



**Universitat de les
Illes Balears**

Facultat de Filosofia i Lletres

Memoria del Trabajo de Fin de Grado

¿Cómo influyen los Alpes en el clima de Mallorca?

Antoni Riera Quetglas

Grado de Geografía

Año académico 2018-19

DNI del alumno: 41617715 C

Trabajo tutelado por Dr. Enrique Morán Tejeda

Departament de Geografia

Se autoriza a la Universidad a incluir este trabajo en el Repositorio Institucional para su consulta en acceso abierto y difusión en línea, con fines exclusivamente académicos y de investigación.	Autor		Tutor	
	Sí	No	Sí	No
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Palabras clave del Trabajo:

Ciclogénesis de Génova, Precipitación, Viento, Mallorca.

Índice

Resumen – Abstract.....	1
Introducción	2
Estado del arte	3
Ciclogénesis de Génova	4
Objetivos	6
Área de estudio.....	7
Metodología	11
Resultados y discusión.....	15
Precipitaciones.....	15
Presión, temperatura y dirección del viento.....	21
Conclusiones	26
Agradecimientos	27
Referencias bibliográficas	28
Referencias web.....	29

Resumen – Abstract

En el presente trabajo se estudia la influencia que tiene la formación de la ciclogénesis de Génova a sotavento de los Alpes, sobre el clima de Mallorca. Para ello, se estudian los patrones espaciales y las tendencias pluviométricas, térmicas y anemométricas que envuelven la isla de Mallorca a partir de datos meteorológicos de precipitación para el periodo 1974-2014 y del estudio de dos ciclogénesis de Génova para comprender las temperaturas y la velocidad y dirección del viento. Los resultados finales indican que la borrasca de Génova, al introducir fuertes vientos del Norte sobre la isla, potenciados por el valle del Ródano, que actúa de autopista para conducir los vientos hacia las islas de Mallorca y Menorca, provoca una disminución de las temperaturas y produce en general, un descenso de la precipitación, con respecto a las condiciones en que no se forma la ciclogénesis.

In the present work, we study the influence of the formation of the Lee cyclogenesis of the Alps, on the climate of Mallorca. To do this, we study the spatial patterns and the pluviometric, thermal and anemometric trends that surround the island of Majorca, from meteorological data of precipitation for the period 1974-2014 and from the study of two lee cyclogenesis to understand the temperatures and the speed and direction of the wind. The final results indicate that the storm of Genoa, when introducing strong north winds on the island, boosted by the Rhone Valley, which acts as a motorway to drive the winds towards the islands of Majorca and Minorca, causes a decrease in temperatures and in general, it produces a decrease in precipitation, with respect to the conditions in which cyclogenesis is not formed.

Introducción

El origen del presente trabajo se encuentra en la pregunta que da título al mismo ¿Cómo influyen los Alpes en el clima de Mallorca? Los Alpes son el mayor sistema montañoso de la Europa occidental y, como se verá a lo largo del trabajo, incide de forma importante en el clima de todo el mediterráneo occidental y en concreto sobre la isla de Mallorca.

En el presente documento se tratará de explicar cómo influye el sistema alpino sobre condicionantes climáticos, como son las precipitaciones y los vientos sobre la isla de Mallorca, pudiendo afectar también al resto del archipiélago balear. Esta afección es producida cuando los vientos sobre las grandes llanuras europeas soplan en dirección hacia el mediterráneo, y, al encontrarse con el muro alpino, y no poder sobrepasarlo debido a su gran altitud, tiene que expandirse hacia este y oeste, el cual genera un vacío atmosférico en la zona a sotavento (sur) de los Alpes. Este vacío, unido al contraste térmico entre temperatura en superficie y en altura, genera una borrasca conocida como la depresión del golfo de Génova. Esta depresión introduce los vientos de tramuntana (norte) que han sido desviados al oeste de los Alpes, cogen velocidad en el valle del Ródano, el cual se abre paso al mediterráneo y sopla de lleno sobre las Islas Baleares, en concreto a Menorca y al norte y noreste de Mallorca.

Sobre este fenómeno, conocido como “Lee Cyclogenesis” el cual se podría denominar como ciclogénesis de Génova o borrasca de sotavento, se ha demostrado que afectan con bastante frecuencia al archipiélago balear, por lo cual ha atraído históricamente la atención de los meteorólogos.

En el presente trabajo se tratará de analizar el comportamiento de este fenómeno climático mediante una serie de datos meteorológicos, tanto pluviométricos como de viento, tomados de la isla de Mallorca por tal de confirmar que es dicha ciclogénesis con su respectiva borrasca y sus rachas de viento, las que azotan el norte de Mallorca en las conocidas tramuntanadas de norte.

Estado del arte

En la exploración y en busca de información sobre literatura existente a través de artículos científicos e investigaciones referentes a las ciclogénesis explosivas, advecciones en el mediterráneo occidental y estudios climatológicos de determinadas áreas mediterráneas, se ha podido encauzar este nuevo trabajo relativo a las influencias climáticas en una región mediterránea.

De los primeros documentos que abordan dicho tema fueron los baleares Josep Maria Jansà y su hijo Agustí Jansà, grandes estudiosos de la meteorología mediterránea y de Mallorca y Menorca a mediados y finales del siglo XX. También destacan artículos referentes a la ciclogénesis de sotavento de los Alpes para la España peninsular, como el artículo del valle del Ebro de Mariano Medina en 1982.

Ya más actualmente, se han realizado artículos tal vez de mayor carácter científico como el esloveno Jože Baša en 2007 con un artículo sobre la lee cyclogenesis; tesis doctorales referentes a las ciclogénesis mediterráneas, como la de Francisco José Pastor en 2012, o los efectos del WeMO en la península ibérica por Izquierdo, Alarcón y Ávila en 2013.

Sobre las ciclogénesis, se han hecho números estudios referentes a su formación y afección, el principal de ellos el estudio ALPEX (Kljun, 2001). Debido al avance en el estudio de estas ciclogénesis orográficas, se han realizado modelos de pronóstico con simulaciones para conocer el avance de estas borrascas. Estas se han hecho en cordilleras que puedan generar ciclogénesis a sotavento, como el estudio de los Alpes (ALPEX), de los Pirineos (PYREX) o de las montañas del Atlas (Horvath, 2006).

Ciclogénesis de Génova

Una ciclogénesis, tal y como su nombre indica, es un fenómeno meteorológico que crea o genera ciclones, borrascas y bajas presiones. Un ciclón es un sistema de bajas presiones con abundantes precipitaciones, frecuentemente torrenciales y fuertes vientos con rachas que fácilmente pueden superar los 100 km/h. Estos ciclones giran en sentido contrario a las agujas del reloj en el hemisferio norte, mientras que en el hemisferio sur tiene un giro horario. Estas ciclogénesis pueden producirse en diferentes tamaños y escalas, desde una microescala en un lugar muy concreto a una mesoescala o escala sinóptica con mayor cobertura geográfica (García, 2016).

Las ciclogénesis tienen su origen en diferentes condicionantes, los cuales pueden ser climáticos; orográficos y por colisión entre masas de aire frío polar y masas de aire cálido tropical; ambas suelen localizarse en latitudes medias.

Las ciclogénesis, dependiendo de su formación, presentan una serie de fases, en que para las ciclogénesis ondulatorias asociadas a frentes polares son las siguientes:

- Fase de Formación: se produce cuando el frente polar (frente de aire frío y seco) empieza a ondular hacia el sur por el empuje del frente cálido tropical (frente de aire cálido y húmedo) creando una onda frontal entre los dos frentes que se va cerrando progresivamente sobre sí misma.
- Fase de Desarrollo: la formación de la borrasca se origina en el punto donde se unen los dos frentes en dirección donde el viento converge. En la cola de ambos frentes se producen intensas precipitaciones, principalmente en el frente frío pero siendo más persistentes en el frente cálido; mientras la presión desciende, tanto en altura como en superficie.
- Fase de Oclusión: el frente frío avanza más rápido que el frente cálido, por ese motivo alcanza al frente cálido provocando una oclusión, es decir, un aislamiento del frente cálido y de la elevación del aire caliente.
- Fase de Disolución: Cuando se produce la oclusión se debilita la borrasca, quedando aislada y perdiendo intensidad hasta su disolución, en que vuelven a aumentar las presiones. (Gazulla, 2010)

