



eetac

Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i  
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# TREBALL FINAL DE GRAU

**TÍTULO DEL TFG:** Análisis de la influencia del tránsito al fenómeno de la isla de calor urbana de Barcelona

**TITULACIÓN:** Grado en Ingeniería de Sistemas Aeroespaciales

**AUTOR:** Víctor Pérez Batlle

**DIRECTOR:** Jordi Mazón Bueso

**SUBDIRECTOR:** David Pino González

**FECHA:** 11 de Febrero de 2022



**Título:** Análisis de la influencia del tránsito al fenómeno de la isla de calor urbana de Barcelona

**Autora:** Víctor Pérez Batlle

**Director:** Jordi Mazón Bueso

**Subdirector:** David Pino González

**Fecha:** 11 de Febrero de 2022

## Resumen

Este proyecto tiene como finalidad analizar cuál ha sido el efecto en la isla de calor urbana de Barcelona por la disminución de la movilidad durante los meses de confinamiento de marzo y abril de 2020 como consecuencia de la pandemia de COVID-19.

El objetivo principal es analizar la intensidad de la isla de calor urbana del Área Metropolitana de Barcelona en una franja horaria nocturna determinada y compararla con la situación de los últimos nueve años.

Gracias a los datos obtenidos en las estaciones del Servicio Meteorológico de Catalunya se ha intentado responder a las siguientes preguntas. ¿Qué efecto ha tenido la reducción de la movilidad sobre la isla de calor urbana? ¿Cómo ha contribuido la disminución del tránsito en la reducción de la temperatura?

Finalmente, después de todo el estudio exhaustivo, se puede concluir que el decrecimiento de circulación de vehículos durante el confinamiento fue uno de los muchos factores por los que disminuyó la diferencia de temperatura en un porcentaje determinado, dando lugar a una variación en la isla de calor urbana.

**Title:** Analysis of the influence of traffic on the phenomenon of the urban heat island of Barcelona

**Author:** Víctor Pérez Batlle

**Director:** Jordi Mazón Bueso

**Subdirector:** David Pino González

**Date:** February 11th, 2022

## Overview

The purpose of this project is to analyze what has been the effect on the urban heat island of Barcelona over the decrease in the traffic during the lock down months of March and April 2020 as a result of the pandemic Covid-19.

The main goal is to analyze the intensity of the urban heat island of the Barcelona city in a given night time slot and compare it with the situation of the last nine years.

Thanks to the data by the Catalan Meteorological Service, an attempt has been made to answer the following questions. What effect has reduced mobility had on the urban heat island? How has the decrease in traffic contributed to the reduction in temperature?

Finally, after all the exhaustive study, it can be concluded that the decrease in vehicle traffic during confinement was one of the many factors that decreased the temperature difference by a certain percentage, resulting in a variation the heat island urban.

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2. EL FENÓMENO DE LA ISLA DE CALOR URBANA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 ¿QUÉ ES EL EFECTO DE LA ISLA DE CALOR URBANA? .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 ¿CUÁLES SON LAS CAUSAS DE LA ISLA DE CALOR URBANA?.....</b>	<b>6</b>
<b>2.3 CARACTERÍSTICAS DE LA ISLA DE CALOR URBANO .....</b>	<b>6</b>
<b>2.4 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA INTENSIDAD DE LA ISLA DE CALOR .....</b>	<b>7</b>
<b>2.5 ¿CÓMO NOS AFECTA LA ISLA DE CALOR URBANO?.....</b>	<b>8</b>
<b>2.6 INFLUENCIA DEL TRÁNSITO EN LA ICU .....</b>	<b>8</b>
<b>3. METODOLOGÍA .....</b>	<b>10</b>
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>14</b>
<b>4.1 ANÁLISIS DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA ENTRE EL RAVAL Y ZONA UNIVERSITARIA .....</b>	<b>16</b>
<b>4.2 ANÁLISIS DE LA TEMPERATURA ENTRE EL RAVAL Y EL PRAT DE LLOBREGAT ....</b>	<b>21</b>
<b>4.3 REDUCCIÓN DE MOVILIDAD DEL TRÁNSITO.....</b>	<b>27</b>
<b>4.4 RELACIÓN CON EL SECTOR AERONÁUTICO .....</b>	<b>38</b>
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>40</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>43</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>50</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama del efecto de la Isla de Calor Urbana

Figura 2. Representación de las características espaciales de la isla de calor urbana. (a) Patrón espacial a lo largo de la sección AB y (b) mapa de anomalías de temperatura

Figura 3. Parámetros que caracterizan la isla de calor urbana

Figura 4. Relación entre la intensidad máxima de isla de calor y la población para Norte América y Europa

Figura 5. Ubicación de las estaciones meteorológicas en el Área Metropolitana de Barcelona (1- El Raval, 2- Zona Universitaria, 3- Zoo de Barcelona, 4- Observatorio Fabra, 5- Museo Badalona, 6- El Prat de Llobregat y 7- Viladecans)

Figura 6. Diferencia de las temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ) entre las estaciones seleccionadas del Área Metropolitana de Barcelona

Figura 7. Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) del mes de marzo y abril de 2020 de las estaciones El Raval, Observatorio Fabra, El Prat de Llobregat, Museo Badalona y Zona Universitaria en el Área Metropolitana de Barcelona

Figura 8. Promedio de la diferencia de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) entre las estaciones de El Raval y Zona Universitaria del 1-14 de marzo y del 15-31 de marzo para los años analizados

Figura 9. Diferencia de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) entre las estaciones de El Raval y Zona Universitaria en el mes de marzo de los años 2011, 2015 y 2020

Figura 10. Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) diaria del mes de marzo y abril de 2011 de las estaciones El Raval, El Prat de Llobregat y Zona Universitaria en el Área Metropolitana de Barcelona

Figura 11. Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) diaria del mes de marzo y abril de 2015 de las estaciones El Raval, El Prat de Llobregat y Zona Universitaria en el Área Metropolitana de Barcelona

Figura 12. Promedio de la diferencia de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) entre las estaciones de El Raval y el Prat de Llobregat del 1-14 de marzo y del 15-31 de marzo

Figura 13. Diferencia de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) entre las estaciones de El Raval y el Prat de Llobregat en el mes de marzo de los años 2014, 2015, 2017 y 2020

Figura 14. Temperatura (°C) diaria del mes de marzo y abril de 2014 de las estaciones El Raval, El Prat de Llobregat y Zona Universitaria en el Área Metropolitana de Barcelona

Figura 15. Temperatura (°C) diaria del mes de marzo y abril de 2017 de las estaciones El Raval, El Prat de Llobregat y Zona Universitaria en el Área Metropolitana de Barcelona

Figura 16. Intensidad media diaria de vehículos de alta capacidad de acceso del AMB entre 2016 y 2020 (eje "x": trimestres; eje "y": miles de vehículos)

Figura 17. Porcentaje de intensidad media diaria de vehículos de alta capacidad de acceso del AMB

Figura 18. Porcentaje de movilidad del tránsito en el mes de marzo de 2020 en el Área Metropolitana de Barcelona (en %)

Figura 19. Porcentaje de movilidad del tránsito en el mes de abril de 2020 en el Área Metropolitana de Barcelona (en %)

Figura 20. Comparación del porcentaje de movilidad del tránsito en el Área Metropolitana de Barcelona (en %) y la diferencia de temperatura (°C) en marzo entre El Raval y Zona Universitaria

Figura 21. Comparación del porcentaje de movilidad del tránsito en el Área Metropolitana de Barcelona (en %) y la diferencia de temperatura (°C) en marzo entre El Raval y el Prat de Llobregat

Figura 22. Comparación del porcentaje de movilidad del tránsito en el Área Metropolitana de Barcelona (en %) y la diferencia de temperatura (°C) en abril entre El Raval y Zona Universitaria

Figura 23. Comparación del porcentaje de movilidad del tránsito en el Área Metropolitana de Barcelona (en %) y la diferencia de temperatura (°C) en abril entre El Raval y el Prat de Llobregat

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Diferencias de temperaturas analizadas

Tabla 2. Media diaria de vehículos en un día laborable en las calles con más intensidad circulatoria en el Área Metropolitana de Barcelona. 2011 – 2015

## ABREVIATURAS

Abreviatura	Definición
<b>SARS-CoV-2</b>	Síndrome respiratorio agudo severo Coronavirus 2
<b>UHI</b>	Isla de calor urbana
<b>UTC</b>	Tiempo Coordinado Universal
<b>METEOCAT</b>	Servicio Meteorológico de Cataluña
<b>XEMA</b>	Red de Estaciones Meteorológicas Automáticas
<b>SCT</b>	Servicio Catalán de Tráfico
<b>IMD</b>	Intensidad Media Diaria
<b>AMB</b>	Área Metropolitana de Barcelona
<b>CFSR</b>	Reanálisis del sistema de pronóstico del clima

# 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, nuestra sociedad está viviendo una pandemia mundial que ha afectado la salud, la economía, las relaciones sociales y la política. Este virus, denominado SARS-CoV-2, ha llegado a nuestras vidas con fuerza modificando todo tipo de actitudes, pensamientos y, además, la forma de entender el mundo que hoy en día nos rodea.

Esta pandemia ha cogido por sorpresa a todo el mundo y para proteger a los sistemas de atención médica se han tenido que tomar medidas que han restringido la libertad de movimientos de manera muy importante. Se ha intentado minimizar el riesgo de contagio mediante el confinamiento en el hogar, con distanciamiento social y medidas de higiene.

Durante el confinamiento, las emisiones diarias de CO<sub>2</sub> a nivel mundial se redujeron en un 17% a principios del mes abril de 2020 comparándolos con los niveles medios de 2019 [1]. En el punto más alto de contagios, las emisiones de diferentes países llegaron a disminuir un 26% de media [1]. Es posible que la mayoría de los cambios observados en 2020 sean temporales, debido a que no muestran cambios estructurales en los sistemas económicos, de transporte o energéticos. Además, el transporte de superficie es responsable de prácticamente la mitad de la disminución de las emisiones durante el confinamiento [1]. Las medidas gubernamentales tendrán en cuenta las emisiones netas cero y los imperativos del cambio climático a la hora de planificar sus respuestas económicas provocadas por la pandemia, las cuales influirán en la trayectoria de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> durante las próximas décadas.

Como consecuencia de estas restricciones de movilidad, se planteó la oportunidad de analizar el comportamiento de la variable del tránsito en la formación del efecto isla de calor urbana en Barcelona. Debido a esta reducción del tránsito, se ha podido analizar la influencia de la temperatura en el Área Metropolitana de Barcelona a lo largo del periodo de confinamiento del 14 de marzo hasta finales de mayo de 2020 en España [2]. Finalmente, he llegado a la conclusión de que la disminución de la circulación de vehículos durante el confinamiento fue uno de los muchos factores que tuvo impacto en la variación de la isla de calor urbana.

