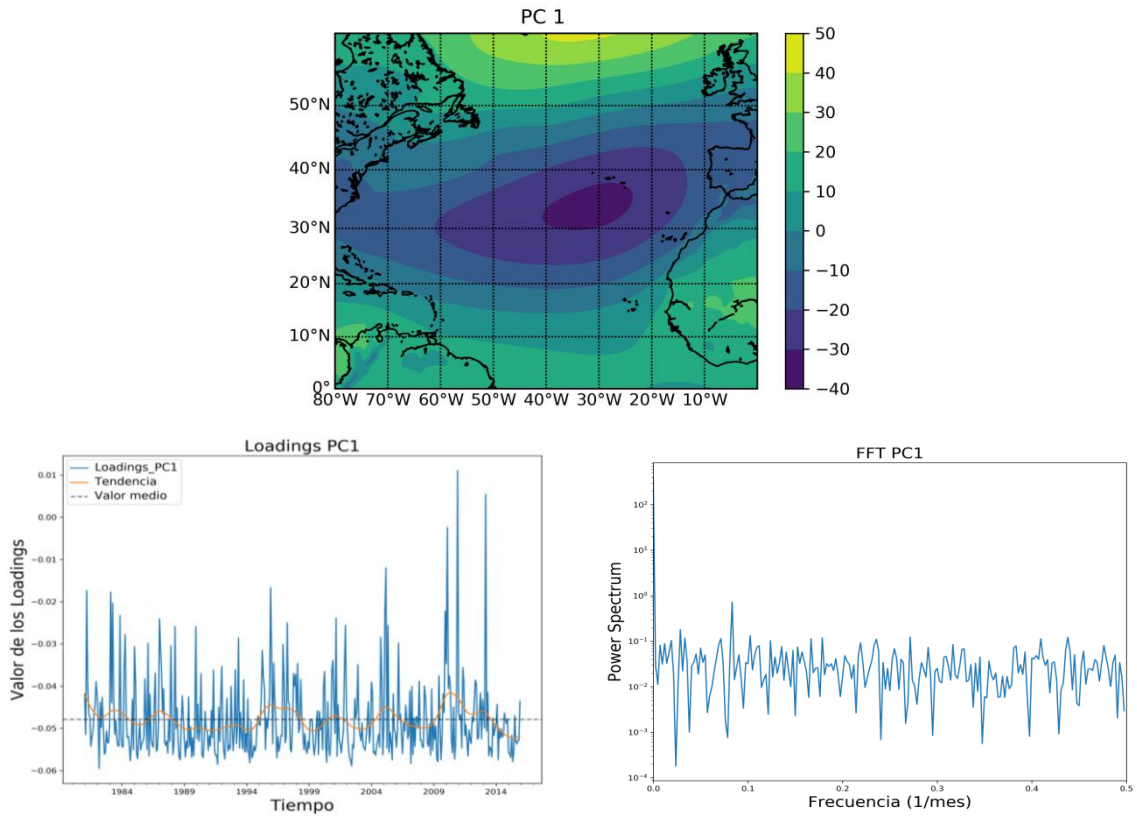


Fig 5.2 Resultados para el PC1 de presiones.

Para el PC2 se han obtenido los resultados de la Fig 5.3 y la Tabla 5.2:

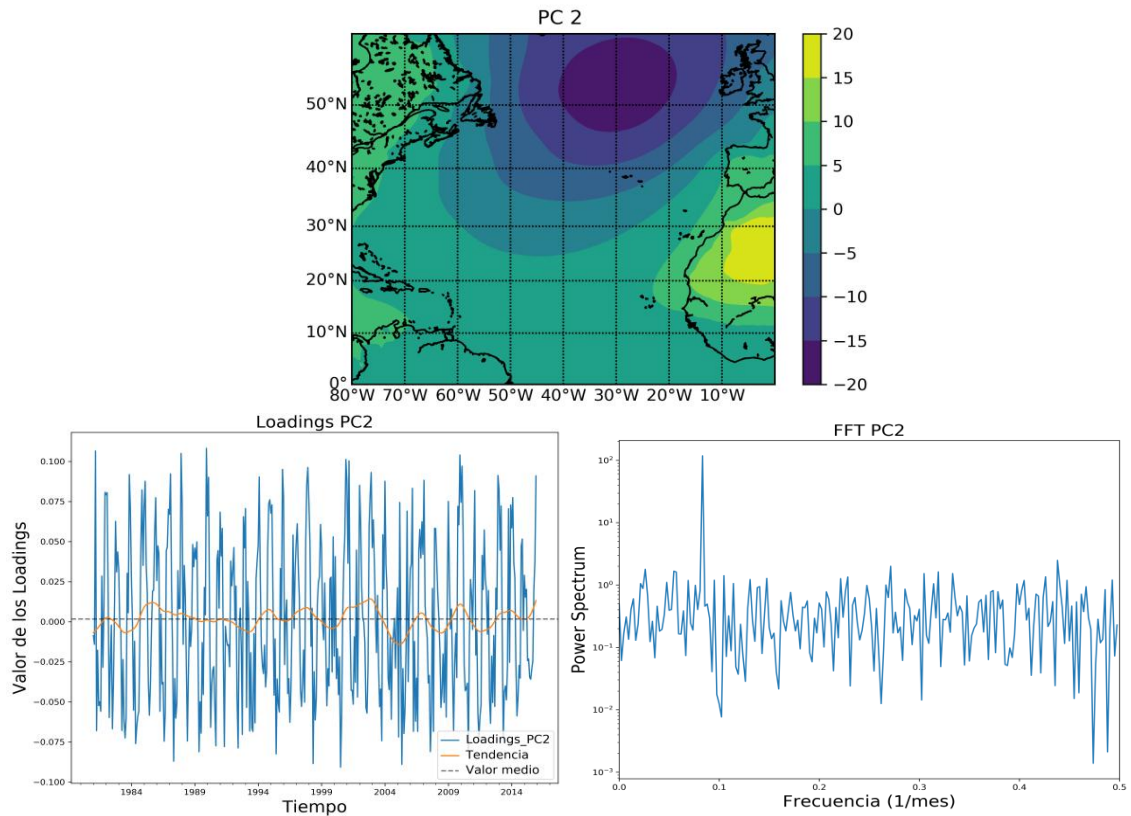


Fig 5.3 Resultados para el PC2 de presiones.