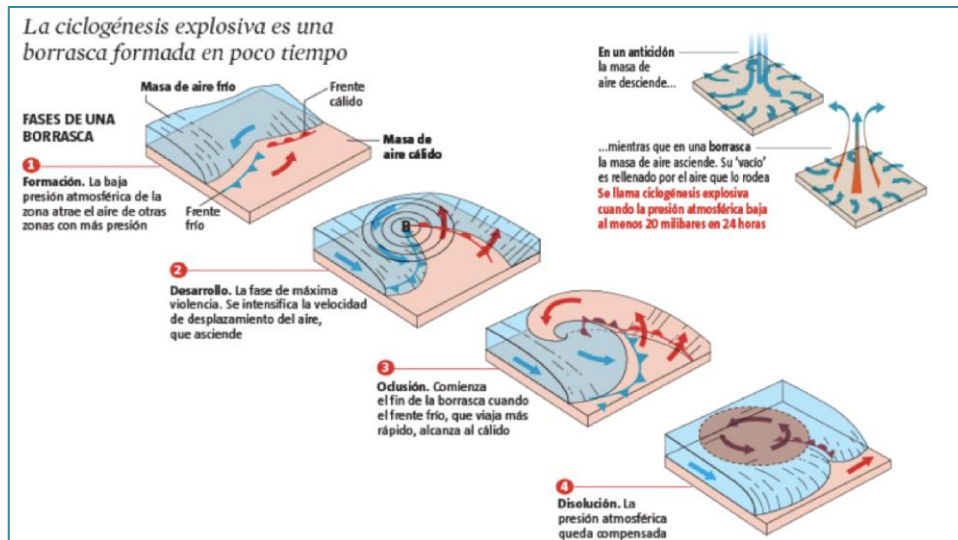


Figura 1. Fases de formación de una ciclogénesis explosiva. (Penín, 2017)

En relación a la ciclogénesis de Génova, borrasca de sotavento o Lee ciclogénesis, es una gran borrasca de origen orográfico (Baša, 2007), que surge del vacío que dejan los Alpes al pasar las masas de aire de norte a sur, en que, debido a su elevada altitud, solo pasan las masas más altas y las bajas tienen que desviarse debido al muro altitudinal alpino. (Figura 2). Ya en la parte meridional alpina, debido al contraste de ausencia de masas en superficie y masas en altura, se genera un vacío barométrico que genera una ciclogénesis en el golfo de Génova, que causa numerosos vendavales de componente norte y noreste en el ámbito balear e importantes precipitaciones torrenciales. (Medina, 1982)

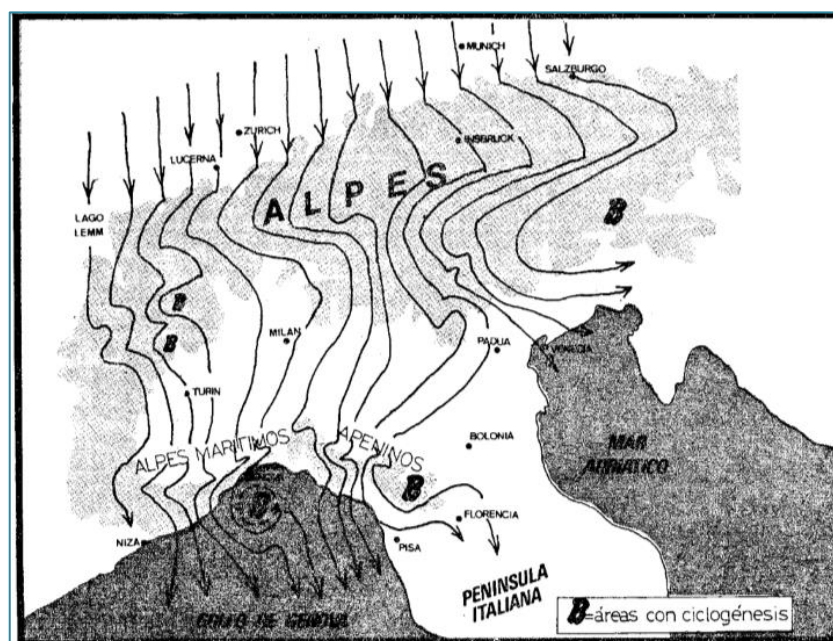


Figura 2. Ciclogénesis de Génova. (Medina, 1982)

Tras la creación de la borrasca de sotavento de los Alpes, se localiza en el mar de Liguria y puede tener un movimiento que lo desplace hacia la península itálica, hacia las islas de Córcega y Cerdeña o hacia las Illes Balears y la costa levantina de la península ibérica.

En el caso de que la borrasca se aproxime hacia las costas de Mallorca, generará bajada de presiones, con predominio de ausencia de precipitaciones y fuertes rachas de viento. Estas rachas de viento serán potenciadas por el valle del río Ródano.

El río Ródano nace en los Alpes y está encajado en un valle de dirección norte sur que aprovecha los vientos del norte de los Alpes que no han podido sobrepasar la cordillera y se encajan en el valle alcanzando fuertes rachas de viento que desembocan en el norte del mediterráneo, entre los golfos de León y de Génova. Estos fuertes vientos de componente norte a lo largo del Ródano refuerza la ciclogénesis de Génova con fuertes flujos de vientos y lluvias que pueden llegar hasta el norte de África, pasando por Mallorca. (Pastor, 2012)

Objetivos

El objetivo fundamental del presente trabajo es demostrar cómo las borrascas que se forman en el golfo de Génova debido a la ciclogénesis de sotavento influyen directamente en las precipitaciones y rachas de viento que llegan a las costas de Mallorca y por lo tanto en su clima.

Se analizarán los datos de precipitaciones en distintos puntos de Mallorca para el período 1974-2014 y datos de viento en los periodos que se han llevado a cabo grandes eventos pluviométricos.

Finalmente, demostrar si cuando se producen las borrascas de sotavento, los datos de viento y pluviométricos, padecen un aumento que lo relacione.

Área de estudio

En cuanto al ámbito geográfico, el presente estudio se engloba en el Mediterráneo occidental, comprendiendo desde los Alpes franco-suizos hasta las llanuras franco-italianas, los golfos de León y de Génova, el mar mediterráneo hasta llegar a las costas de Mallorca y Menorca, en las Illes Balears.

Al estudiar un fenómeno climático, es muy difícil establecer fronteras en un ámbito de estudio, ya que puede localizarse en una zona muy concreta y pequeña en el espacio, o por el contrario, puede ocupar un amplio territorio. Aun así, se focalizan como área de estudio el sistema montañoso de los Alpes y la isla de Mallorca. (Figura 3)

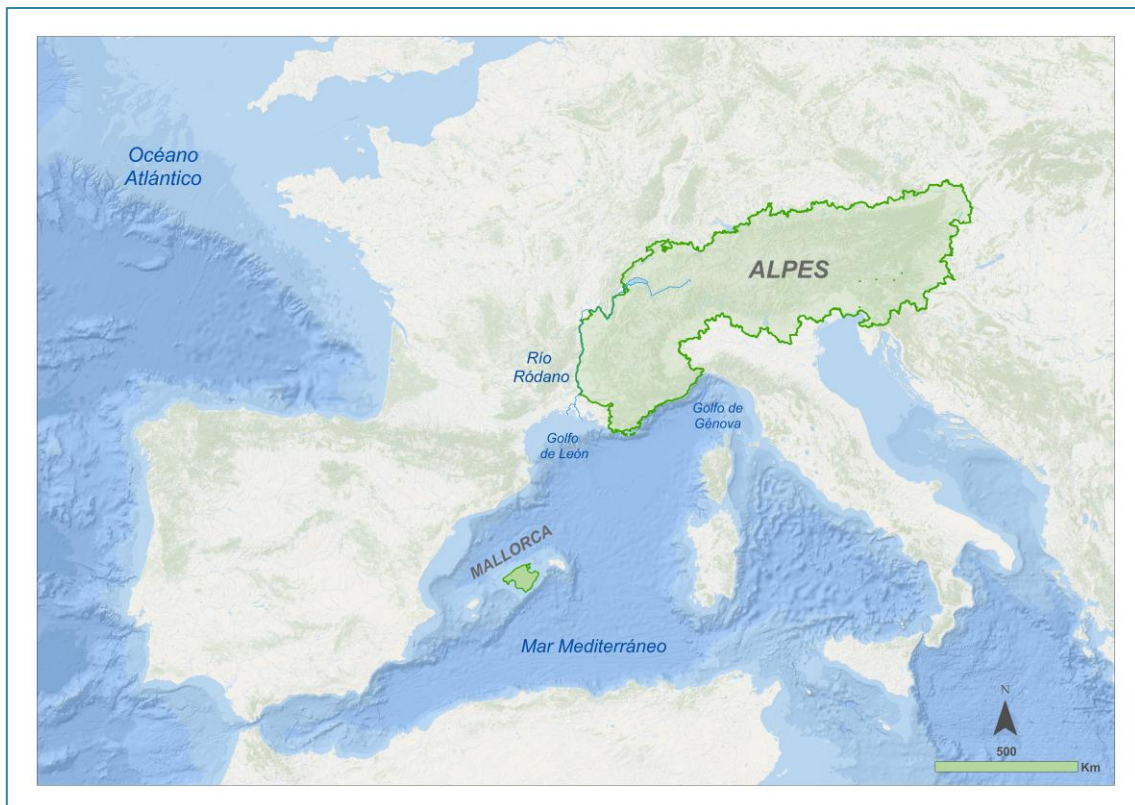


Figura 3: Localización del área de estudio

Los Alpes tienen, desde el punto de vista geográfico, una importancia muy notable sobre Europa occidental y el Mediterráneo, siendo una cordillera de grandes dimensiones con alturas de hasta 4800 metros, como el Mont Blanc; una mayor anchura de la cordillera alpina de 200 km y una longitud cercana a los 1200 km (De Martonne, 1955). Esta cordillera presenta una superficie aproximada de unos 257.670 km².