Teniendo en cuenta este contexto, el objetivo principal de este trabajo de final de grado es comparar las diferencias de temperatura entre distintas estaciones meteorológicas del Área Metropolitana de Barcelona de los meses marzo y abril de 2020 con los nueve años anteriores y, de esta forma, analizar si las restricciones de movilidad adoptadas para reducir la incidencia de la pandemia

han afectado al efecto de isla de calor urbana (ICU) de la ciudad [2]. Las estaciones analizadas han sido El Raval, el Zoo de Barcelona, el Observatorio Fabra, la Zona Universitaria, el Museo de Badalona, el Prat de Llobregat y Viladecans. Este estudio se ha centrado en hacer el análisis en Barcelona, ciudad con clima mediterráneo y una temperatura media anual de unos 17°C. [3]

El proyecto se divide en cuatro partes. En la primera se explica qué es el fenómeno de la isla de calor urbana y por qué se produce, los factores que influyen en su intensidad, cómo nos afecta y cómo el tránsito contribuye a su aparición e intensidad. La segunda parte describe la metodología llevada a cabo para realizar el estudio. La tercera parte explica los resultados obtenidos y se menciona la relación de la UHI con el sector aeronáutico. Finalmente, se exponen las conclusiones de este trabajo y una serie de mejoras para reducir la isla de calor.

## 2. EI FENÓMENO DE LA ISLA DE CALOR URBANA

### 2.1 ¿Qué es el efecto de la isla de calor urbana?

En las grandes ciudades tiene lugar lo que se conoce como efecto de isla de calor urbana, Urban Heat Island en inglés (UHI). El efecto de isla de calor urbana es un fenómeno de acumulación de calor dentro de la zona urbana como consecuencia de las actividades humanas y el urbanismo que influye en el clima urbano y en la salud de la población entre otros factores [4]. En lo que respecta al aumento de temperatura, se produce durante la noche cuando pueden darse diferencias de temperaturas muy elevadas entre la parte central más urbanizada y las zonas rurales o suburbanas del extrarradio donde las temperaturas son inferiores [5].

El primer estudio del efecto UHI se realizó en Londres [4]. Desde ese momento, se llevaron a cabo diferentes investigaciones sobre el efecto UHI [5, 6, 7], concluyendo que este efecto tiene gran relación con las condiciones climáticas, la liberación de calor urbano, las propiedades y la estructura de la superficie terrestre y la densidad de población.

La Figura 1 muestra un diagrama de la UHI, donde podemos observar una temperatura superior en el centro de la ciudad y una temperatura inferior en la periferia.

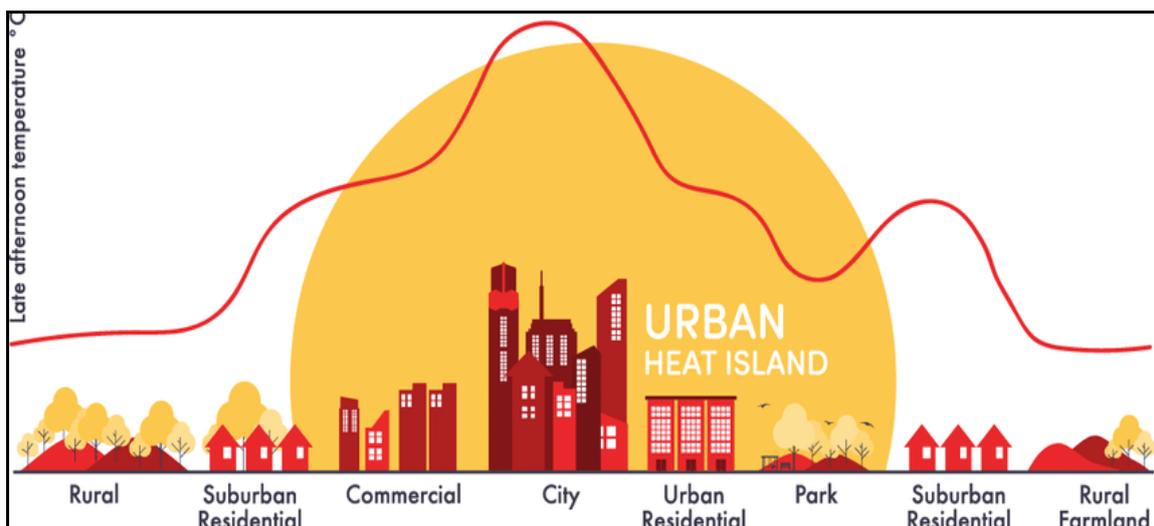
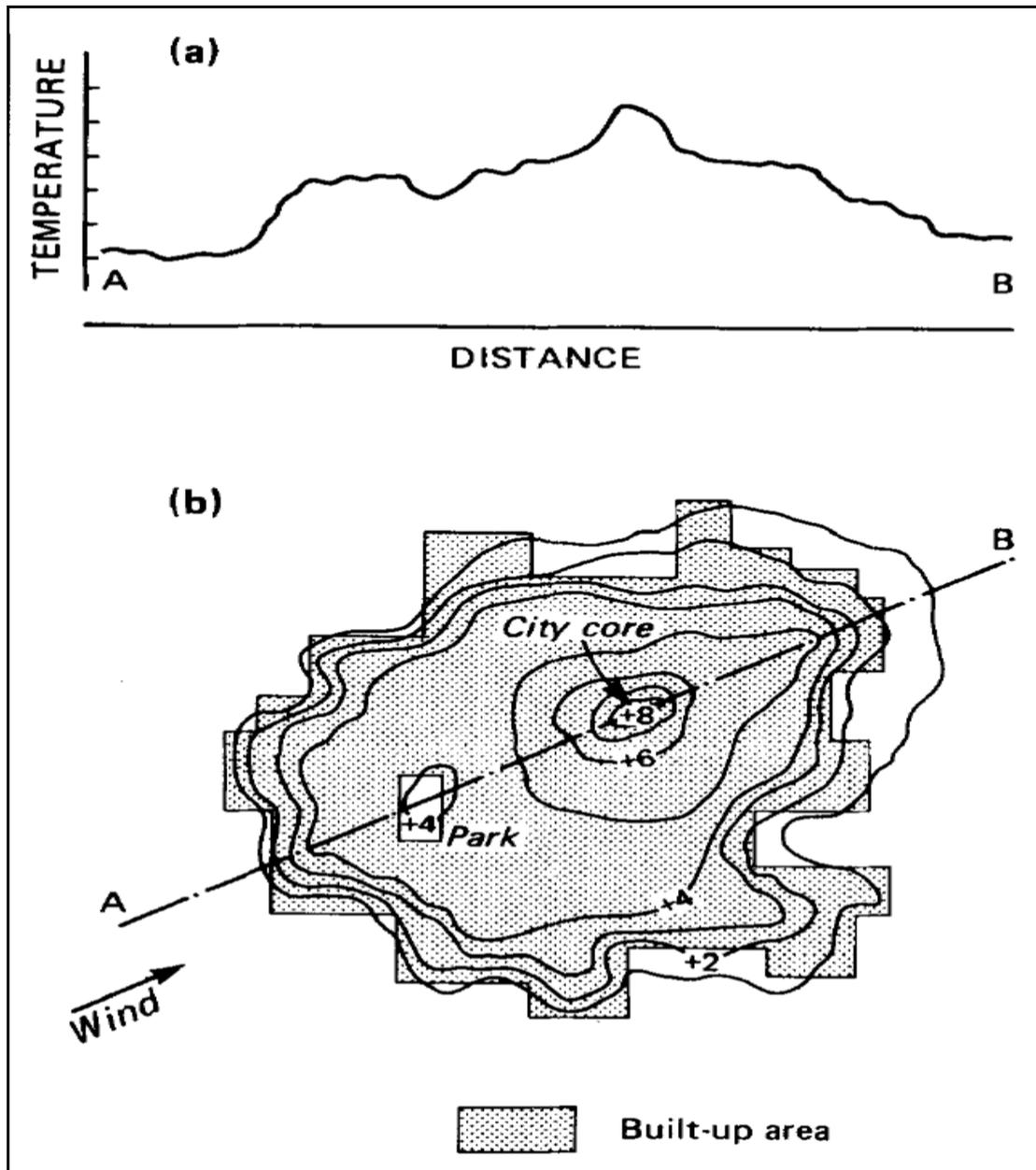


Figura 1. Diagrama del efecto de la Isla de Calor Urbana [9]

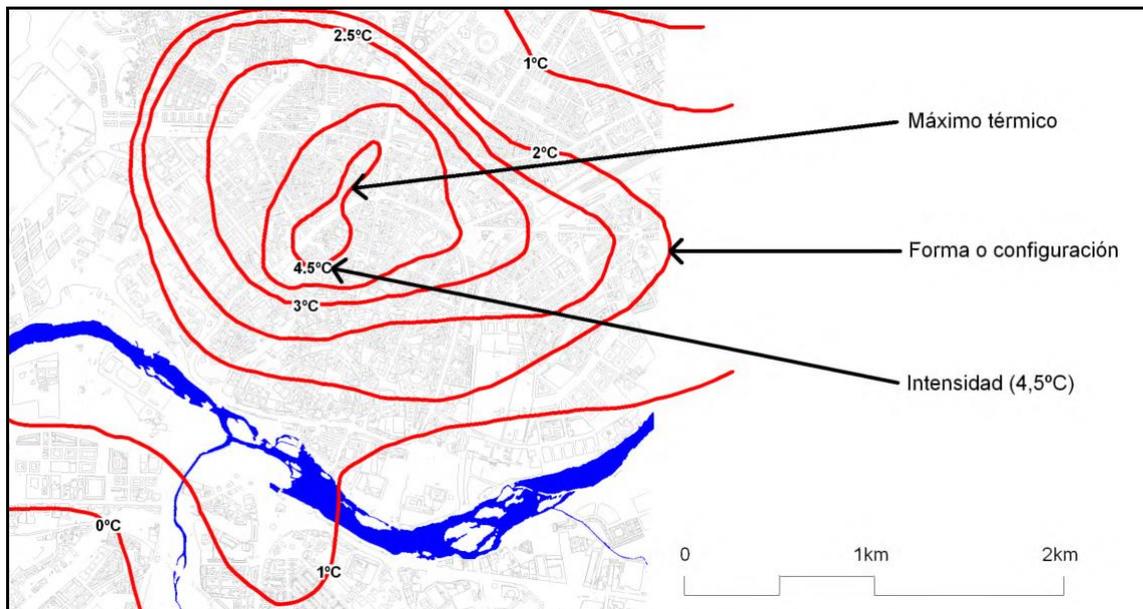
En [10] se analiza la base energética de la isla de calor urbana y se exponen unas características temporales y espaciales de las temperaturas del aire, tanto urbanas como rurales, que dan lugar a una isla de calor urbana. En las Figuras 2a, b podemos ver la diferencia de la temperatura en el segmento A-B y el mapa de isotermas respectivamente.



**Figura 2.** Representación de las características espaciales de la isla de calor urbana. (a) Patrón espacial a lo largo de la sección AB y (b) mapa de anomalías de temperatura [10]

La zona urbana se caracteriza por un gradiente de temperatura horizontal debido a que se ve interrumpido por puntos tanto cálidos como fríos los cuales pueden estar ligados con zonas de alta o baja densidad de edificios.