Frecuencia (1/mes)	Poder espectral	Periodo (meses)
0.083333	117.715	12.0

Tabla 5.2 Valores FFT para el PC2 de presiones.

Para el PC3 se obtienen los resultados de la Fig 5.4 y la Tabla 5.3.

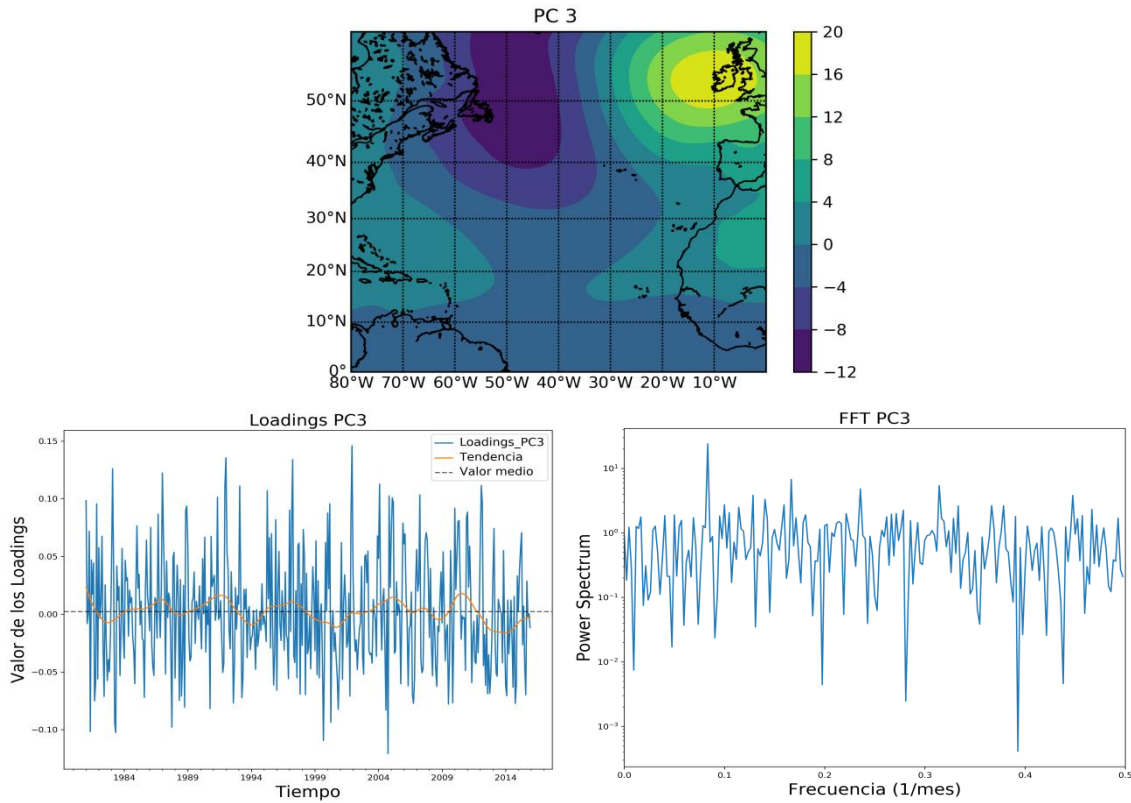


Fig 5.4 Resultados para el PC3 de presiones.

Frecuencia (1/mes)	Poder espectral	Periodo (meses)
0.083333	24.048	12.0
0.166667	6.757	6.0
0.314286	5.427	3.18
0.235714	4.807	4.24

Tabla 5.3 Valores FFT para el PC3 de presiones

Para el PC4 se obtienen la Fig 5.5 y la Tabla 5.4.