Debido a sus grandes dimensiones, los Alpes se dividen en cinco grandes sectores: los Alpes del sudoeste, los Alpes del noroeste, los Alpes del noreste, los Alpes centrales del este y los Alpes del sudeste; según la división realizada por la SOIUSA (Subdivisión Orográfica Internacional Unificada del Sistema Alpino). Aun así, debido a los contrastes y afinidades que presentan las regiones alpinas, se debe decidir por un corte transversal, en el cual no se puede escapar a la división entre Alpes orientales y Alpes occidentales. (De Martonne, 1955).

La cordillera alpina, se localiza horizontalmente al norte de la península itálica llegando hasta el sur francés. Limita con el Golfo de Génova al sur y con el Golfo de León al suroeste, mientras que con la isla de Mallorca presenta una mayor lejanía, separado por el mar Mediterráneo, la isla se localiza al suroeste de los Alpes.

El Golfo de Génova, al noroeste de la península italiana, es el lugar donde se forma la ciclogénesis, aunque geográficamente bastante alejado de Mallorca, localizada más al suroeste.

El valle del Ródano, valle encajado por el cual pasa el río Ródano, que nace en los Alpes, desemboca en el sur francés y transporta los vientos de tramuntana hacia el Mediterráneo occidental, de componente norte sobre Mallorca.

En relación a Mallorca, es una isla localizada en el Mediterráneo occidental que limita con el este de la costa levantina de la península ibérica por occidente, el oeste de la segunda isla de mayor relieve del mediterráneo, Cerdeña por oriente, mientras que septentrionalmente limita con las costas catalanas y el golfo de León y meridionalmente con las costas argelinas del norte de África.

La isla de Mallorca presenta una superficie total de 3.640 km², siendo la mayor isla del archipiélago balear y la mayor de España, incluyendo a las islas atlánticas de Canarias y la séptima del mediterráneo, por detrás de Sicilia, Cerdeña, Chipre, Córcega, Creta y Eubea. Las coordenadas geográficas de la isla son 39° 36' 30" N y 3° 0' 43" E.

Desde el punto de vista geológico, la isla de Mallorca se puede dividir en tres grandes unidades morfo-estructurales, la Serra de Tramuntana, las Serres de Llevant y Es Pla de Mallorca.

La Serra de Tramuntana se localiza en la vertiente norte de la isla, con una distribución de N-E a S-O y un diámetro cercano a los 100 km. Es en este sistema montañoso donde se localizan las mayores altitudes de la isla, con una serie de picos que superan los mil metros.

Las Serres de Llevant se localizan al este de la isla, con una distribución de NN-E a SS-O, con una distancia de unos 60 km. Son el segundo sistema de la isla en cuanto a elevación, en que los mayores picos superan los quinientos metros de altura.

Es Pla de Mallorca es la tercera unidad morfo-estructural de la isla, la cual se localiza en el centro de la isla, comprendida entre los dos sistemas montañosos citados anteriormente. El principal y único que supera los quinientos metros es el Puig de Randa.

En relación al tema que nos ocupa, las precipitaciones; el régimen pluviométrico de la isla de Mallorca es claramente típico del clima mediterráneo, al igual que en las temperaturas (ver Figura 4). Las temperaturas varían entre los 9-10°C en meses de invierno, lo que indican inviernos suaves, mientras que, en verano, pueden llegar a ascender hasta los 25°C, lo cual indica veranos cálidos. El aumento de temperaturas a lo largo de los meses es paulatino y suave, a excepción de final de verano y principio de otoño, que el descenso es más acusado. Las precipitaciones se concentran sobre todo en las estaciones de otoño e invierno, notablemente húmedas, con valores que superan los 60 mm mensuales e incluso los 100 mm/mes en los meses más lluviosos; mientras que en verano, las precipitaciones son muy escasas, destacando los meses de junio, julio y agosto que no superan los 20 mm y suelen causar sequía y aridez sobre la isla, aunque cuando se dan pueden ser abundantes y concentradas en un breve espacio de tiempo.

Aun así, debido a la complejidad de la isla, existen severas diferencias entre las precipitaciones del norte de la isla con la zona sur, presentando valores superiores a 800 mm anuales, incluso superiores a 1000 mm en las zonas de mayor altitud, en el norte de la isla en la Serra de Tramuntana, mientras que en el Pla de Campos y la marina de Santanyí, los valores anuales oscilan entre los 400 y 500 mm anuales, pudiendo ser inferiores a 400 mm anuales en años de sequía o escasas precipitaciones (Grimalt, 1989).

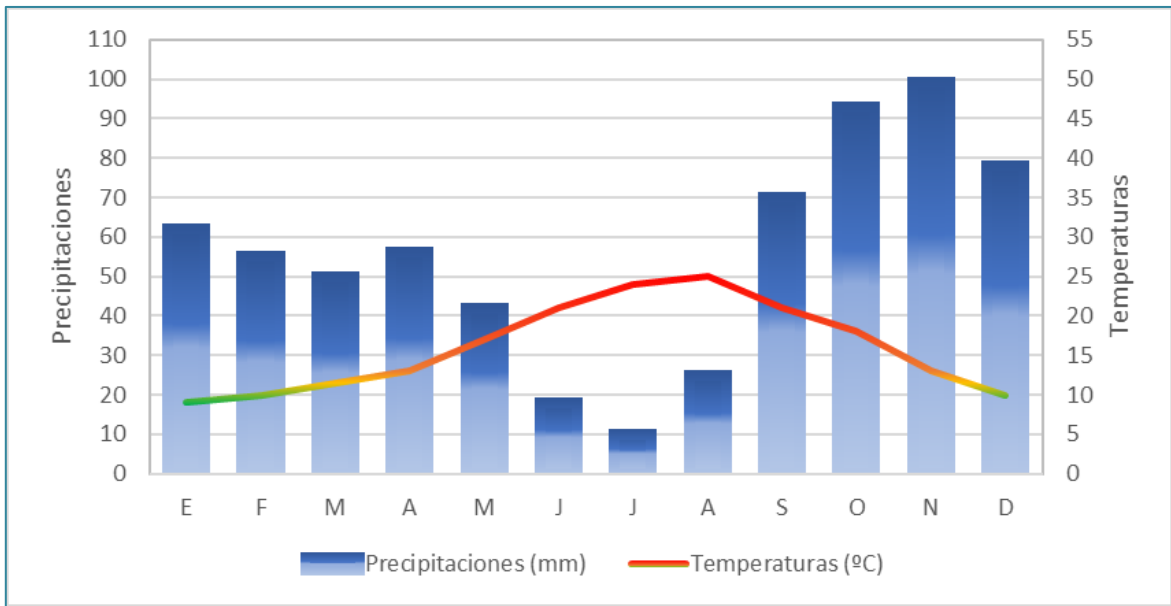


Figura 4. Climograma de Mallorca (1974-2014). AEMET.

Metodología

Para la realización del presente trabajo se han tomado como referencia series mensuales de precipitación de las estaciones meteorológicas de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). En estas estaciones de la isla de Mallorca, se considera para el estudio un período de 40 años, entre 1974 y 2014.

Este periodo es de vital importancia por dos motivos, el primero es que la serie temporal tiene que ser superior a los 30 años, ya que es el periodo mínimo según la OMM (Organización Meteorológica Mundial) para analizar con criterio y fiabilidad la variabilidad climática; el segundo es que coja valores cercanos a la actualidad, y como esta serie temporal finaliza en 2014, se puede considerar temporalmente reciente.