La isla de calor se caracteriza mediante tres parámetros: forma o configuración, intensidad y máximo térmico (Figura 3).



**Figura 3.** Parámetros que caracterizan la isla de calor urbana [11]

- 1) **Forma o configuración:** Distribución espacial de la anomalía de la temperatura.
- 2) **Intensidad:** Diferencia entre la temperatura máxima y mínima
- 3) **Máximo térmico:** Lugar de la ciudad donde se alcanza la intensidad máxima.

El efecto UHI ha sido ampliamente investigado en los últimos años y se han realizado diferentes estudios en España, Italia, Grecia, Israel, entre otros muchos países [12, 13, 14, 15].

En el caso de España, en [16] se realiza un estudio sobre la intensidad de la isla de calor urbana en Barcelona, basándose en datos de temperaturas máximas y mínimas diarias de la atmósfera registradas por dos estaciones meteorológicas fijadas a lo largo del periodo 1970-1984. Se obtuvo que la diferencia media de temperatura entre la zona rural y urbana era de 1,4°C, mientras que la intensidad máxima del efecto de calor urbana superó los 8°C.

[16] muestra la isla de calor en el Área Metropolitana de Barcelona en el periodo 2004-2013 mediante la comparación de las temperaturas en la Vila Olímpica y el aeropuerto de El Prat. Como resultado obtuvieron un promedio a favor de la ciudad de 1.7°C. Las diferencias de temperaturas superaron en tres ocasiones los 6.0°C, siendo la máxima temperatura 7.4°C y en más del 90% de las noches, el centro de la ciudad de Barcelona es más cálido que el aeropuerto de Barcelona.

Otro claro ejemplo de este fenómeno, se expone en el estudio sobre la identificación de la isla de calor en Barcelona [17], donde se muestra que el efecto UHI aparece a lo largo de la noche. Asimismo, los valores de las diferencias de la temperatura nocturna fueron mayores en las zonas del centro del núcleo urbano y en la zona litoral [17].

Es necesario reducir el efecto de isla de calor urbana cuanto antes para poder evitar grandes daños económicos (más uso de energía para enfriar, trabajadores menos productivos, por ejemplo) y ambientales (menos calidad del agua y del aire, temperaturas muy elevadas, entre otros) [18], debido a que se espera que para el año 2050 un 70% de toda la población vivirá en ciudades [9].

## **2.2 ¿Cuáles son las causas de la isla de calor urbana?**

Las principales causas que provocan la isla de calor son: la producción de calor antrópica, el aumento de la absorción de la radiación solar en los cañones urbanos, la reducción de la pérdida de calor latente debido a la extensión del uso de superficies impermeables como el pavimento, la poca pérdida de calor sensible debido a la disminución de la velocidad del viento. [3, 19, 20]. Asimismo, [10] menciona también la reducción de la velocidad del viento, pérdidas de calor en chimeneas y el aumento del flujo de calor de las copas de los árboles y los tejados. El incremento del almacenamiento de calor en materiales de construcción que retienen el calor durante el día y lo liberan por la noche provoca el aumento de la probabilidad de que está energía permanezca en el suelo [21, 22].

## **2.3 Características de la isla de calor urbano**

Hay una serie de patrones que suelen aparecer en todas las ciudades donde se producen la isla de calor [8]:

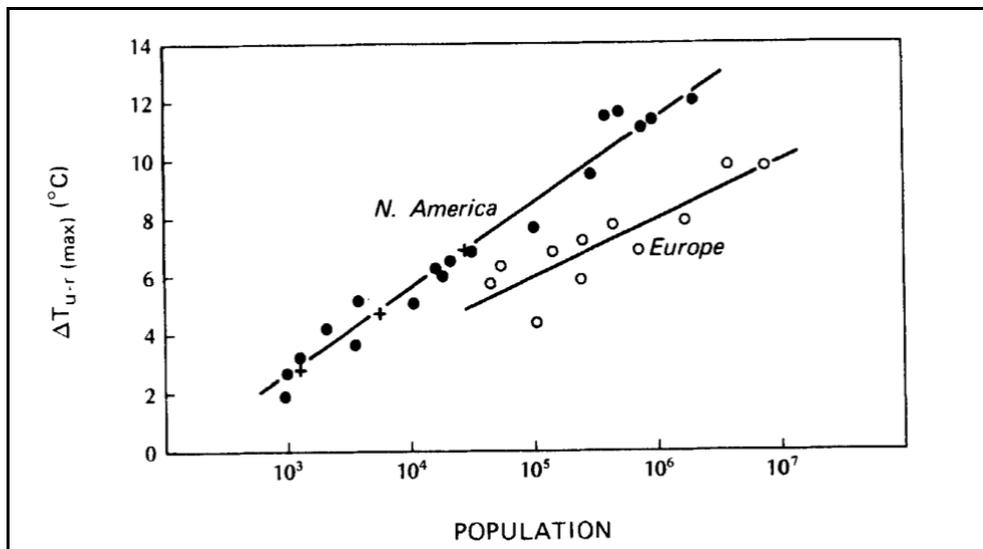
- Temperaturas más elevadas en el centro de la ciudad que en las zonas rurales de la periferia.

- Existencia de inversiones térmicas (la temperatura aumenta con la altura) alrededor de 2 km de altitud, provocando la acumulación de muchos contaminantes.
- La intensidad de la isla de calor es mayor cuanto más desarrollada esté la ciudad y menos vegetación haya.

## 2.4 Factores que influyen en la intensidad de la isla de calor

Los factores principales que influyen en la intensidad de la isla de calor son:

- **Intensidad del tránsito:** tiene una relación directa sobre el tamaño, evolución y localización de la isla de calor, debido a que la intensidad del tránsito depende del lugar en el que se encuentren los vehículos. La temperatura está en constante variación y dependiendo de la cantidad de vehículos que circulen se produce un aumento o descenso de la UHI. Es decir, se verá incrementada su superficie e intensidad cuando tengan lugar mayores flujos vehiculares. [11]
- **Población:** como se muestra en la Figura 4, las zonas donde se localizan el mayor número de habitantes coinciden con las que registran los máximos térmicos y, por tanto, mayor intensidad de isla de calor. [4]



**Figura 4.** Relación entre la intensidad máxima de isla de calor y la población para Norte América y Europa [4]

**El espacio edificado:** Como consecuencia del uso de materiales como el acero, el asfalto u el hormigón aumenta la retención calorífica incrementando la temperatura urbana dando lugar a una isla de calor más intensa. [23]

- **El albedo:** al sustituir la cobertura natural del suelo (humedales, pastos, árboles, etc) con materiales asfálticos, edificios, residencias, grandes áreas comerciales e industriales el albedo (el porcentaje de radiación visible reflejada) disminuye enormemente lo que contribuye a aumentar la temperatura [9, 24].
- **El efecto invernadero:** Porcentualmente, las fuentes principales de emisión de la concentración de gases de efecto invernadero de origen antropogénico son la electricidad y calefacción (25%), la edificación (6%), la industria (21%), el transporte (14%), la agricultura y el uso de otros suelos (24%) y otras fuentes de energía (10%). Y como consecuencia de este incremento de los gases de efecto invernadero aumenta la temperatura, afectando la intensidad de la UHI [25].

## 2.5 ¿Cómo nos afecta la isla de calor urbano?

La isla de calor urbano puede incidir en la tasa de mortalidad y la aparición de problemas respiratorios debido a las altas temperaturas [11]. Igualmente, la calidad del aire se ve afectada debido a que el efecto de isla de calor aumenta entre el 5% y el 10% la demanda de energía y se ve afectado el coste de la factura de electricidad. Asimismo, los cauces de agua locales también se ven afectados reduciendo su calidad del agua a causa del calentamiento del pavimento que aumentan la temperatura de esta agua [26, 28].

A continuación, podemos ver los posibles impactos de la UHI globales que tenemos más presentes hoy en día [27]:

- El aumento de la temperatura provoca que en los centros urbanos haya más gases de combustión. [29]
- Produce aumento de la demanda energética y provoca daños económicos (necesidad de crear más energía para poder enfriar) y ambientales (pérdida de calidad del aire y de zonas verdes). En contraposición, cabe destacar que también hay reducciones de la demanda energética debido a un uso menor de las calefacciones en invierno. [18]
- Las altas temperaturas producen estrés térmico con riesgos para la salud como agotamiento por deshidratación o golpes de calor. [12]
- Se produce una pérdida tanto de fauna como de flora urbana, debido a las altas temperaturas. [27]

## 2.6 Influencia del tránsito en la ICU

Los gases emitidos por los vehículos con motor de combustión facilita que la aparición del efecto de isla de calor urbano aumente [21]. Los motores de los vehículos producen calentamiento térmico ya que emiten vapor de agua y gases como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), óxidos de

azufre (SO<sub>2</sub>), el monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados (HC), partículas sólidas, compuestos de plomo y anhídrido sulfuroso [21].

Según los datos recogidos en el Ayuntamiento de Barcelona, en toda el Área Metropolitana de Barcelona se producen millones de desplazamientos de vehículos motorizados y se concentran numerosas actividades industriales que participan en el incremento la contaminación de la ciudad [31], lo cual incide el aumento de la temperatura de la ciudad [32], ya que muchos de estos gases son de efecto invernadero. Las emisiones globales del transporte en España decrecieron en un 36% para el 7 de abril de 2020, en comparación con los niveles medios de 2019, suponiendo la mayor contribución al cambio total de emisiones [1].

En [33] se realiza un análisis del impacto que ha producido la gran disminución del tránsito rodado en los niveles de contaminación de las dos ciudades más contaminadas de España, Barcelona y Madrid. El tránsito se redujo entre un 75% y un 80% en los meses de marzo y abril de 2020 con respecto al año anterior. Esta investigación concluyó que el NO<sub>2</sub> disminuyó un 50% en Barcelona y un 62% en Madrid.

A continuación, veremos qué impacto ha tenido la reducción del tránsito en el Área Metropolitana de Barcelona en la isla de calor urbano durante el confinamiento.