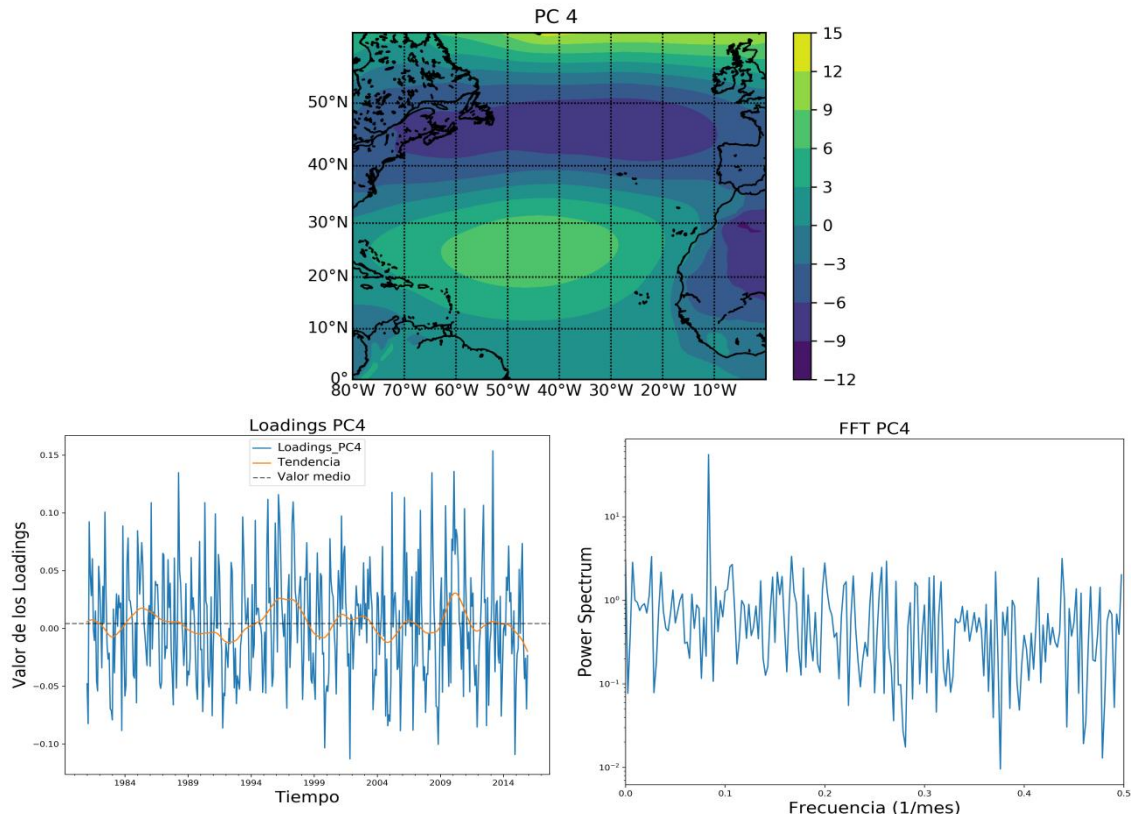


Fig 5.5 Resultados para el PC4 de presiones.

Frecuencia (1/mes)	Poder espectral	Periodo (meses)
0.083333	55.436	12.0

Tabla 5.4 Valores FFT para el PC4 de presiones.

Por último, se ha obtenido para el PC5 la Tabla 5.5 y la Fig 5.6.

Frecuencia (1/mes)	Poder espectral	Periodo (meses)
0.083333	46.545	12.0
0.166667	45.505	6.0
0.019048	4.257	52.5

Tabla 5.5 Valores FFT para el PC5 de presiones.

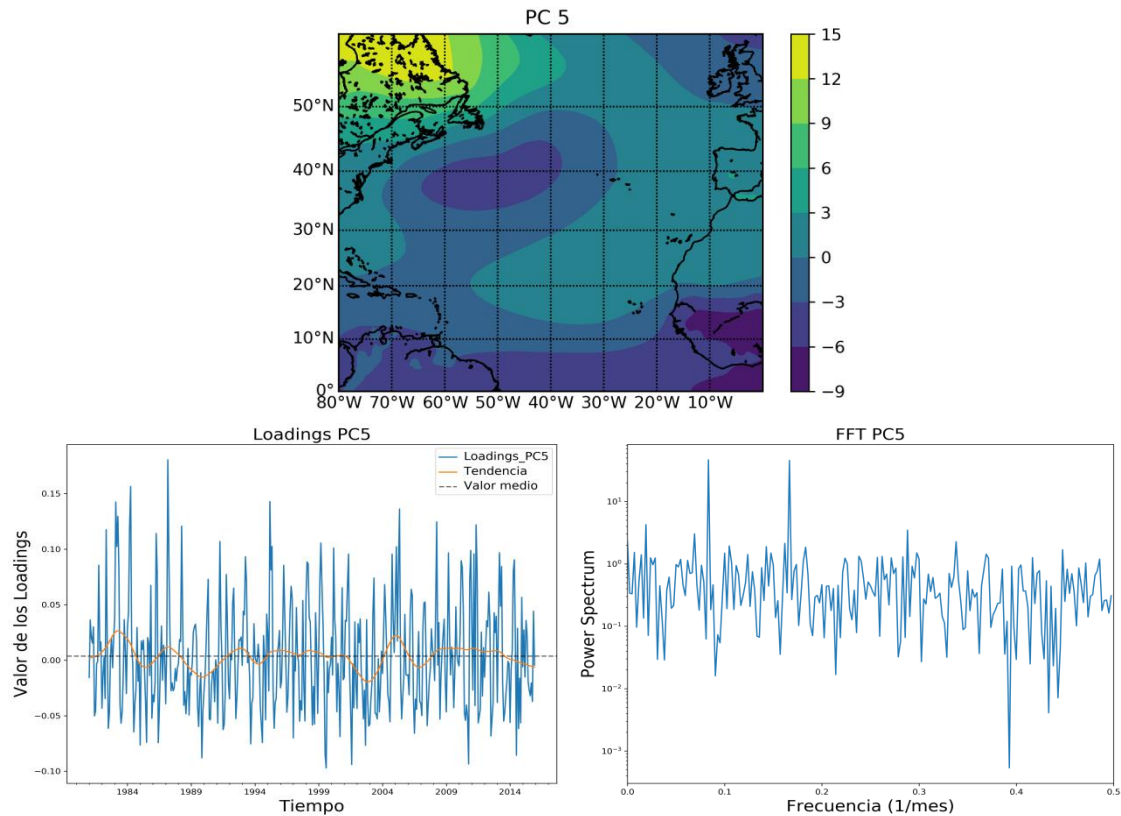


Fig 5.6 Resultados para el PC5 de presiones.