Para los datos de precipitación, se han tenido en cuenta las 39 estaciones con datos pluviométricos de la AEMET. (Ver Tabla 1) Repartidos geográficamente por toda la isla balear. (Figura 5)

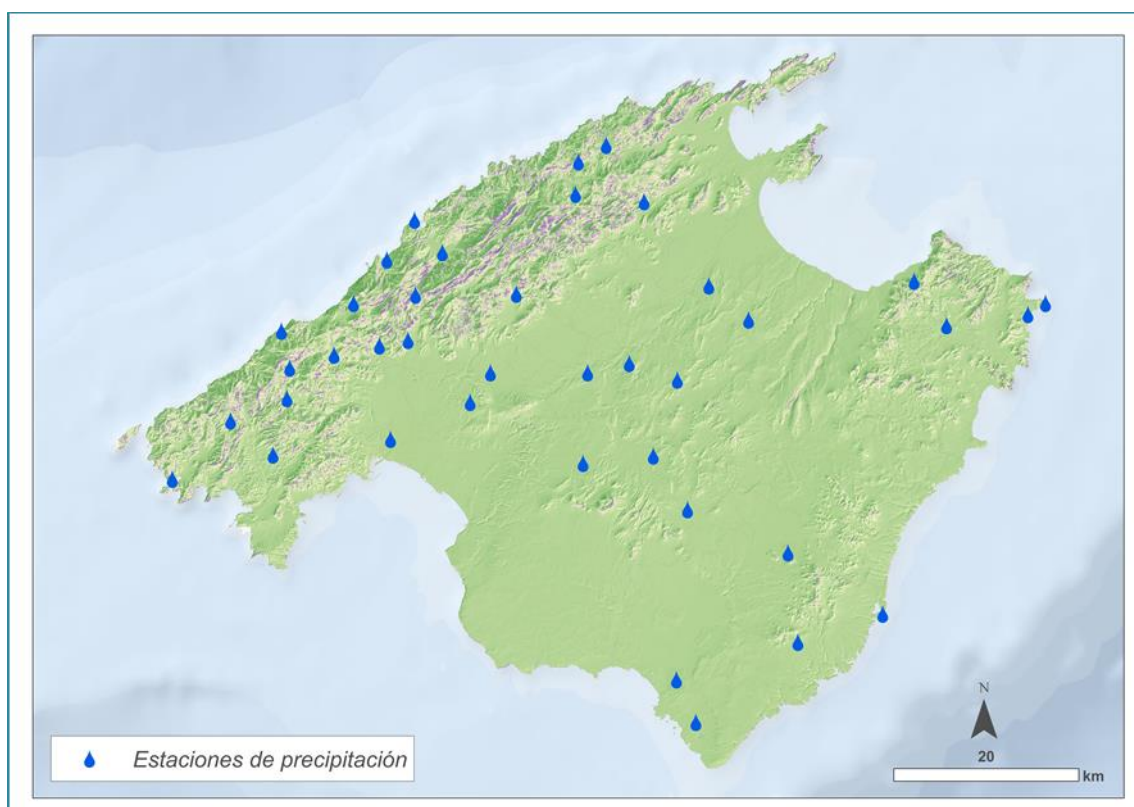


Figura 5. Estaciones meteorológicas de Mallorca.

- Estaciones meteorológicas de Mallorca.

ID	NOMBRE	X	Y	Z
B007	Mortitx	493500	4413600	371
B013	Lluc	490200	4408300	490
B019	Mossa	490500	4411800	530
B061	Sóller	475800	4402000	40
B075	Far Punta Grossa	472800	4405500	130
B077	Son Bujosa	469800	4401200	131
B084	Son Mas	466200	4396500	375
B087	Banyalbufar	458400	4393500	91
B108	Port d'Andratx	446600	4377500	10
B118	Andratx s'Alqueria	452900	4383800	245
B178	Calvià	457500	4380100	145
B217	La Campaneta	459300	4389500	535
B220	Son Net	459000	4386200	220
B228A	Palma Urania	470200	4381800	36
B240	Esporles	464100	4390900	180
B244	Son Pacs	469000	4391900	190
B249	Biniforani Nou	472900	4397400	360
B260	Bunyola Raixa	472100	4392500	155
B273	Sa Cabaneta	478800	4385800	152
B346	Porreres	502300	4374200	120
B373	Campos Salines de Llevant	501100	4355800	3
B379	Ses Salines sa Vall	503200	4351200	10
B424	S'Alqueria Blanca	514233	4359854	115
B434	Far de Portocolom	523400	4362900	17
B520	Artà	530300	4394100	115
B560	Cala Ratjada	539100	4395300	10
B569	Far de Capdepera	541000	4396500	66
B602	Ermita Betlem	526800	4398900	275
B606	Felanitx	513164	4369532	115
B644	Sineu	501200	4388200	141
B645	Santa Margalida	508900	4394700	85
B652	Alaró Son Bergues	483800	4397500	240
B656	Santa Maria	481000	4389000	130
B664	Sencelles	491500	4389000	105
B666	Montuiri	498600	4380000	164
B670	Algaida I	491000	4379200	194
B674	Costitx	496000	4390000	120
B682	Muro	504600	4398400	50
B696	Campanet Biniatró	497600	4407500	120

Tabla 1. Estaciones meteorológicas de Mallorca. AEMET.

Una vez con estos datos pluviométricos de las estaciones meteorológicas de Mallorca, se analizarán las precipitaciones medias estacionales durante las fases positivas y negativas del WeMO (Oscilación del Mediterráneo Occidental) con la finalidad de discernir cómo este patrón atmosférico, que guarda estrecha relación con la borrasca de Génova, influye en el régimen de precipitaciones de la isla.

El WeMOi es un índice realizado a partir de un modelo de teleconexión (anomalías climáticas relacionadas a grandes distancias) que mide la presión atmosférica en el marco sinóptico de la cuenca mediterránea occidental (Universitat de Barcelona, 2019). Esta se caracteriza por la presencia de dos puntos de presión en el Mediterráneo occidental, un primero en Padua, al noreste de Italia, cerca de Venecia, y un segundo en San Fernando, en el suroeste español, cerca de Cádiz. Este índice tiene su origen debido a que el NAO (Oscilación del Atlántico Norte) no presenta ninguna correlación entre las precipitaciones procedentes del Atlántico y las de la fachada levantina española.

En las fases positivas del WeMO, se localiza una baja presión o borrasca en el golfo de Génova (objeto del presente estudio) y una alta presión o anticiclón en el suroeste de la península ibérica. En esta fase, los vientos predominantes son de componente noroeste procedente de la costa cantábrica, los cuales llegan debilitados a la isla de Mallorca ya que han descargado las precipitaciones en la península ibérica y llegan vientos y nubes secas, con ausencia de lluvias.

En la fase negativa, se produce el efecto contrario, un anticiclón en el golfo de Génova y una depresión al oeste del estrecho de Gibraltar. Esta fase, conlleva vientos predominantes de componente este que lleva abundantes precipitaciones y fuertes rachas de viento a las Illes Balears y el levante peninsular, muchas de las veces acumulando precipitación en pocas horas siendo la culpable de tormentadas e inundaciones. (ver Figura 6)

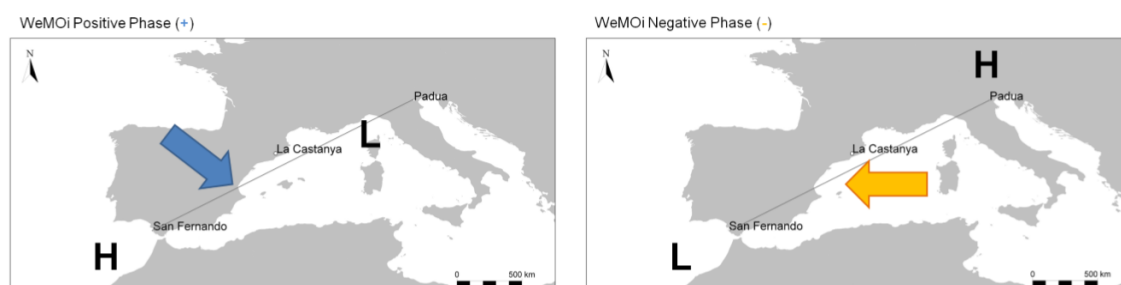


Figura 6. Fases positiva y negativa del WeMO. (Izquierdo, 2013)

Una vez determinadas las fases positivas y negativas de la oscilación del Mediterráneo Occidental, se han calculado las precipitaciones medias para cada fase y estación pluviométrica, por estaciones. Seguidamente se ha realizado una interpolación tipo Kriging para obtener los mapas de precipitación de la isla, uno para invierno, primavera, verano y otoño en sus dos variantes, fases positiva y negativa.