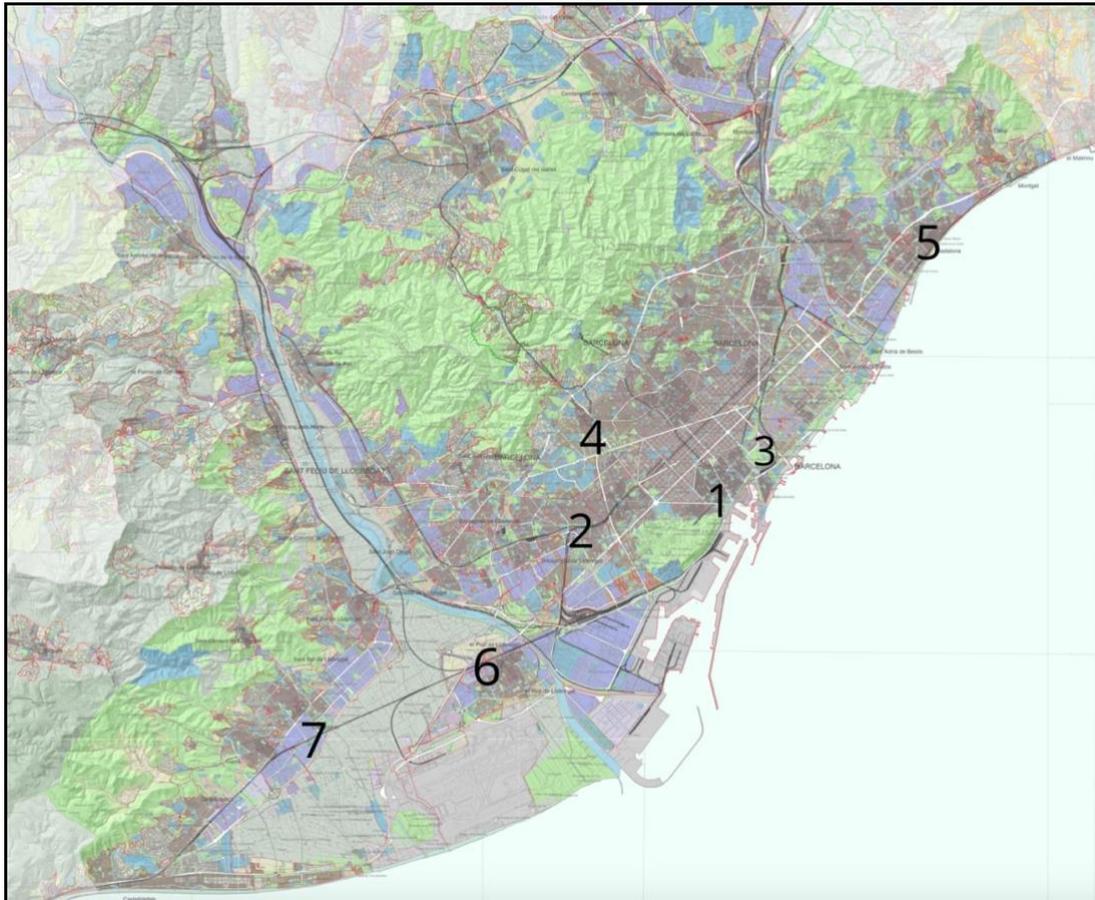
### 3. METODOLOGÍA

Para evaluar la influencia del tránsito en la isla de calor urbana, se han usado registros de temperatura de diferentes estaciones del Área Metropolitana de Barcelona durante los meses de marzo y abril de los años 2011 al 2020.

La intensidad de la isla de calor, como se ha comentado, es la diferencia de temperatura entre la zona más cálida de toda la ciudad y la zona de la periferia que se encuentra en la ciudad o la rodea [4]. En este estudio se han calculado las diferencias de temperatura entre diferentes puntos del Área Metropolitana.

En el trabajo se han analizado los datos de siete estaciones del Servicio Meteorológico de Catalunya [37]: El Raval, Zoo de Barcelona, Observatorio Fabra, Zona Universitaria, Museo de Badalona, El Prat de Llobregat y Viladecans. Estas estaciones se encuentran en la costa (Museo de Badalona), en el centro de Barcelona (El Raval y Zoo de Barcelona) o en su periferia (El Prat de Llobregat, Viladecans, Zona Universitaria, Observatorio Fabra), a una distancia máxima de 22 km [38]. En la Figura 5, podemos observar la ubicación de cada estación meteorológica en el Área Metropolitana de Barcelona.

Como la intensidad máxima de la isla de calor urbana ocurre durante la noche [38], se han estudiado las diferencias de temperatura entre las estaciones en la franja que va desde las 17:00 UTC (Tiempo Coordinado Universal) hasta las 6:00 UTC.



**Figura 5.** Ubicación de las estaciones meteorológicas en el Área Metropolitana de Barcelona (1- El Raval, 2- Zona Universitaria, 3- Zoo de Barcelona, 4- Observatorio Fabra, 5- Museo Badalona, 6- El Prat de Llobregat y 7- Viladecans) [39]

En las tablas de los Anexos A, B y C se pueden observar las variables meteorológicas y datos de las estaciones meteorológicas seleccionadas. En el Anexo D se indican los identificadores de las variables. [41, 42]

Para poder entender la elección de las diferencias de temperaturas tomé como referencia [40], donde para medir la temperatura en puntos del Área Metropolitana de Barcelona se hizo una recopilación de datos meteorológicos diarios y se realizaron trayectos nocturnos en coche, entre octubre del 2014 y marzo de 2015. Se compararon las temperaturas de zonas abiertas como las de El Prat de Llobregat y Badalona, con los de diferentes barrios de Barcelona y de otros núcleos urbanos [40]. Se llegó a la conclusión que las zonas del Área Metropolitana de menor temperatura, entre las analizadas, era el Prat de Llobregat, mientras que la más calurosa era El Raval. Según dicho estudio, este fenómeno es notable en municipios cercanos en toda el Área Metropolitana de Barcelona como, por ejemplo, Viladecans o Badalona, aunque la isla de calor urbana tiene más intensidad en el centro de Barcelona.

Para calcular la intensidad de la isla de calor es necesario conocer la ubicación de cada estación meteorológica, debido a que dependiendo la zona donde se calcule la intensidad la temperatura variará como, por ejemplo, en las zonas edificadas en la cual hay más superficies para la absorción de calor. Según [37, 40, 41], El Raval se encuentra a una altitud de 33 metros de altitud con respecto del mar y en el centro de Barcelona siendo una de las estaciones que registra temperaturas más altas de ciudad. La Zona Universitaria fue seleccionada porque es una zona por donde hay mucho tránsito debido a que pasan gran cantidad de vehículos a lo largo del día y, por tanto, puede haber mucho calor acumulado [36, 37]. Con respecto a la estación meteorológica del Zoo de Barcelona [37], esta tiene unos valores de temperatura muy similares al Raval debido a su proximidad entre ambas estaciones, por lo que me centraré en El Raval. Del mismo modo, la estación meteorológica del Museo Badalona se encuentra en un núcleo urbano más pequeño en comparación con Barcelona y no es tan representativa como El Raval pero son muy similares con a una altitud de 42 m sobre el nivel del mar. [37]

Por su parte, las estaciones meteorológicas de El Prat de Llobregat y Viladecans se encuentran en zonas agrarias similares envueltas de campo en la periferia del Área Metropolitana, por lo cual, analizaré la de El Prat de Llobregat debido a que según [40] esta zona tiene temperaturas menores.

Finalmente, la estación meteorológica situada en el Observatorio Fabra se encuentra a una altitud de 411 metros sobre el nivel del mar, por lo que se ve afectada por la orografía y, además se encuentra en un área muy poco urbanizada.

Teniendo en cuenta la ubicación de cada estación, me focalicé primero analizando las siguientes diferencias de temperaturas, El Raval – Zona Universitaria y El Raval – El Prat de Llobregat.

Además, realicé las diferencias de temperaturas entre Zona Universitaria – Observatorio Fabra y Zona Universitaria – El Prat de Llobregat, para analizar las diferencias de temperatura tomando la Zona Universitaria como un punto de referencia alejado unos kilómetros del centro de la ciudad. Igualmente, la diferencia entre Observatorio Fabra – El Raval la realicé debido a que el Observatorio Fabra es la estación meteorológica con más altitud y no tiene influencia de zonas urbanas, por lo que la intensidad de isla de calor debería ser mínima [37, 41]. Por último, también analicé la diferencia Museo Badalona – El Raval, porque Badalona está muy urbanizada y los valores de temperatura deberían ser similares a los de Barcelona [37].

No se consideraron los datos de las estaciones de Viladecans y del Zoo de Barcelona ya que, como he comentado anteriormente, Viladecans es una zona similar a la de El Prat de Llobregat ubicada en la periferia de la ciudad y, según [41] la estación meteorológica del Zoo de Barcelona está ubicada en una zona que se encuentra a 2,4 km de El Raval y las temperaturas son similares. [37, 40]

La evaluación de la intensidad del efecto de isla de calor urbana se efectuó basándome en los resultados obtenidos de calcular las diferencias de temperatura mostradas en la Tabla 1.

<b><math>\Delta T</math> de las estaciones</b>
<b>El Raval – Zona Universitaria</b>
<b>El Raval – El Prat de Llobregat</b>
<b>Zona Universitaria – Observatorio Fabra</b>
<b>Zona Universitaria – El Prat de Llobregat</b>
<b>Observatorio Fabra – El Raval</b>
<b>Museo Badalona – El Raval</b>

**Tabla 1.** Diferencias de temperaturas analizadas

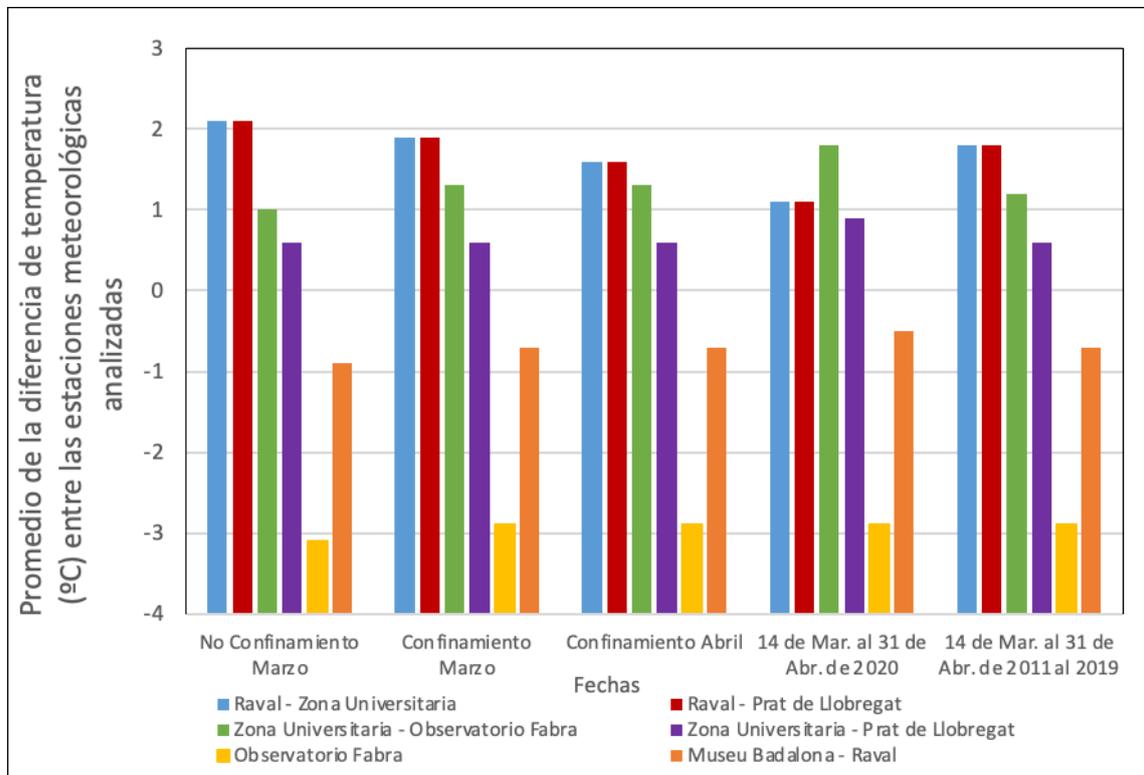
Las diferencias de temperatura se calcularon para la franja horaria que va desde las 17:00 UTC hasta las 6:00 UTC para los meses de marzo y abril de los años 2011-2020, calculando también la desviación estándar diaria, mensual (marzo y abril) y para los periodos 1-13 de marzo y 14-31 de marzo para todos los años analizados.