5.3 Análisis de resultados

A continuación se realiza un análisis en profundidad de las 5 componentes principales, las cuales explican más del 90% de la información total que se ha estudiado. En el PC1 (Fig 5.2) se observa que los loadings tienen muy poca variación, casi todos son negativos, y se encuentran entre los valores de -0.060 y -0.040. Esto significa que los 'pesos' que multiplican a cada una de las 420 imágenes para conformar el PC1 son prácticamente iguales por lo que el resultado de la misma ha de ser un promedio de todos los meses. Efectivamente, si se comprueba la imagen del PC1 (Fig 5.2) y el promedio total calculado en el capítulo 4 (Fig 3.1) se observa que son prácticamente iguales. Esto explica el alto porcentaje de varianza señalada por este componente principal, ya que no deja de ser un promedio de todos los datos y, por ende, la situación más probable en la que podemos encontrar el anticiclón. En cuanto al resultado de la FFT se obtiene un periodo claramente anual, como se observa en los datos de presión, tanto en el área como en el centro del anticiclón.

El PC2 (12.2% de varianza explicada) es el primer componente principal que cambia el peso que le da a cada imagen, es decir, los loadings del autovector dos tienen una mayor variación en sus valores, desde 0.075 hasta -0.075, dando mayor importancia a algunas imágenes con respecto a otras. Si se analizan las imágenes que están siendo multiplicadas por un loading

mayor que 0.075 se observa que la mayoría de ellas tienen el mismo patrón, una baja presión por encima de los 45°N situada entre el Este de Canadá y las Islas Británicas y una alta presión extendida entre el Este de Norte América y el Noroeste de África, con una forma muy achatada. En la Fig 5.7 se puede observar la imagen que es multiplicada por el mayor loading, de valor 0.108, como ejemplo de de las imágenes que más aportan positivamente a este componente principal. Por el contrario cuando se analizan las imágenes que están siendo multiplicadas por un loading menor que -0.075 presentan una alta presión muy extendida, ocupando casi totalmente el Atlántico Norte y una pequeña baja presión, con valores en torno a los 1000mb, en el Noroeste del continente africano. En la Fig 5.8 se muestra la imagen que es multiplicada por el menor loading de todos, con valor -0.091.

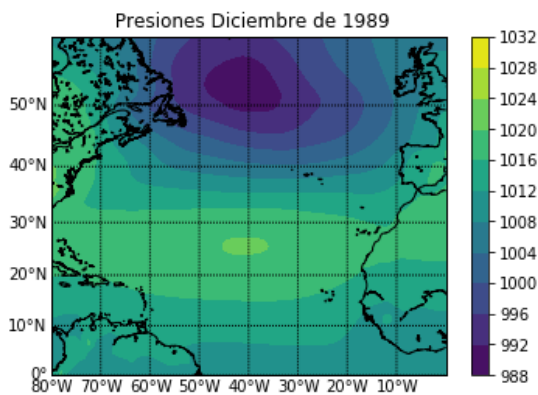


Fig 5.7 Imagen con el máximo loading del PC2.

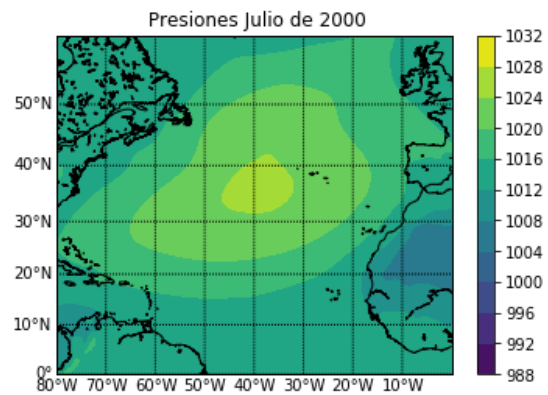


Fig 5.8 Imagen con el mínimo loading del PC2.

En el PC2 (Fig 5.3) se observan valores negativos entre el Este de Canadá y las Islas Británicas, coincidiendo con las bajas presiones de las imágenes que son multiplicadas por loadings muy positivos; y presenta valores positivos en el interior del continente africano, justo donde se encontraban las bajas presiones en las imágenes que estaban multiplicadas por los loadings más negativos. Esto quiere decir que estas dos regiones están anticorrelacionadas, es decir, cuando existen bajas presiones en el continente africano debemos observar valores altos de presión entre los 30°N y 50°N y cuando tenemos bajas presiones viajando al norte del Atlántico debemos de tener altas presiones en el Noroeste de África.

En la Fig 5.9 se muestran los valores medios por meses de los loadings y podemos observar que los meses de Invierno y Otoño son los que están multiplicados por loadings positivos mientras que los meses de Verano y Primavera están multiplicados por loadings negativos. Esto indica que la situación de borrascas viajando de Oeste a Este en torno a los 55°N y la presencia de altas presiones en el continente africano tienen lugar, mayoritariamente, en los meses de Invierno y Otoño, mientras que la situación inversa se da los meses de Verano y Primavera.