En relación a los vientos, la obtención de una serie temporal válida no ha sido posible debido a las pocas estaciones meteorológicas que albergan dichos datos y la gran cantidad de lagunas en los datos. Para observar estos fuertes vientos, se han analizado a partir de dos episodios de ciclogénesis, los episodios de mediados de diciembre de 1998 y de principios de abril de 2007.

Para analizar la situación sinóptica, tanto en superficie como en altura, durante dichos eventos, se han utilizado datos del reanálisis ERA Interim del ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), disponibles de forma gratuita en <https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/>. En concreto se han utilizado datos de presión a nivel del mar, los componentes U y V del viento a 10 metros, de altitud geopotencial a 500 hPa, y de temperatura y componentes U y V de viento a 500 hPa, en una resolución temporal de 6 horas, y una resolución espacial de 1.125 grados para representar el Mediterráneo y Europa y otra resolución de 0.125 grados únicamente para las islas de Mallorca y Menorca. Dichos datos se han visualizado y cartografiado mediante la herramienta de acceso libre OpenGrADS, en que a modo de secuencia temporal, se podrá visualizar el desarrollo que tuvieron las condiciones meteorológicas en esas fechas y tratar de entender el porqué de dicho movimiento.

Una vez con la cartografía final de las precipitaciones en las fases positiva y negativa del WeMO, dependiendo de la estación del año en el que se encuentre y observando la presión en superficie y en altura de los dos eventos estudiados, se podrá determinar si la cordillera alpina tiene una influencia directa sobre la creación de borrascas a sotavento en el golfo de Génova que puedan influenciar directamente sobre las costas de Mallorca o por el contrario, las precipitaciones abundantes que llegan a las islas de Mallorca y Menorca tienen otros orígenes no relacionados con la mayor cordillera de la Europa occidental.

Resultados y discusión

En este apartado, se exponen, se analizan y se explican los resultados obtenidos a partir de los datos tomados y las operaciones realizadas con la finalidad de extraer unas conclusiones.

Para ello, se dividen los resultados en dos apartados, el primero referente a las precipitaciones de Mallorca según fases positiva y negativa del WeMO para ver en que ocasión se producen más precipitaciones y porqué; y en segundo lugar, la presión atmosférica, temperatura y dirección del viento, para finalmente hacer un balance global de como estas dos variables influyen en el clima de Mallorca y porque son los Alpes, uno de los condicionantes.

Precipitaciones

En las dos siguientes tablas, se presentan los valores obtenidos en todas las estaciones meteorológicas de Mallorca con los datos pluviométricos para las estaciones de invierno, primavera, verano y otoño para las fases positivas con valores superiores a +1 (ver Tabla 2) y para las fases negativas con valores inferiores a -1 (ver Tabla 3).

- Fase positiva

ID	Estación	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
B007	Mortitx	75,176	70,533	44,571	122,952
B013	Lluc	97,471	96,800	47,429	135,905
B019	Mossa	79,000	76,200	41,000	120,143
B061	Sóller	71,353	68,400	24,857	88,286
B075	Far Punta Grossa	24,941	37,000	20,048	68,619
B077	Son Bujosa	52,471	51,333	31,429	89,810
B084	Son Mas	57,118	51,267	35,381	94,952
B087	Banyalbufar	30,824	29,800	30,524	76,143
B108	Port d'Andratx	30,471	36,933	19,429	56,381
B118	Andratx S'Alqueria	54,294	48,267	24,429	65,762
B178	Calvià	36,471	43,533	18,619	68,381
B217	La Campaneta	59,647	56,000	33,571	100,857
B220	Son Net	47,941	54,133	25,000	77,286
B228A	Palma Urania	29,294	34,067	23,952	67,048
B240	Esporles	44,647	51,267	33,381	90,190
B244	Son Pacs	46,176	46,200	25,048	73,048
B249	Biniforani Nou	61,765	75,400	24,381	96,095
B260	Bunyola Raixa	55,294	53,867	27,762	83,286
B273	Sa Cabaneta	28,824	29,933	23,048	55,667
B346	Porreres	30,882	37,133	22,667	60,333
B373	Campos	24,706	28,533	16,095	50,762
B379	Ses Salines Sa Vall	24,529	30,067	13,571	43,905
B424	S'Alqueria Blanca	29,118	32,733	17,714	47,190
B434	Far de Portocolom	33,471	39,800	19,762	61,095
B520	Artà	52,176	57,400	23,238	81,857
B560	Cala Rajada	41,529	46,600	25,000	90,381
B569	Far de Capdepera	24,882	43,533	22,905	57,095
B602	Ermita de Betlem	36,588	46,933	24,524	72,048
B606	Felanitx	29,353	37,400	20,000	59,286
B644	Sineu	35,176	39,667	20,000	58,381
B645	Santa Margalida	41,824	45,267	29,762	75,190
B652	Alaró Son Bergues	59,941	53,267	36,000	81,429
B656	Santa Maria	32,647	40,200	23,333	57,000
B664	Sencelles	32,471	34,733	25,429	58,524
B666	Montuiri	36,471	38,533	22,714	59,286
B670	Algaida	36,118	40,533	25,238	58,857
B674	Costitx	31,235	30,333	22,762	51,667
B682	Muro	46,882	43,467	26,476	76,524
B696	Campanet Biniatró	77,059	70,800	25,190	100,095

Tabla 2. Datos precipitación por estación según fase positiva del WeMO.

○ Fase negativa

ID	Estación	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
B007	Mortitx	137,192	76,523	32,067	144,900
B013	Lluc	174,385	101,591	27,667	158,867
B019	Mossa	143,423	73,227	25,867	152,267
B061	Sóller	101,500	60,682	24,000	104,800
B075	Far Punta Grossa	58,654	35,045	19,933	78,967
B077	Son Bujosa	85,154	49,909	28,567	97,767
B084	Son Mas	95,962	57,636	24,433	101,333
B087	Banyalbufar	59,115	36,159	21,367	90,133
B108	Port d'Andratx	50,885	30,614	14,300	58,533
B118	Andratx S'Alqueria	69,769	52,841	20,600	94,300
B178	Calvià	57,192	46,091	21,400	82,500
B217	La Campaneta	95,462	66,091	23,000	115,367
B220	Son Net	81,654	55,841	18,567	105,400
B228A	Palma Urania	77,769	48,659	16,567	81,467
B240	Esporles	81,077	53,841	23,067	99,300
B244	Son Pacs	71,154	55,523	18,867	79,000
B249	Biniforani Nou	107,308	70,364	26,000	101,600
B260	Bunyola Raixa	80,038	55,364	19,700	90,100
B273	Sa Cabaneta	60,808	44,500	13,967	78,367
B346	Porreres	65,192	42,864	14,733	75,600
B373	Campos	58,769	33,386	13,933	69,367
B379	Ses Salines Sa Vall	53,846	31,182	8,400	65,000
B424	S'Alqueria Blanca	67,846	36,750	11,167	76,533
B434	Far de Portocolom	75,885	41,295	10,800	84,967
B520	Artà	94,000	50,318	14,767	95,667
B560	Cala Rajada	70,692	39,705	12,300	87,500
B569	Far de Capdepera	56,962	29,841	13,633	75,733
B602	Ermita de Betlem	85,154	50,795	15,300	89,533
B606	Felanitx	67,846	43,932	13,867	81,567
B644	Sineu	73,000	44,523	16,933	88,367
B645	Santa Margalida	83,308	50,455	16,267	105,133
B652	Alaró Son Bergues	92,462	60,386	18,700	102,567
B656	Santa Maria	64,846	44,341	21,133	78,167
B664	Sencelles	69,462	42,364	16,767	84,433
B666	Montuiri	70,692	39,682	15,600	74,200
B670	Algaida	70,654	41,659	14,733	82,767
B674	Costitx	65,077	39,091	19,433	76,600
B682	Muro	78,500	46,455	18,967	86,600
B696	Campanet Biniatró	123,077	67,250	23,333	124,600

Tabla 3. Datos precipitación por estación según fase negativa del WeMO.

Para la fase positiva, se observa con notoria claridad que en los meses de verano es cuando la precipitación es menor, sin superar los 50 mm de media estacionales, mientras que en invierno y primavera las precipitaciones aumentan, siendo en general levemente superiores las de invierno, acercándose a los 100 mm en las estaciones del norte de la isla en ambas estaciones. En dónde mayores precipitaciones se concentran para esta fase es en otoño, donde las precipitaciones en estaciones de la Serra de Tramuntana superan los 100 mm y en las 39 estaciones, los mayores registros se concentran en otoño.

Las estaciones que mayores precipitaciones concentran para esta fase son las de Mortitx, Lluc, Mossa, La Campaneta y Campanet, todas ubicadas en la Serra de Tramuntana al norte de la isla.