También calculé para cada año la diferencia de la temperatura, la desviación estándar y el coeficiente de variación, medida de dispersión que permite el análisis de las desviaciones de los datos con respecto a la media, para todo el periodo de confinamiento, es decir, del 14 de marzo hasta el 30 de abril de 2020, para poder ver como afectó la variación del tránsito en la isla de calor urbana en el Área Metropolitana de Barcelona. [2]

## 4. RESULTADOS

En esta sección se analizan los resultados obtenidos para poder concluir si la disminución del tránsito debido al confinamiento ha influido en la isla de calor urbana en el Área Metropolitana de Barcelona.

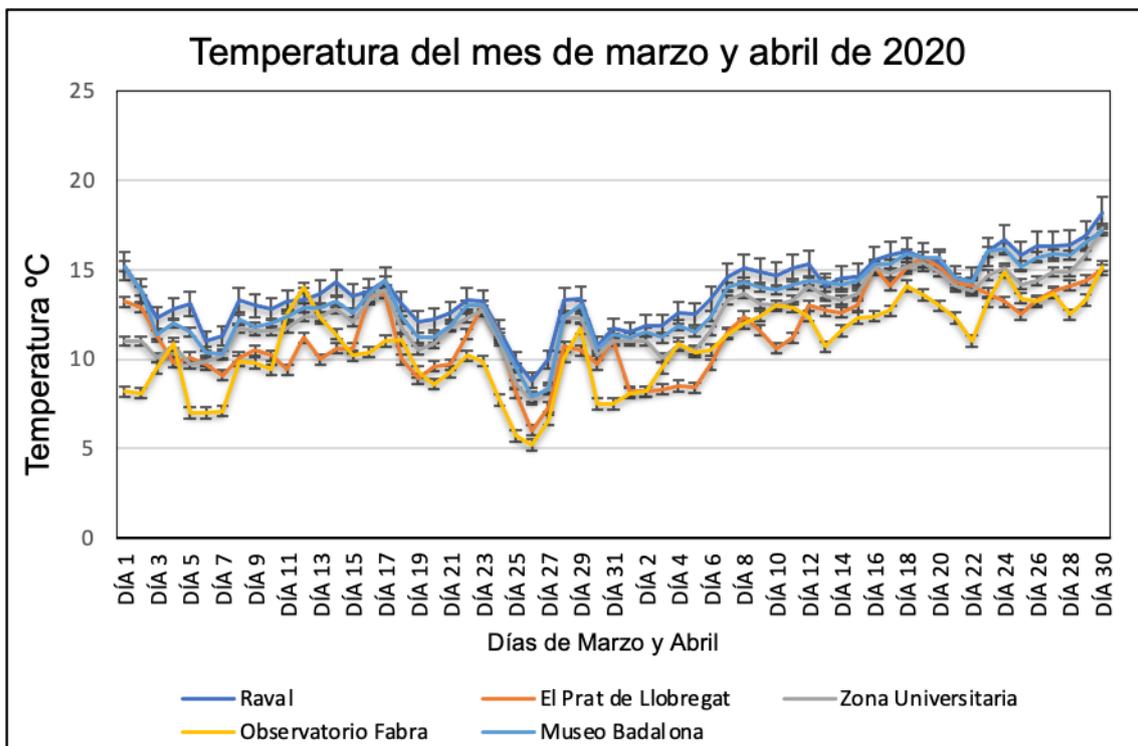
La Figura 6 muestra el promedio de la intensidad de la isla de calor urbana calculada realizando diferencias de temperatura entre diferentes estaciones en periodos quincenales para el mes de marzo (no confinamiento y confinamiento) y el mes de abril de 2020. Además, se muestra el promedio entre el 14 de marzo y el 31 de abril de 2020, y entre los años 2011 y 2019.



**Figura 6.** Diferencia de las temperaturas (°C) entre las estaciones seleccionadas del Área Metropolitana de Barcelona [43]

El análisis de los resultados presentados en la Figura 6 se centrará en los valores de las diferencias de temperatura entre El Raval – Zona Universitaria y El Raval – El Prat de Llobregat. Igualmente, los otros cuatro casos podrían ser estudiados y probablemente el hecho de disminuir el tránsito también tuvo una repercusión en la temperatura entre esas estaciones, pero no con tanta magnitud, debido a que las dos diferencias de temperaturas seleccionadas son entre el punto más cálido de la ciudad, El Raval [37], y otro punto de la periferia. [40, 43, 44]

Puede observarse en la Figura 6, como las intensidades de la isla de calor urbana durante el periodo de no confinamiento de marzo y el periodo de confinamiento de marzo son prácticamente idénticas, obteniendo en ambos casos los mismos valores de 2.1°C para el periodo de no confinamiento de marzo y 1.9°C para el periodo de confinamiento de marzo. Es una diferencia de temperatura muy pequeña de 0.2°C debido a que el tiempo entre la primera quincena de no confinamiento de marzo y la segunda quincena de confinamiento de marzo es escaso para que la temperatura se viera afectada. En cambio, si comparamos los valores obtenidos de las diferencias de temperaturas para el mes de abril, vemos como del periodo del mes de marzo de no confinamiento al periodo de abril de confinamiento la diferencia de temperatura se redujo de 2.1°C a 1.6°C, es decir, una reducción de 0.5°C entre estos dos periodos. Seguidamente, basándome en los valores obtenidos del 14 de marzo al 31 de abril del 2020 y del promedio de la temperatura en ese periodo durante los años 2011-2019, se observa que la intensidad de la isla de calor urbano fue 1.1°C durante el 2020 y de 1.8°C en promedio entre los años 2011-2019. Esta disminución de la intensidad de la isla de calor urbana de 0.7°C entre el promedio de la temperatura del periodo que dista entre el 2011-2019 y los valores obtenidos del 14 de marzo al 31 de abril del 2020 pudo ser causada por la disminución del tránsito como consecuencia del confinamiento en el Área Metropolitana de Barcelona.

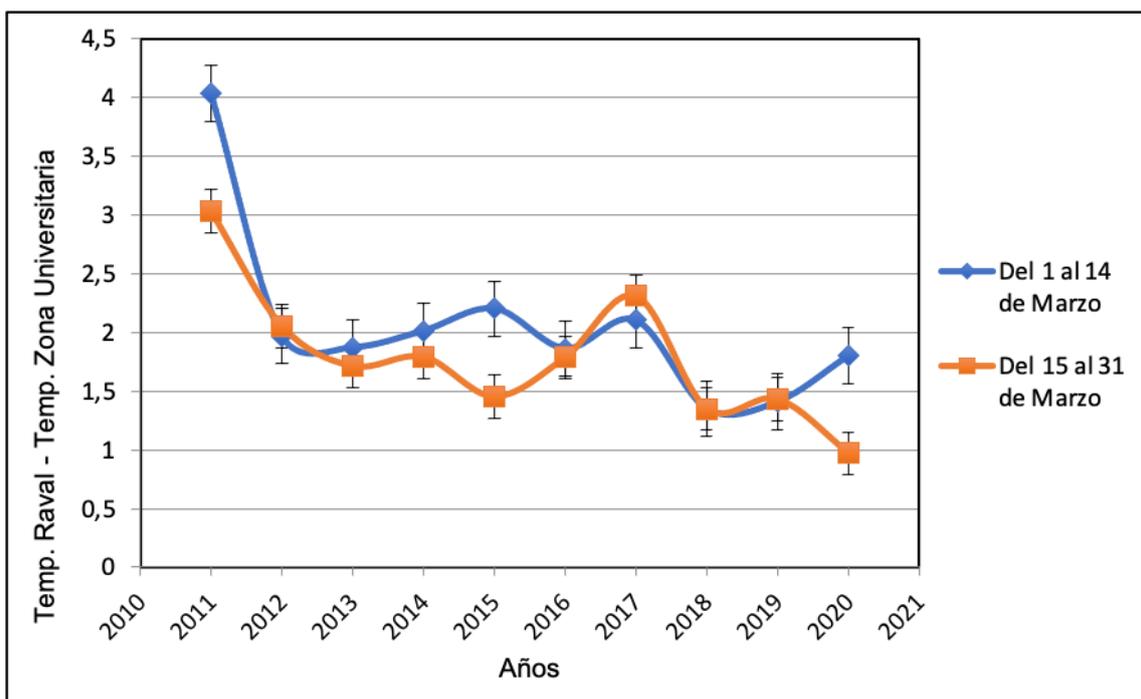


**Figura 7.** Temperatura (°C) del mes de marzo y abril de 2020 de las estaciones El Raval, Observatorio Fabra, El Prat de Llobregat, Museo Badalona y Zona Universitaria en el Área Metropolitana de Barcelona [43]

La Figura 7 muestra la evolución de la temperatura en las estaciones analizadas durante los meses de marzo y abril del 2020. Como se puede observar la máxima temperatura a lo largo de los meses de marzo y abril se registró en la estación de El Raval llegando a un máximo de temperatura de 18.2°C. En segundo lugar, como he mencionado anteriormente, la temperatura del Museo Badalona, como consecuencia de la proximidad al centro de la ciudad de Barcelona llegando a un máximo de unos 17°C aproximadamente. Las temperaturas menores se registraron en las estaciones del Observatorio Fabra y de El Prat de Llobregat llegando a un mínimo de 5.2°C.

#### 4.1 Análisis de la diferencia de temperatura entre El Raval y Zona Universitaria

La Figura 8 muestra el promedio de la diferencia de temperatura entre las estaciones de El Raval y Zona Universitaria para los días 1-14 y 15-31 de marzo para cada año analizado.



**Figura 8.** Promedio de la diferencia de temperatura (°C) entre las estaciones de El Raval y Zona Universitaria del 1-14 de marzo y del 15-31 de marzo para los años analizados [43]

La intensidad de la isla de calor en ambas quincenas es similar excepto en los años 2011, 2015 y 2020. Por un lado, analizando estos tres años se puede observar como las barras de error de cada uno de los años tienen mucha separación entre la primera y la segunda quincena de marzo con respecto al resto de años, por otro lado, los años en los que se tocan o están muy

próximas las barras de error no serán significativos. Por tanto, estos tres años serán los que realizaré debido a que sus barras de error de la primera y segunda quincena de marzo están muy separadas. Teniendo en cuenta que el tránsito solo se redujo durante el año 2020, en los años 2011 y 2015 las diferencias observadas fueron causadas por otros motivos.