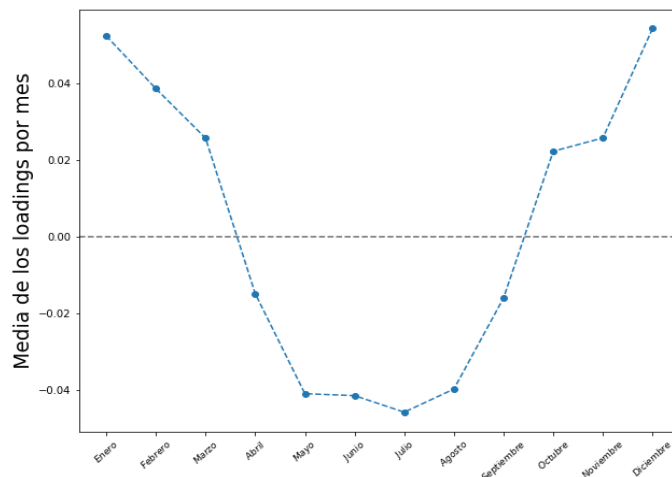


Fig 5.9 Media de los loadings del PC2 para presiones por meses.

Este resultado está en consonancia con lo obtenido al aplicar la FFT al autovector dos (Fig 5.3 y Tabla 5.2), un ciclo claramente anual en la serie temporal.

Para el PC3 (Fig 5.4), el cual explica el 7% de la varianza total, se obtiene un dipolo muy marcado entre las Islas Británicas con valores positivos y una región entre 60°W y 40°W con valores negativos. Cuando se analizan sus loadings se obtiene que, al igual que en todos los componentes principales, no se muestra tendencia alguna. En este caso también se analiza qué imágenes están siendo multiplicadas por loadings mayores que 0.075 y menores que -0.075. En las primeras de ellas siempre se observa una región de altas presiones sobre las Islas Británicas y una baja presión entre los 60°W y los 40°W, en la Fig 5.10 se muestra la imagen que es multiplicada por el loading máximo (0.136), es decir, la que más está aportando a este componente principal y en la Fig 5.11 la imagen que es multiplicada por el segundo autovector máximo (0.126). En ambas se puede observar el mismo patrón que en la imagen del PC3 (Fig 5.4) y que ya se ha explicado anteriormente. Cuando se analizan las imágenes que están siendo multiplicadas por loadings menores que -0.075 se encuentra el patrón inverso, una baja presión en las Islas Británicas y altas presiones en la región situada entre 60°W y 40°W. En la Fig 5.12 se muestra la imagen que se multiplica por el menor autovector de todos, con valor -0.121.

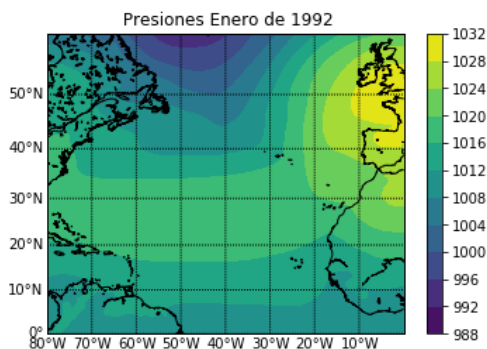


Fig 5.10 Imagen con el máximo loading del PC3.

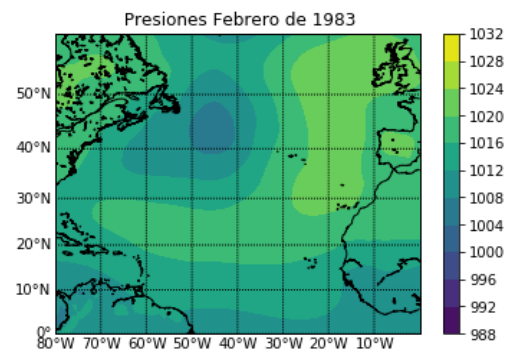


Fig 5.11 Imagen con el segundo máximo loading del PC3.

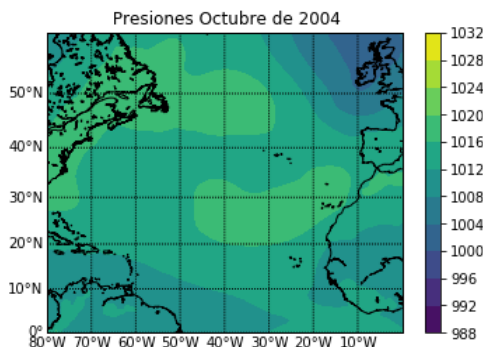


Fig 5.12 Imagen con el loading mínimo del PC3.

Estos resultados indican que cuando son los valores positivos de la PC3 los que están activos, es decir, un anticiclón situado sobre las Islas Británicas que bloquea la entrada de borrascas desde el Oeste, tiende a existir un centro de bajas presiones entre los 60°W y los 40°W, sin embargo, cuando son los valores negativos de la PC3 los que están activos encontramos la situación inversa. En la Fig 5.13 se muestra en que meses los loadings son positivos o negativos, por lo que indica en que meses es más común encontrarnos una situación u otra. Se obtiene que los valores positivos predominan en los meses de Febrero, Enero, Marzo y Diciembre; mientras que los valores negativos se concentran en los meses de Octubre, Agosto, Mayo y Julio.

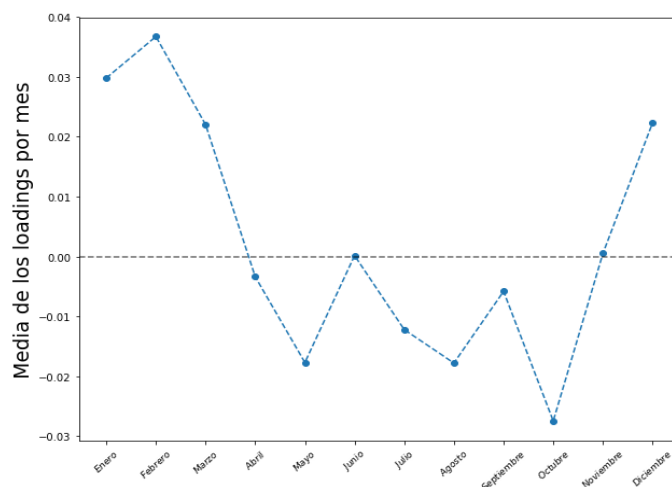


Fig 5.13 Media de los loadings del PC3 para presiones por meses.