Por otra parte, la zona sureste de Mallorca es la que menores precipitaciones recibe, siendo mas seca y árida. Las estaciones de Campos, Ses Salines, S'Alqueria Blanca, Felanitx y Far de Portocolom, todas en la vertiente sureste de la isla, en meses de verano apenas llegan a los 20 mm.

Para la fase negativa, las precipitaciones se concentran claramente en los meses de otoño e invierno, mientras que en primavera son menores y en verano muy escasas.

Las estaciones de Mortitx, Lluc, Mossa, Sóller, La Campaneta, Biniforani Nou y Campanet, superan los 100 mm tanto en otoño como en invierno, llegando hasta los 174 mm en Lluc (estación de máxima precipitación). Estas, siguen concentrándose en la zona de cordillera del norte de Mallorca.

En cambio, las estaciones de Port d'Andratx, Son Net, Palma, Son Pacs y Sa Cabaneta en la zona suroeste; Porreres, Sineu, Santa Margalida, Sencelles, Montuïri, Algaida y Muro en la zona central de la isla y Campos, Ses Salines, Far de Portocolom, Artà, Cala Rajada, Far de Capdepera, Ermita de Betlem y Felanitx en la zona sur y este de Mallorca, concentran precipitaciones inferiores a 70 mm en las estaciones más lluviosas pero en verano presentan una sequía notoria con precipitaciones inferiores a 20 mm, siendo en Ses Salines la estación más árida con 8 mm de media en los meses de verano.

Estos datos se ven con mayor claridad en la Figura 7 (véase a continuación) en la que se observa una evidencia de mayores precipitaciones de invierno y otoño en las fases negativas mientras que en primavera y verano, la precipitación es levemente superior en la fase positiva.

Estos resultados indican que para los datos de mayores precipitaciones, se producen en las fases negativas del WeMO, es decir, cuando la baja presión se localiza en el golfo de Cádiz y el anticiclón en el norte del Adriático.

En la fase negativa, el anticiclón se localiza al sur de los Alpes y la borrasca se genera en el Atlántico. Esto produce precipitaciones a Mallorca de dirección este, procedentes de Cerdeña e Italia, asociadas a circulaciones mediterráneas.

La mayor precipitación en Mallorca se produce en invierno y otoño en fases negativas, por lo que está asociado a circulaciones mediterráneas. Estas precipitaciones son debidas a las entradas de masas de aire enriquecidas con iones marinos del este al oeste del mediterráneo, típicas de los anticiclones invernales mediterráneos. (Izquierdo, 2013)

En la fase positiva, la borrasca se localiza en el mar de Liguria, al norte de Italia, mientras que el anticiclón se produce en el golfo de Cádiz, la cual conlleva precipitaciones a Mallorca procedentes del Atlántico Norte, las cuales tienen que atravesar toda la península ibérica y llegan bastante debilitadas a la isla.

En conclusión, las precipitaciones en Mallorca, fundamentalmente no están causadas por la borrasca de sotavento de los Alpes, ya que esta borrasca tiende a formarse en fases positivas del WeMO, y en fases positivas, las mayores precipitaciones en Mallorca llegan de componente noroeste, de la península ibérica, no de los Alpes. Por tanto, cuando se genera una borrasca al sur de los Alpes, en términos de precipitación, no tiende a influir, aunque también podrían generar precipitaciones en eventos en que la borrasca se dirija desde el mar de Liguria hacia Mallorca.

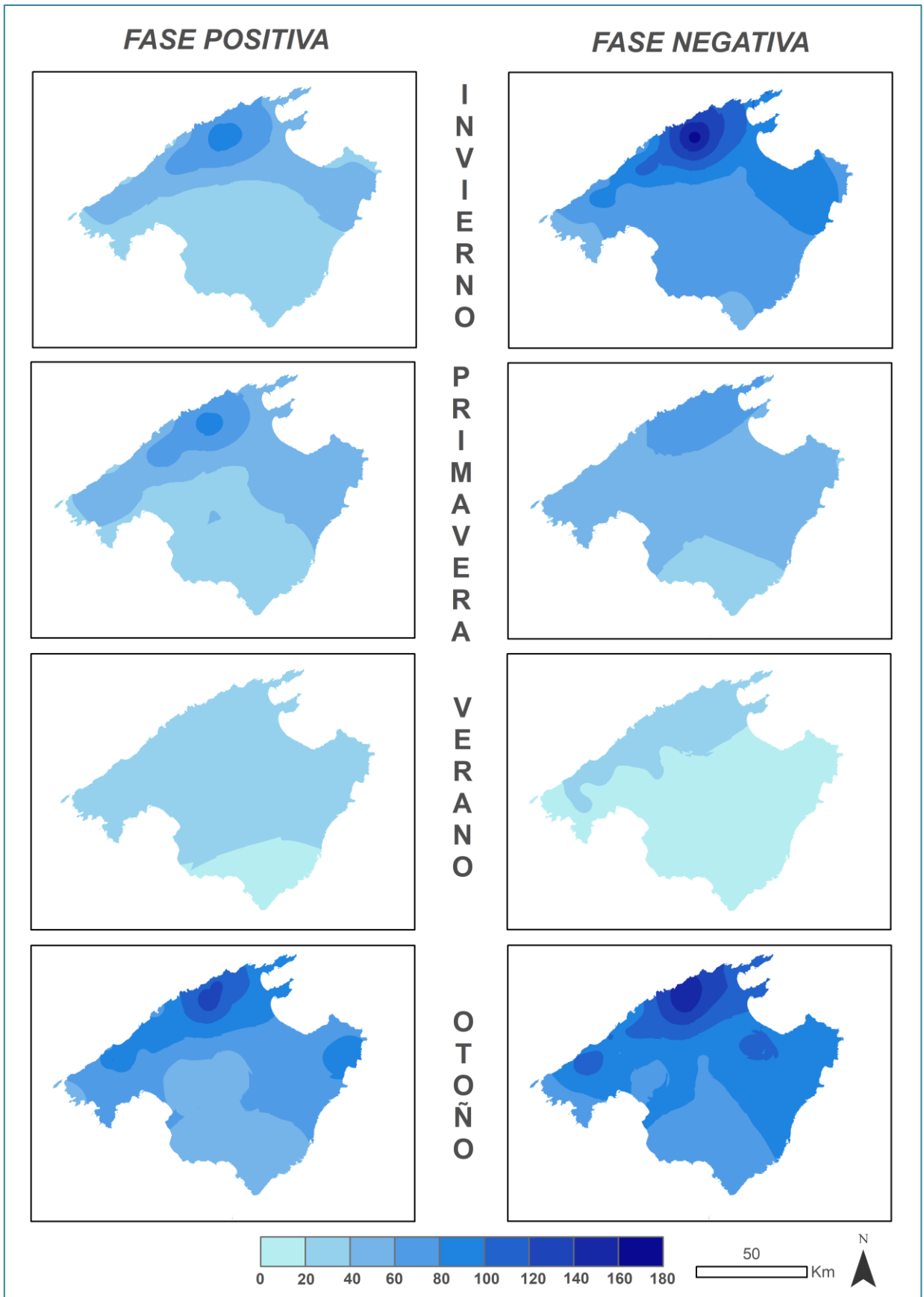


Figura 7. Precipitación de Mallorca según estación y fase WeMO. Elaboración Propia.

Presión, temperatura y dirección del viento

Con el objetivo de ver cómo la borrasca de Génova influye en los vientos y las temperaturas, se han recogido dos episodios de ciclogénesis al sur de los Alpes, en concreto los ocurridos en diciembre del 1998 y en abril del 2007. En las figuras 8 y 9 se puede observar la situación sinóptica durante cada uno de los mismos, mediante una secuencia de mapas cada 6 horas, que representan:

- A) Presión y dirección del viento en superficie. Escala sinóptica.
- B) Presión, temperatura y dirección del viento en altura (500 hPa). Escala sinóptica.
- C) Presión, dirección del viento y temperatura en superficie. Escala local.

Tanto A como B, engloban todo el mediterráneo, Europa y el norte de África, mientras que en la tercera secuencia, de más detalle, representa Mallorca y Menorca.