Para intentar explicar las diferencias observadas en estos dos años se ha analizado la situación sinóptica de los años 2020, 2015 y 2011. Es importante destacar que, debido a su resolución, los mapas sinópticos no pueden explicar diferencias de temperaturas locales, por ejemplo, en una ciudad.

Este estudio se realizó usando los mapas meteorológicos de los modelos CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) [45] para las variables de presión a nivel del mar y altura geopotencial a 500 hPa a las 12:00 UTC. También se podría haber realizado el estudio de los mapas meteorológicos a los 850hPa, pero el nivel 500hPa es uno de los niveles de referencia por lo que fue suficiente para ver la situación general y analizar las advecciones. Los mapas estudiados se incluyen en los Anexos E-G.

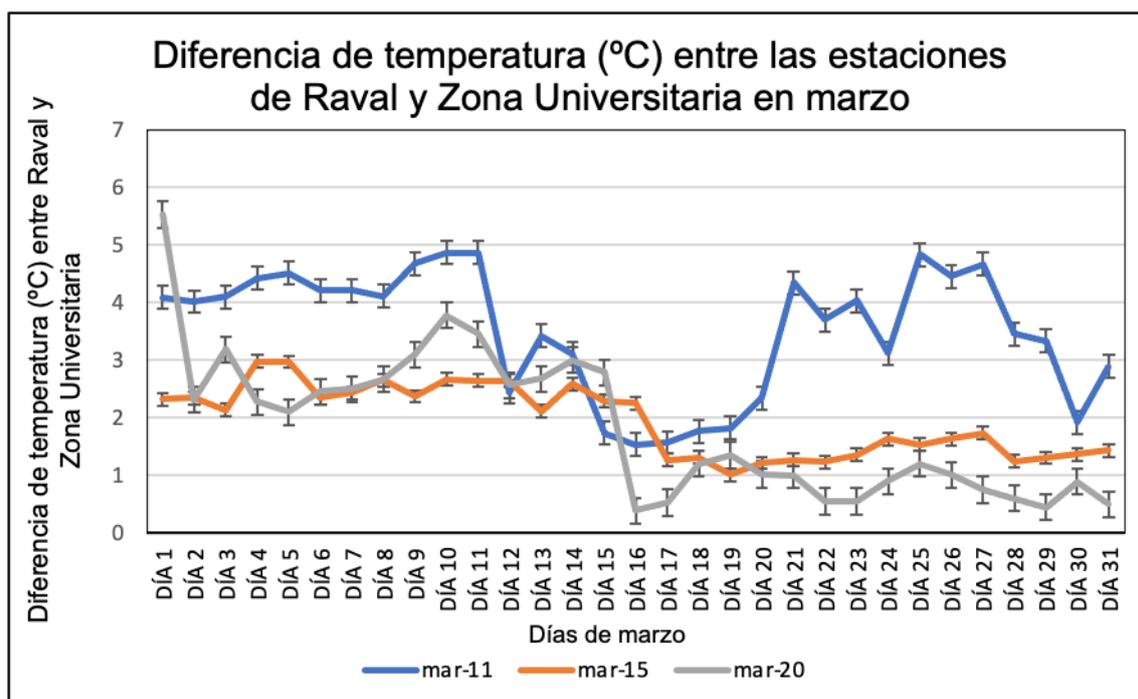
Durante el 2020, se observa en el Anexo E una entrada de aire frío durante el 2 de marzo, pero en el resto de los días de la primera quincena del mes no hubo cambios significativos de presión exceptuando el viento que varió la dirección de noreste a sudeste. Durante la segunda quincena del mes de marzo de 2020 no se observan entrada de masas de aire frías, exceptuando el día 25 de marzo cuando aparece una baja presión en Cataluña y cambia la dirección del viento hacia del sudeste al este.

Para el año 2015, se observa en el Anexo F que durante la primera quincena de marzo no hubo entradas de aire frío. En cambio, en los días 15 y 16 hubo una baja presión de 1020 hPa provocando una dirección del viento hacia el sudeste y desde el día 22 hasta el día 25 hubo una entrada de aire frío desde el norte.

Durante la primera quincena del año 2011, tal y como se muestra en el Anexo G, solo se observa una entrada de aire frío durante los días 3 y 4 de marzo. Por el contrario, en la segunda quincena hubo una baja presión durante los primeros días, pero luego la presión no varió en exceso. Para poder explicar las variaciones de las intensidades de la ICU (diferencias de temperatura entre estaciones), representé la evolución de temperatura de la estación meteorológica de El Raval, El Prat de Llobregat y la Zona Universitaria para ambos años. Cabe destacar que si el aumento o disminución de la temperatura es la misma en todas las estaciones mediante un análisis mesoescalar, no se pueden distinguir estaciones y las diferencias de temperatura entre estaciones no se deberían ver afectadas. Las diferencias de temperaturas aumentarían o

Disminuirían, pero todas en la misma proporción y, por lo tanto, las diferencias de temperaturas serían la mismas.

Una vez analizados los mapas sinópticos para cada uno de estos tres años, en la siguiente Figura 9 analicé los valores obtenidos de las diferencias de temperatura para 1-14 de marzo (no confinamiento) y del 15-31 de marzo (confinamiento) entre las estaciones de El Raval y Zona Universitaria a lo largo de los años 2011, 2015 y 2020.



**Figura 9.** Diferencia de temperatura (°C) entre las estaciones de El Raval y Zona Universitaria en el mes de marzo de los años 2011, 2015 y 2020 [43]

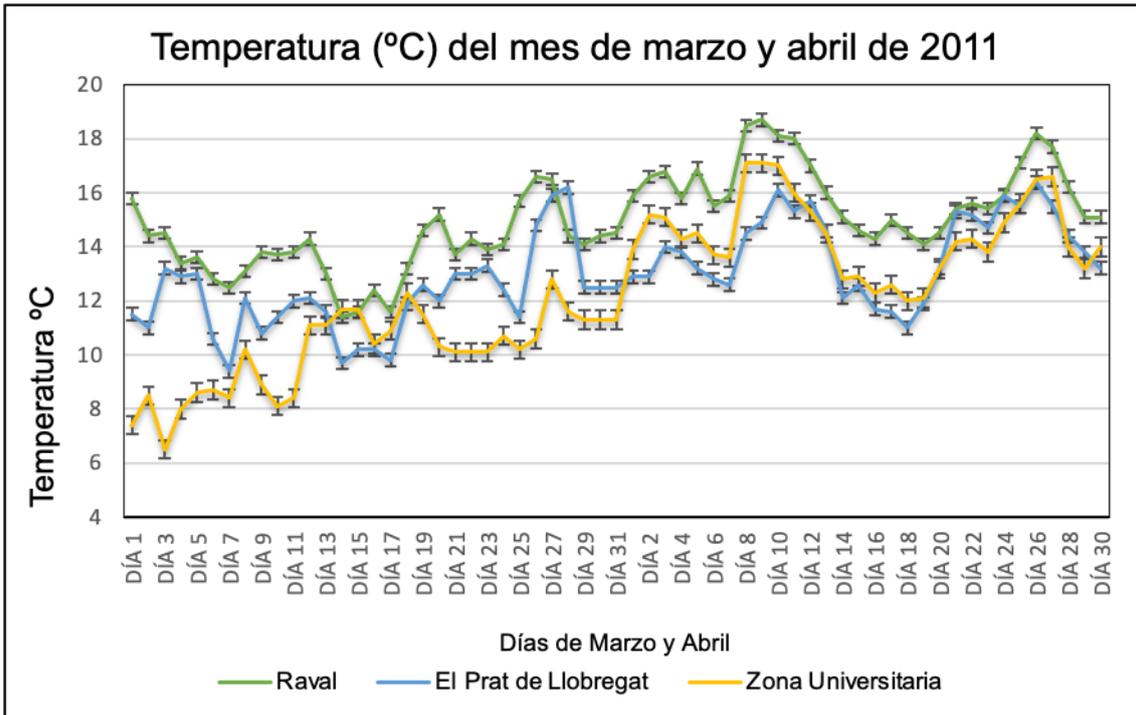
Se puede observar como para el año 2011 la diferencia de temperatura entre ambas estaciones varió con un promedio de diferencia de temperatura para la primera quincena de 4°C y con un promedio de diferencia de temperatura para la segunda quincena de 3°C. Para este año el valor máximo de la diferencia de temperatura fue de 4.8°C y el mínimo 1.5°C. Durante los primeros días la temperatura se mantuvo constante prácticamente hasta el día 12 y el día 16 donde hubo dos bajadas temperaturas de 2.4°C y 1.5°C respectivamente, aunque a partir del día 21 la temperatura se incrementó 2.8°C y continuó variando, llegando a un máximo de 4.6°C y a un mínimo de 1.9°C para los últimos días de marzo. En definitiva, para este año 2011 hay un periodo de descenso térmico brusco como causa de una advección fría en los primeros días del mes de marzo y, a partir del día 20, se produce una recuperación progresiva de la diferencia de temperatura.

Asimismo, para el año 2015 la diferencia de temperatura entre ambas estaciones varió con un promedio de diferencia de temperatura para la primera quincena de 2.2°C y con un promedio de diferencia de temperatura para la segunda quincena de 1.4°C. Para este año el valor máximo de la diferencia de temperatura fue de 2.9°C y el mínimo 1°C. En este año 2015 durante los primeros días la diferencia de temperatura osciló entre 2.1°C y 2.9°C hasta el día 16 donde se produjo una bajada de 1.2°C hasta el día 19. A partir de este último día la diferencia de temperatura se mantuvo prácticamente constante hasta el final de este mes.