Cuando analizamos la FFT de los autovectores (Fig 5.4 y Tabla 5.3) se obtiene un ciclo predominante cada 12 meses y otros tres valores de frecuencia menos relevantes, con periodos de 6, 3.18 y 4.24 meses. Esto indica que aparte del ciclo anual esta componente principal también tiene un ciclo semianual y otro estacional, los cuales alteran el ciclo anual que es el que mayor importancia y relevancia tiene.

El PC4 (Fig 5.5) explica el 5% de la varianza total, por lo que esta componente principal da cuenta de situaciones que no pasan tan a menudo como la de las otras componentes principales ya explicadas. En ella se pueden observar valores positivos en casi todo el Océano Atlántico, desde 10°N hasta los 35°N y a latitudes muy altas, por encima de los 55°N. En la zona central, entre los 35°N y los 55°N, y en el continente africano se encuentran valores negativos para esta componente. Cuando se analizan las imágenes que están multiplicadas por loadings mayores que 0.075 se observa que todas ellas presentan un centro de bajas presiones en el Atlántico Norte, entre los 40°N y los 50°N. Un ejemplo de ello es la Fig 5.14, en ella se muestra la imagen que se multiplica por el loading más alto, con valor 0.136. Por el contrario las imágenes que están multiplicadas por loadings menores que -0.075 muestran un centro de altas presiones localizado al Noroeste de la Península Ibérica que se extiende zonalmente por el Océano Atlántico. En la Fig 5.15 se muestra la imagen que es multiplicada por el loading más bajo, con valor -0.113, donde se observa el patrón general de las imágenes que son multiplicadas por loadings negativos inferiores a -0.075.

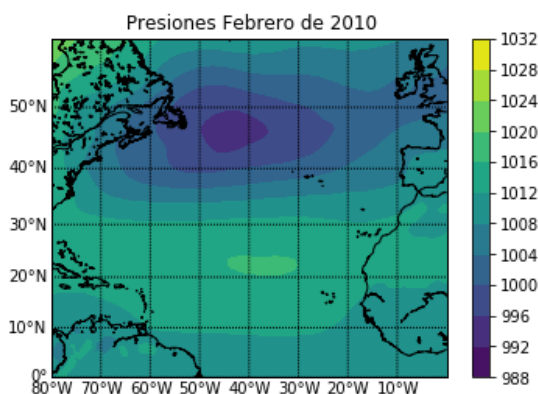


Fig 5.14 Imagen con el loading máximo del PC4.

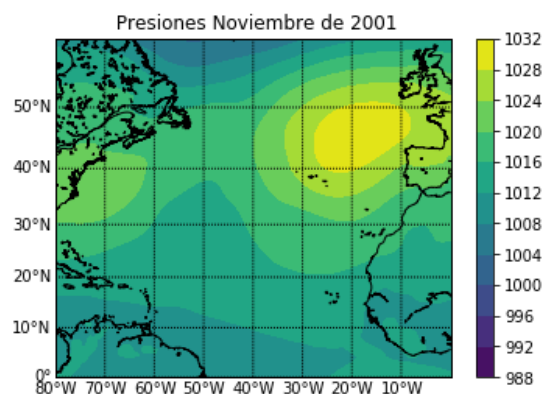


Fig 5.15 Imagen con el loading mínimo del PC4.

La situación que describe los valores negativos de la PC4 presenta el Anticiclón situado al Noroeste de la Península Ibérica, bloqueando las posibles borrascas que entran en Europa por el Oeste dando lugar a un tiempo más estable en esta zona. Por el contrario cuando son los valores positivos se observa una situación en la que el Anticiclón se encuentra más al Sur, al Oeste o Suroeste del archipiélago Canario, dando posibilidad a las bajas presiones de entrar al continente Europeo por el Noroeste de la Península Ibérica y manteniendo un tiempo estable en los alrededores del archipiélago.

Si se analiza la media de los loadings por meses, mostrado en la Fig 5.16, se observa que los loadings suelen tener valores más positivos los meses de Abril, Mayo y Junio; mientras que muestran valores más negativos los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre. Se recuerda que esta componente principal solo explica el 5% de la información total, por lo que ambas situaciones posibles son las más probables dentro de ese porcentaje de información.

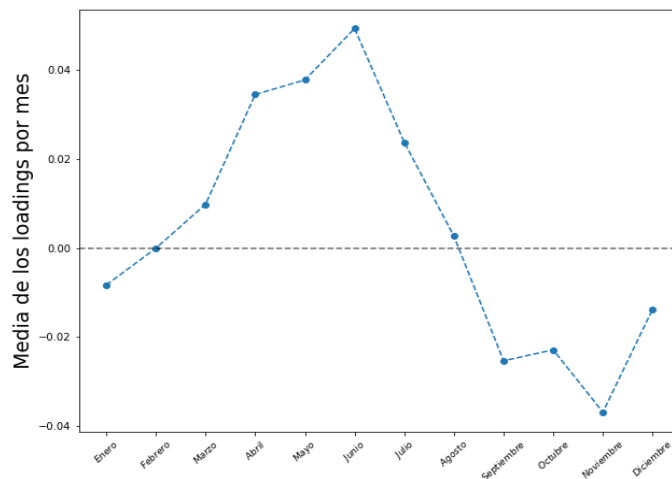


Fig 5.16 Media de los loadings del PC4 para presiones por meses.