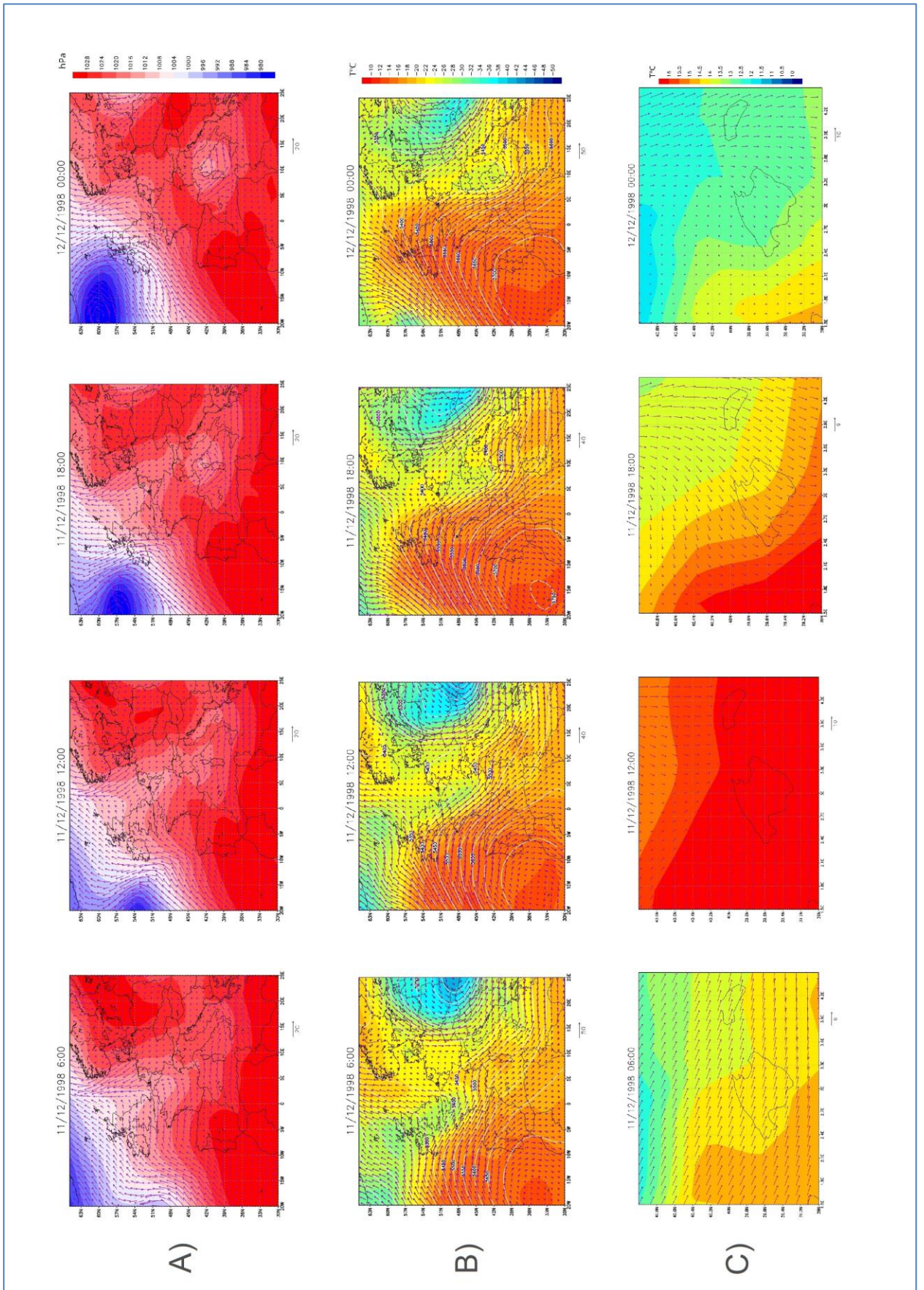


Figura 8. Situación sinóptica días 11 y 12 de diciembre de 1998. Elaboración propia a partir de ECMWF

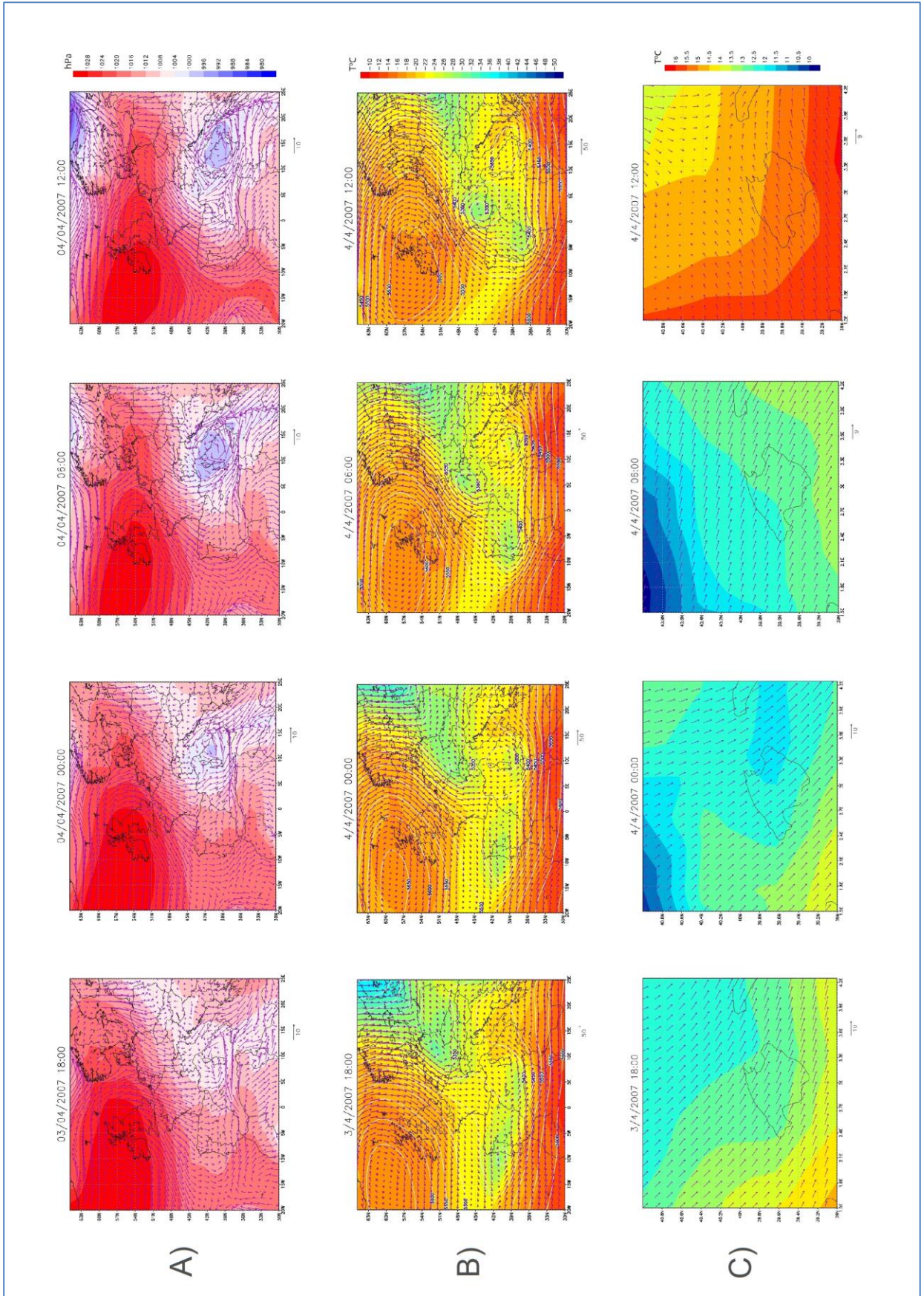


Figura 9. Situación sinóptica días 3 y 4 de abril de 2007. Elaboración propia a partir de ECMWF

En la situación sinóptica de los días 11 y 12 de diciembre (Figura 8), se observa en la secuencia A, de presión en superficie, la entrada de una vaguada por las islas británicas, el cual va adentrándose hacia el Mediterráneo por el sur francés y Suiza, y una vez superada la cordillera alpina, se genera en el Golfo de Génova una borrasca, la cual se llama ciclogénesis de Génova. Esta presenta un giro antihorario en la zona mediterránea de Córcega que empuja fuertes vientos de componente norte, de tramuntana, sobre la isla de Mallorca.

En la secuencia B, de presión en altura a 500 hPa, correspondiente a unos 5500 metros de altura, se visualiza la circulación propia de la corriente en chorro polar, conocida como Jet Stream, la cual circula a una velocidad muy superior a la superficial, que realiza la ondulación hacia el Mediterráneo en la zona alpina, generando una zona de menor temperatura y presión provocando la borrasca de sotavento de los Alpes.

En la secuencia C, que visualiza únicamente las proximidades de Mallorca y Menorca en superficie, se observa como la dirección del viento, en unas pocas horas, cambia de dirección noroeste hacia norte y noreste y las temperaturas se reducen notablemente, visualizándose la entrada de aire frío de norte a partir sobre todo de las 18h de día 11.