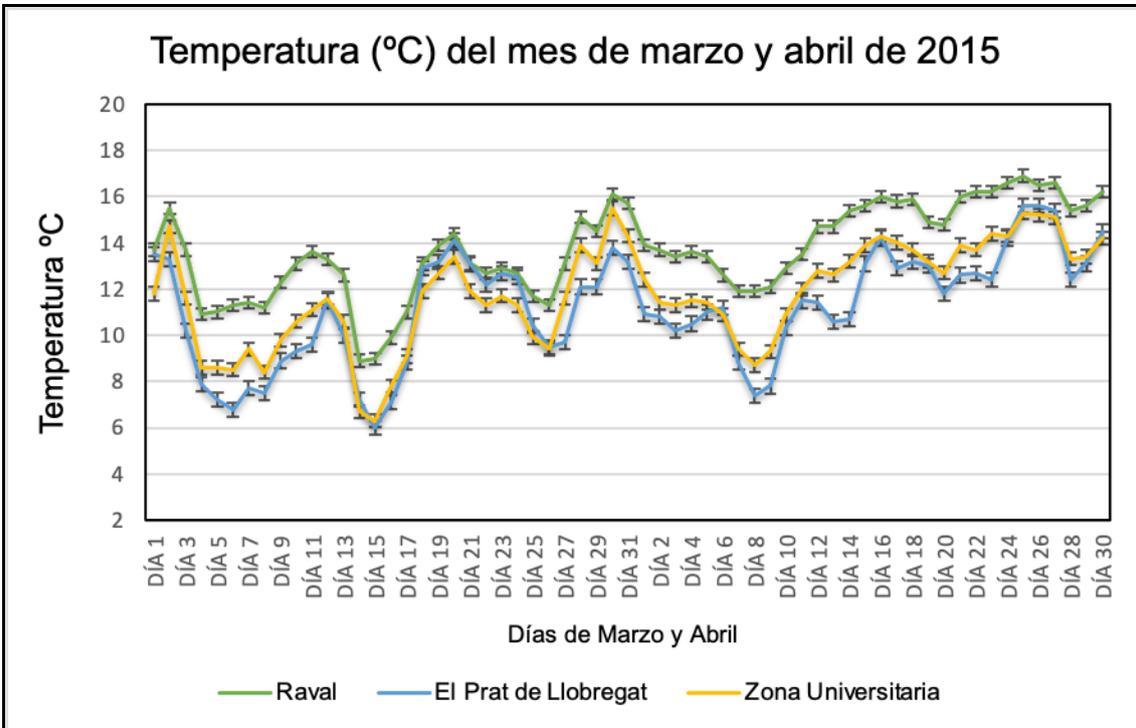
Finalmente, para el año 2020, la diferencia de temperatura entre ambas estaciones varió con un promedio de diferencia de temperatura para la primera quincena de 1.8°C y con un promedio de la diferencia de temperatura para la segunda quincena de 0.9°C. Para este año el valor máximo de la diferencia de temperatura fue de 5.5°C y el mínimo 0.3°C. En este caso, durante la primera quincena de confinamiento la diferencia de temperatura varió entre el valor máximo 5.5°C y 2.1°C, pero fue a partir del día 15 hasta el día 16 donde hubo una caída brusca de 2.4°C coincidiendo con los primeros días de confinamiento domiciliario y con la bajada de movilidad del tránsito en el Área Metropolitana de Barcelona. A partir del día 16 donde se llegó al mínimo de 0.3°C, la diferencia de temperatura se mantuvo baja prácticamente durante todos los días llegando a un valor final de 0.5°C el día 31.

Una vez analizada esta Figura 9, vemos que durante el año 2020 hubo un gran descenso de la diferencia de temperatura a partir del día 14 del mes de marzo, y como se puede observar no se produjo recuperación de la diferencia de temperatura por lo que no siguió un patrón de advección fría. Cabe destacar que estos mapas sinópticos no me ayudarán a saber la temperatura en la ciudad a una resolución alta, pero si una tendencia general de la temperatura.

A continuación, se puede ver la evolución de temperatura de la estación meteorológica de El Raval, El Prat de Llobregat y la Zona Universitaria para los años 2011 y 2015 del mes de marzo y abril en el Área Metropolitana de Barcelona.



**Figura 10.** Temperatura (°C) diaria del mes de marzo y abril de 2011 de las estaciones El Raval, El Prat de Llobregat y Zona Universitaria en el Área Metropolitana de Barcelona [43]



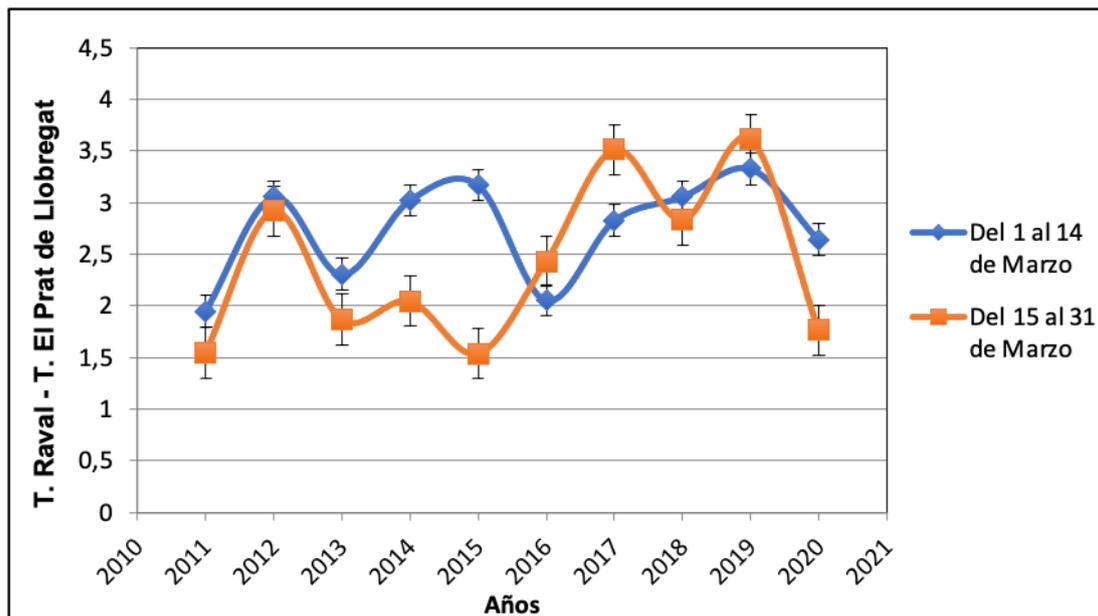
**Figura 11.** Temperatura (°C) diaria del mes de marzo y abril de 2015 de las estaciones El Raval, El Prat de Llobregat y Zona Universitaria en el Área Metropolitana de Barcelona [43]

Realizando el estudio de las temperaturas de la Figura 10 y 11, vemos como en ambas gráficas la tendencia de la temperatura es muy similar, debido a que tienen unas mismas condiciones meteorológicas generales y cabe destacar que según van pasando los días la temperatura va aumentando progresivamente en ambos casos, exceptuando algunos días puntuales donde la temperatura disminuye. Fijándonos en la Figura 10, observamos como la temperatura más alta se encuentra en El Raval llegando a un máximo de 18.7°C y a un mínimo de 11.6°C durante los dos meses analizados. Para esta misma gráfica la temperatura tanto de El Prat de Llobregat como la de Zona Universitaria empieza separada unos 4.1°C pero finalmente acaba llegando a la misma temperatura prácticamente. De forma similar ocurre con la Figura 11, donde El Raval tiene la temperatura más alta, aunque esta vez las temperaturas de los otros dos casos, Zona Universitaria y Prat de Llobregat, tienen una tendencia muy parecida coincidiendo en una misma temperatura de 14.1°C el día 30 de abril. En ambos años, la temperatura al final de abril fue superior que al inicio de marzo y esto significa que contra más temperatura tengamos menos intensa será la isla de calor.

Después de haber analizado la temperatura de las estaciones meteorológicas de El Raval, El Prat de Llobregat y Zona Universitaria en el mes de marzo y abril para los tres años correspondientes, una primera conclusión es que no se puede afirmar que el tránsito ha sido el mayor motivo por el cual la diferencia de temperatura disminuyó en los años 2011 y 2015. En cambio, para el año 2020 según la hipótesis inicial, el tránsito ha sido uno de los factores que ha tenido que ver con esta reducción de temperatura y, por tanto, ha provocado la variación de la intensidad de la isla de calor del Área Metropolitana.

## **4.2 Análisis de la temperatura entre El Raval y el Prat de Llobregat**

La Figura 12 muestra el promedio de la diferencia de temperatura entre las estaciones de El Raval y el Prat de Llobregat para los días 1-14 de marzo y 15-31 de marzo para cada uno de los años analizados.



**Figura 12.** Promedio de la diferencia de temperatura (°C) entre las estaciones de El Raval y el Prat de Llobregat del 1-14 de marzo y del 15-31 de marzo [43]

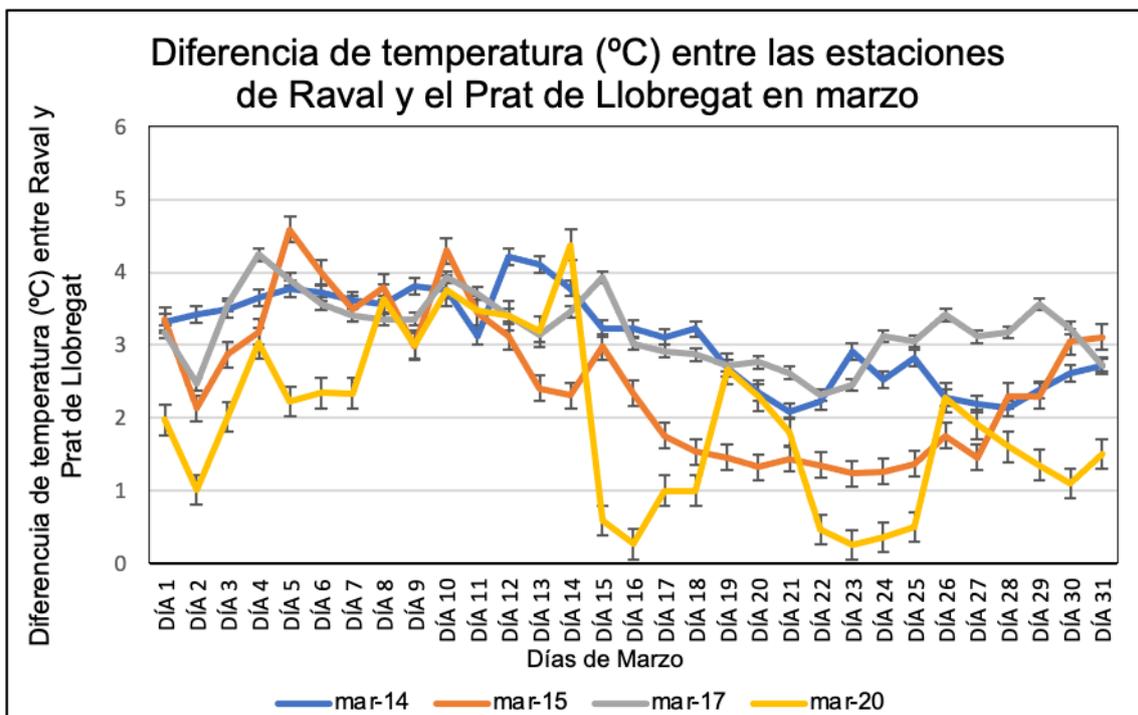
Como se muestra en la Figura 12, se observa una diferencia de temperatura entre ambas quincenas para los años 2014, 2015, 2017 y 2020, donde en el año 2014 hay una diferencia de temperatura de 1°C, en el año 2015 hay una diferencia de temperatura de 1.6°C, en el año 2017 hay una diferencia de temperatura de 0.7°C y en el año 2020 hay una diferencia de temperatura de 0.9°C. Analizando estos cuatro años se puede observar como las barras de error de cada uno de los años tienen mucha separación entre la primera y la segunda quincena de marzo, en contraposición, los años en los que se tocan o están muy próximas las barras de error no serán significativos. Por tanto, estos cuatro años serán los que analizaré debido a que sus barras de error de la primera y segunda quincena de marzo están muy separadas. Asimismo, cabe destacar que los años 2020 y 2015 ya han sido analizados en el apartado anterior, por lo que me centraré en los años 2014 y 2017.