Cuando se analiza la periodicidad que presentan los autovectores del PC4 (Fig 5.5 y Tabla 5.4) observamos un único pico centrado a una frecuencia de 0.083, lo que implica un periodo de 12.0 meses. Esta única frecuencia observada justifica la forma de la Fig 5.16, en la que se observa un ciclo claramente anual, con valores positivos mitad de año y valores negativos la otra mitad.

El PC5 (Fig 5.6) es el último que se analiza ya que solo explica el 3.7% de la varianza total, en él se encuentra un dipolo entre el Noreste de Canadá y el Noroeste de la cuenca Atlántica, adoptando los valores positivos la primera región indicada y negativos la segunda. También se obtienen valores muy negativos al Oeste del continente africano, próximo al Ecuador. Cuando se analizan las imágenes que son multiplicadas por los loadings mayores que 0.075 para conformar esta componente principal se observa un patrón como el de la Fig 5.17, altas presiones en el Noreste de Canadá, centro del Océano Atlántico y en las Islas Británicas; y bajas presiones en el Noroeste y Norte del Atlántico y en el continente africano próximas al Ecuador. Nuevamente, cuando se analizan las imágenes multiplicadas por loadings menores que -0.075 se observa la situación opuesta, mismas regiones pero donde habían altas presiones ahora se encuentran bajas y donde habían altas ahora se encuentran altas. Un ejemplo de ello es la imagen que esta multiplicada por el mínimo loading (Fig 5.18) en la que se puede encontrar la distribución contraria. Esta última coincide con una situación similar a la que se encuentra los meses de verano (Fig 3.12) en la que el Anticiclón se sitúa bastante al Norte, centrado en la

cuenca oceánica y con presencia de bajas presiones en el Noroeste del continente africano. Lo que destaca la aportación de estas imágenes a esta componente principal es la presencia de una baja presión en la costa Noreste de Canadá, la cual las hace diferir de la típica situación de Verano.

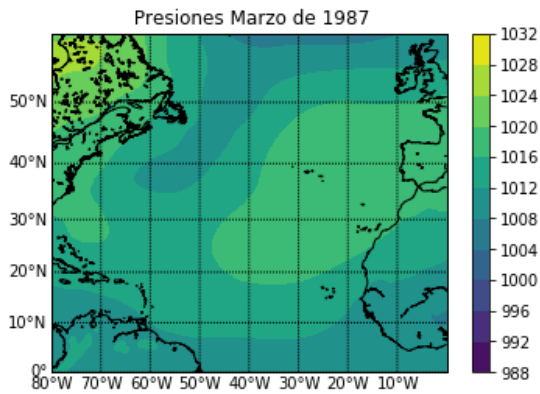


Fig 5.17 Imagen con el loading máximo del PC5.

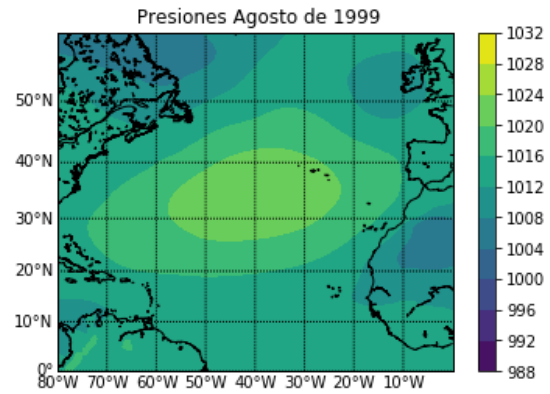


Fig 5.18 Imagen con el loading mínimo del PC5.

En la Fig 5.19 se obtiene un resultado acorde con esta observación, ya que los meses en los que es más probable encontrarnos con el modo negativo del PC5 son los meses de Julio, Agosto y Septiembre. Por otro lado la situación contraria tiene mayor probabilidad en los meses de Abril, Mayo y Marzo.

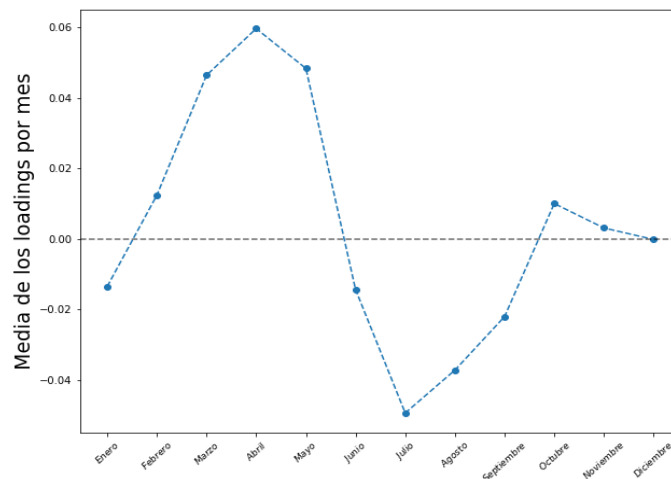


Fig 5.19 Media de los loadings del PC5 para presiones por meses.