En la situación climática de día 3 y 4 de abril (Figura 9), en la secuencia A, de presión en superficie, se observa una entrada de masas de aire frío a través de los Alpes y la península itálica generando un ciclón sobre el Mediterráneo occidental, en que, con el paso de las horas va cogiendo fuerza y mayores dimensiones, generando vientos de componente norte sobre las Illes Balears.

En la secuencia B, a 500 hPa de presión, se visualiza la presencia de un anticiclón cálido en altura sobre las islas británicas y una borrasca sobre el mar Báltico. Esta situación sinóptica provoca la entrada de vientos de componente norte, con la consiguiente formación de la baja a sotavento de los Alpes.

Para la secuencia C, con esta gran depresión en las vecinas islas de Córcega y Cerdeña, los vientos parten de componente noroeste hacia este, y con el paso de las horas la temperatura aumenta levemente, ya que la acción ciclónica se desvía hacia la mediterránea oriental.

Con estos dos eventos estudiados y vistas las cartografías resultantes, se puede suponer que la bajada de temperaturas y las fuertes rachas de viento sí que tienen su influencia en la formación de la borrasca de sotavento de los Alpes, siendo estos vientos mayoritariamente de vertiente norte (tramuntana) y conocidas popularmente por los mallorquines y menorquines como tramuntanadas.

Una vez con los resultados finales, los datos indican que la ciclogénesis formada al sur de los Alpes, generan fuertes rachas de viento del norte, reducción de las temperaturas y disminución de las precipitaciones sobre Mallorca.

Tal vez resulta anómalo que una borrasca que incide en un determinado lugar no conlleve elevadas precipitaciones, pero al quedar la borrasca anclada en el Golfo de Génova, no llegan las precipitaciones, aunque otros eventos en que la borrasca se mueva hacia el oeste, sí va a dejar precipitaciones en Mallorca.

Esta ciclogénesis afecta prácticamente a todo el Mediterráneo occidental, desde Mallorca y Menorca, Córcega, Cerdeña y a toda la península itálica y Sicilia, en que cuando se forma esta ciclogénesis, si se desplaza hacia el sureste y en caso de que se junte con masas de aire cálido, puede generar la ciclogénesis que además de los fuertes vientos, acompañe elevadas lluvias sobre el mar Tirreno y la península itálica, como puede verse en la secuencia A de la Figura 9.

Se han llevado también estudios de ciclogénesis en otras áreas relativamente cercanas, como en el valle del Ebro debido a la formación de una ciclogénesis a sotavento de los Pirineos, la cual también provoca condiciones ciclónicas en el valle del Ebro que propicia fuertes vientos de componente noroeste, como es el caso del “cierzo” que tampoco acostumbra a traer precipitaciones (Medina, 1982).

A nivel global, también se han llevado a cabo estudios de ciclogénesis formadas en grandes cordilleras que presentan una afección similar a la de los Alpes, como son el Atlas en el norte de África o los Andes en Sudamérica (Horvath, 2006).

Conclusiones

De los análisis que se han llevado a cabo en este trabajo sobre la influencia que puedan tener los Alpes sobre el clima de Mallorca, se extraen las siguientes conclusiones:

Las precipitaciones abundantes que se localizan principalmente en otoño e invierno en Mallorca, no tienen su causa principal en los Alpes, porque no es en la fase positiva del WeMO cuando presentan su máximo pluviométrico, sino en la fase negativa del WeMO, que es cuando la zona sur de los Alpes presenta condicionantes anticiclónicos. En este sentido se puede concluir que la baja formada a sotavento de los Alpes genera condiciones que disminuyen la precipitación sobre Mallorca.

No obstante, en relación a las temperaturas y las fuertes rachas de viento se puede concluir que tienen una influencia debido a la cordillera alpina. Con la creación de la ciclogénesis de Génova, la situación climática del mediterráneo occidental se vuelve adversa y se produce una bajada notable en las temperaturas y se producen fuertes rachas de viento de componente norte, que mediante el valle del río Ródano, coge velocidad proyectándolo hacia el norte de Mallorca y Menorca.

Por lo tanto, los Alpes influyen directamente sobre las precipitaciones de la isla de Mallorca, generando una situación que las reduce; pero la situación ciclogénica que causa dicha cordillera, sí que causa fuertes rachas de viento de componente norte que azotan las islas de Mallorca y Menorca con fuerte virulencia en todas las estaciones a excepción del verano. Por lo tanto, se podría concluir a este respecto, que los Alpes acentuarían las condiciones de aridez de la isla, haciendo descender las precipitaciones, y aumentando la velocidad del viento.

Agradecimientos

La realización del presente documento va dedicado a todas las personas que me han apoyado, echado una mano y ayudado en los momentos de mayores apuros para que el resultado final sea satisfactorio.

Para empezar, a mi tutor del Trabajo de Fin de Grado, el Dr. Enrique Morán Tejeda, el cual me ha ayudado a enfocar este trabajo, me ha facilitado documentación, me ha apoyado en momentos que lo veía complicado y al final, gran parte de este éxito es mérito suyo, gracias.

Además, quiero dar las gracias al Dr. Maurici Ruiz por su ayuda en apartados puntuales de SIG, y a una serie de profesores que he tenido la suerte de tener a lo largo del grado que han hecho que me apasionen algunos aspectos de Geografía Física, los cuales son, además del Dr. Enrique Morán, los Doctores en Geografía Celso García; Miquel Grimalt; Joan Josep Estrany y Gabriel Alomar. Gracias a ustedes también.

Agradecer también a familiares y amigos, y a mi pareja y compañera de curso durante los cuatro años, Mercè Sans, su apoyo, confianza y fe ciega en mí para que, no solo el TFG, sino el Grado entero haya sido satisfactorio.

Finalmente, agradecer la cercanía de algunos compañeros de Geografía los cuales a partir de ahora son amigos que siempre han tenido buenas palabras hacia mí, gracias Aaron, Llorenç, Miquel Francesc, Víctor y a todos en general.

Referencias bibliográficas

Baša, J. (2007). *Lee cyclogenesis. Seminar*. University of Ljubljana. Faculty of Mathematics and Physics. Chair of Meteorology.

De Martonne, E. (1955). *Los Alpes. Geografía General*. Editorial Juventud. Barcelona.

García, A. y Castro, M.D. (2016). *La ciclogénesis explosiva: esa gran desconocida*. Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales, núm. 85, pp. 58-62.

Grimalt, M. (1989). *Repartiment de les precipitacions màximes a Mallorca*. Palma de Mallorca: UIB, 1989.

Horvath, K. et al., (2006). *Cyclogenesis in the lee of the Atlas Mountains: a factor separation numerical study*. Advances in Geosciences, 7, pp. 327–331.

Izquierdo, R., Alarcón, M. y Ávila, A. (2013). *WeMO effects on the amount and the chemistry of Winter precipitation in the north-eastern Iberian Peninsula*. Tethys, núm. 10, pp. 45–51.

Kljun, N., Sprenger, M. y Schär, C. (2001). *Frontal modification and lee cyclogenesis in the Alps: A case study using the ALPEX reanalysis data set*. Meteorology and Atmospheric Physics, 78, pp. 89-105.

Medina, M. (1982). *Ciclogénesis a sotavento como efecto con origen cinemático: caso del valle del Ebro*. Geographica, 13, pp. 155-171.

Pastor, F.J. (2012). *Ciclogénesis intensas en la cuenca occidental del Mediterráneo y temperatura superficial del mar: Modelización y evaluación de las áreas de recarga*. (Tesis doctoral). Departament d'Astronomia i Meteorologia. Facultat de Física. Universitat de Barcelona, pp. 15-19.

Referencias web

Gazulla, L. (29 de noviembre de 2010). *De la ciclogénesis a la ciclolisis: evolución de una borrasca de doble frente. ¿solo geografía?* [Blog]. Recuperado de <<http://leonciogazulla.blogspot.com/2010/11/de-la-ciclogenesis-la-ciclolisis.html>>

Penín, C. (2017). *Ciclogénesis explosiva borrasca lluvia mapa España; en Varios vuelos afectados en Vigo, Sevilla y Bilbao por la borrasca 'Ana'*. La Vanguardia. Recuperado de <<https://www.lavanguardia.com/vida/20171210/433552724137/varios-vuelos-afectados-en-vigo-sevilla-y-bilbao-por-el-temporal.html>>

ECMWF (2019). *ECMWF. Forecasts. Datasets. Reanalysis datasets. ERA-Interim. Download ERA-Interim data.*

Recuperado de <<https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/>>

Universitat de Barcelona (2019). *Grupo de Climatología. WeMO. Facultat de Geografia i Història. Laboratori de Climatologia. Barcelona.* Recuperado de <<http://www.ub.edu/gc/es/wemo/>>