Por último cuando se realiza la FFT del autovector de esta componente (Fig 5.6 y Tabla 5.5) se obtienen dos picos principales con periodos de 12.0 y 6.0 meses y con valores de poder espectral muy similares, lo que indica que ambas frecuencias son las principales moduladoras de la serie temporal. También se obtiene un pico, con mucha menor relevancia, en torno al valor de

frecuencia 0.019, lo que implica un periodo de 52.5 meses (4.4 años aproximadamente). Este ciclo no está presente en ninguna de las componentes principales anteriores y daría cuenta de un hecho muy aislado ya que esta componente principal solo explica el 3.7% del total. Las posibles explicaciones de este ciclo tan largo tienen que estar en fenómenos globales que puedan afectar al Anticiclón con una periodicidad en torno a los 4 años. Una de sus causas podría ser la Oscilación del Sur (ENSO) o comúnmente conocida como 'El Niño', un fenómeno que tiene lugar en las costas del Pacífico y que afecta a todo el planeta, esta oscilación también presenta un periodo en torno a 4 años. Sin embargo diversos estudios (P. Ribera, 2000) y (John Marshall, 2001) concluyen la inexistencia de correlaciones entre la ENSO y las variaciones que se producen en el Atlántico Norte, las cuales se ven afectadas en mayor medida por la NAO (North Atlantic Oscillation) y la QBO (Quasi-Biennial Oscillation) (P. Ribera, 2000). Aunque estas oscilaciones globales son una explicación lógica, las frecuencias y periodos que muestran estos autovectores pueden ser debido a multitud de factores que habría que analizar más en profundidad.

6 Conclusiones

Como se ha visto y estudiado el Anticiclón de las Azores presenta ciclos claramente estacionales que son los que caracterizan el tiempo en el archipiélago Canario. En Verano el anticiclón se encuentra situado más al Norte y más al Oeste que en las otras estaciones, produciendo un incremento en la intensidad de los vientos Alisios. Esta posición y sus altos valores de presión durante esta estación son los responsables de la casi nula presencia de bajas presiones en el archipiélago, ya que se ven obligadas a desplazarse más al Norte. Los meses de Primavera el anticiclón sigue unos parámetros muy similares a los de Verano pero con una menor estabilidad, como muestran las desviaciones estándar calculadas para esta estación. Donde se encuentra una mayor diferencia es en las estaciones de Invierno y Otoño en las cuales el Anticiclón se presenta, normalmente, muy expandido y su centro situado en latitudes más al Sur. Permitiendo la presencia de borrascas en las islas y dando lugar a un tiempo más inestable.

A la vista de los resultados que se han obtenido se puede concluir que el clima que presentan las Islas Canarias y sus alteraciones estacionales vienen gobernadas por los cambios que se producen en el Anticiclón de las Azores, tanto en su posición como en su intensidad.

También se debe tener en cuenta que las presiones en el Océano Atlántico Norte tienen una serie de modos o patrones que destacan por encima del resto. Los más relevantes para las Islas Canarias son los que muestran las PC2, PC4 y PC5. Estas componentes principales, además de mostrar situaciones muy parecidas a la que encontramos la mayoría de los meses de Verano o Invierno, muestran otros patrones en la posición de las altas y bajas presiones que no se observan a simple vista. Una de las más relevantes es la situación que muestra el PC3 con sus valores negativos activos, en la que el anticiclón se sitúa sobre las Islas Británicas y sobre las Islas Canarias predominan las bajas presiones, una situación típica de los meses de Otoño, que da lugar a la presencia de inestabilidades en el archipiélago.

El estudio de toda la serie temporal nos muestra que no existe tendencia alguna en todos los cálculos que hemos realizado salvo en el área de los meses de Verano, que es ligeramente negativa. Por lo que, en este estudio, no se puede concluir que el anticiclón se esté modificando. Aun así, para estudiar las posibles variaciones interanuales del Anticiclón, se debería de haber abarcado un mayor número de años de estudio, siendo insuficiente los 35 años analizados en este documento para observar este tipo de tendencias.

Con este trabajo se ha logrado caracterizar el Anticiclón de las Azores, sus ciclos y modos, pero no se ha podido analizar en profundidad su importancia en el clima de Canarias. Para lograr este objetivo se deberían de analizar datos de precipitaciones, temperaturas y demás magnitudes que

caracterizan el clima de esta región y realizar una correlación entre estas y las fases del Anticiclón.

Otra línea de investigación que se podría realizar es explicar las razones por las cuales el Anticiclón de las Azores tiene estas fases y estos ciclos, explicando la correlación de las oscilaciones globales como la NAO o la QBO, con esta alta presión.

7 Bibliografía

- Alexandrov, T. (2009). A method of trend extraction using singular spectrum analysis. *Revstat – Statistical Journal*, 1–22.
- Hasanean, H. M. (2004). Variability of the north atlantic subtropical high and associations with tropical sea-surface temperature. *International Journal of Climatology*, 945–957.
- John Marshall, Y. K. (2001). North atlantic climate variability: phenomena, impacts and mechanisms. *International Journal of Climatology*, 1863–1898.
- Maria Laura Bettolli, W. M. (2007). Aspectos metodológicos del uso del análisis de componentes principales en campos de anomalías de altura geopotencial en el sur de sudamerica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 273-285.
- NumFOCUS. (2008). *Python Data Analysis Library*. Obtenido de <https://pandas.pydata.org/>
- P. Ribera, R. G. (2000). Trends and interannual oscillations in the main sea-level surface pressure patterns over the Mediterranean 1955-1990. *Geophysical Research Letters*, 1143-1146.
- Robert E. Davis, B. P. (1996). The North Atlantic Subtropical Anticyclone. *Journal of Climate*, 728-744.
- Wes McKinney, J. P. (2011). Time Series Analysis in Python with statsmodels. *PROC. OF THE 10th Python in Science Conf.*, 96-102.
- Whitaker, J. (2016). *Welcome to the Matplotlib Basemap Toolkit documentation*. Obtenido de <https://matplotlib.org/basemap/>