Considerando que en el año 2020 se redujo la gran mayoría del tránsito, pero en los años 2014 y 2017 no, haré el estudio de la evolución temperatura para justificar las variaciones de las intensidades de la ICU. Como he mencionado anteriormente, los mapas sinópticos no me ayudarán para saber la temperatura en la ciudad a una resolución alta pero si mostrarán la presión, la dirección a la que se dirige el viento y una tendencia general de la temperatura. Seguidamente analizaré la diferencia de temperatura entre las estaciones de El Raval y el Prat de Llobregat en el mes de marzo de los años 2014, 2015, 2017 y 2020 y, posteriormente, la temperatura del mes de marzo y abril de 2014 y 2017 de las estaciones El Raval, El Prat de Llobregat y Zona Universitaria en el Área Metropolitana de Barcelona.

Al igual que en el apartado anterior, analicé los mapas meteorológicos de los modelos CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) [45], fijando para cada caso como fecha diaria las 12:00 UTC y una variable de altura geopotencial al nivel de 500 hPa, debido a que como es uno de los niveles de referencia fue suficiente para ver la situación general y analizar las advecciones. Los mapas estudiados se incluyen en los Anexos H e I.

Para el año 2014, se observa que hubo una entrada de aire frío del día 4 al día 5 a una presión de 1010 hPa proveniente de los países Nórdicos, pero el resto de los días fueron cálidos. Por lo contrario, para la segunda quincena en el día 26 apareció una baja presión a 1010 hPa que duró hasta final de mes, Para la primera quincena de 2017 se observa una presión de 1025 hPa, exceptuando el día 4 donde hubo una entrada de aire frío. Sin embargo, para la segunda quincena se observaron advecciones frías y vientos fuertes a partir del día 22 hasta el día 26 a una presión de entre 1010 hPa y 1015 hPa.

En definitiva, para los años 2014 y 2017, después de analizar los mapas sinópticos los cuales no muestran la temperatura, las diferencias de temperaturas aumentarán y disminuirán de la misma forma, por lo que será necesario un análisis de la temperatura para las respectivas estaciones meteorológicas. En la siguiente Figura 13 analicé los valores obtenidos de las diferencias de temperatura para 1-14 de marzo (no confinamiento) y del 15-31 de marzo (confinamiento) entre las estaciones de El Raval y el Prat de Llobregat a lo largo de los años 2014, 2015, 2017 y 2020.



**Figura 13.** Diferencia de temperatura (°C) entre las estaciones de El Raval y el Prat de Llobregat en el mes de marzo de los años 2014, 2015, 2017 y 2020 [43]

Se puede observar como para el año 2014 la diferencia de temperatura entre ambas estaciones varió con un promedio de diferencia de temperatura para la primera quincena de 3°C y con un promedio de diferencia de temperatura para la segunda quincena de 2°C. Para este año el valor máximo de la diferencia de temperatura fue de 4.2°C y el mínimo 2°C. A lo largo de la primera quincena la diferencia de temperatura fue variando muy levemente con punto máximo que se alcanzó el día 12 de 4.2°C y posteriormente, en la segunda quincena hubo una bajada en el día 21 hasta los 2°C, pero luego la diferencia de temperatura no varió mucho alcanzando los 2.7°C en el último día del mes de marzo.

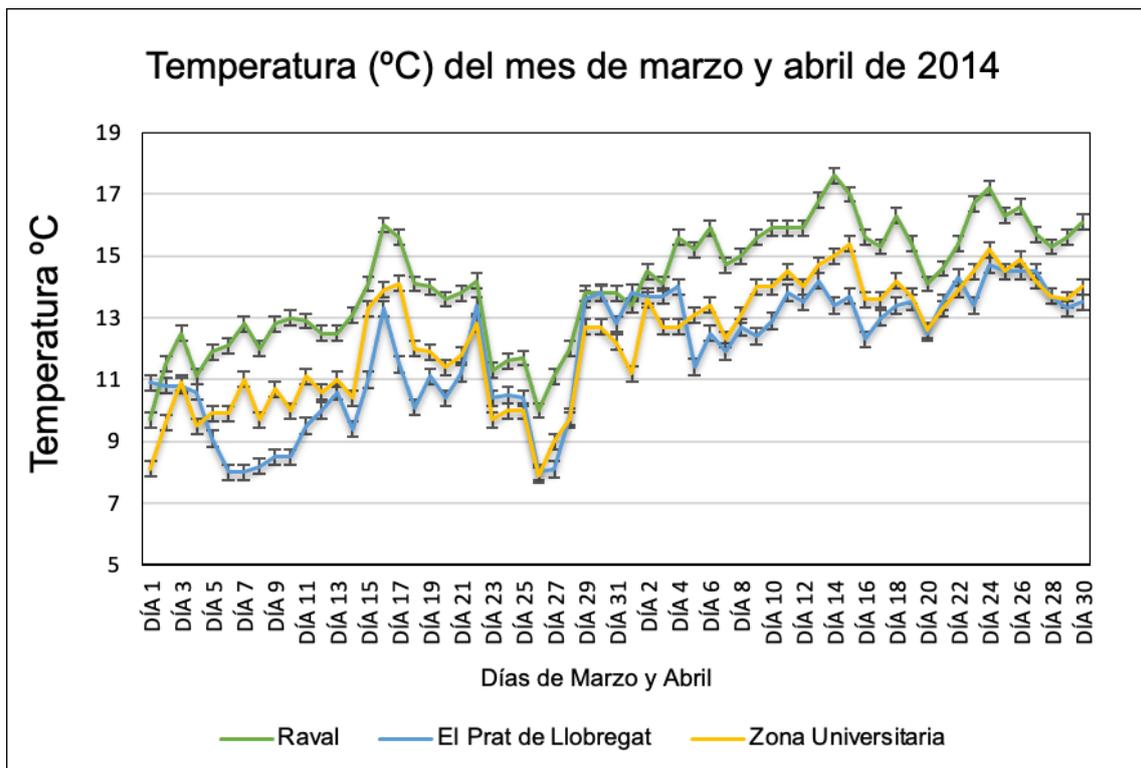
Igualmente, para el año 2015 la diferencia de temperatura entre ambas estaciones varió con un promedio para la primera quincena de 3.1°C y con un promedio para la segunda quincena de 1.5°C. Para este año el valor máximo de la diferencia de temperatura fue de 4.5°C y el mínimo 1.3°C. En este año 2015 durante los primeros días la diferencia de temperatura no fue constante debido a que hubo una subida del día 2 al día 5 de 2.4°C y, además, hubo otra subida de temperatura el día 10 hasta los 4.3°C. En cambio, en la segunda quincena la diferencia de temperatura se redujo notablemente llegando a un mínimo de 1.3°C en el día 20 y finalmente en los últimos días del mes fue aumentando paulatinamente hasta los 3.1°C. Una vez analizado esto podemos ver como a partir del día 15 la diferencia de temperatura disminuye, lo cual significa que hubo viento del sur, pero esto afecta a las dos estaciones por igual, Las temperaturas más altas de la Figura 13 hacen que la intensidad de la isla de calor sea más baja. En este año 2015, primero tenemos un pico a 4.3°C y, a partir del día 10 la diferencia de temperatura baja, seguidamente tenemos un máximo de 2.9°C y continúa bajando hasta el día 25.

Seguidamente, se puede observar como para el año 2017 la diferencia de temperatura entre ambas estaciones varió con un promedio para la primera quincena de 2.8°C y con un promedio para la segunda quincena de 3.5°C. Para este año el valor máximo de la diferencia de temperatura fue de 4.2°C y el mínimo 2.3°C. A lo largo de la primera quincena la diferencia de temperatura varió durante los 5 primeros días, pero luego se estabilizó. Fue a partir del día 15 donde la diferencia de temperatura se redujo de 3.9°C a 3°C, aunque a partir del día 22 fue ascendiendo la diferencia de temperatura hasta los 3.5°C para luego descender 0.8°C el día 31 de marzo.

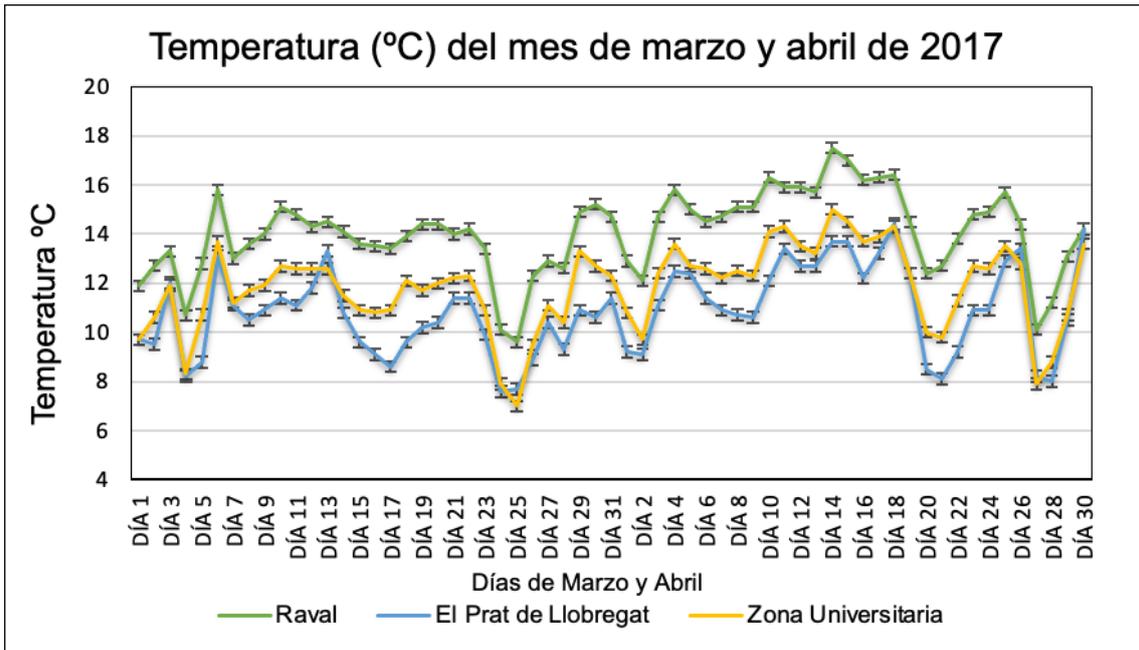
Por último, para el año 2020, la diferencia de temperatura entre ambas estaciones varió con un promedio para la primera quincena de 2.6°C y con un promedio para la segunda quincena de 1.7°C. Para este año el valor máximo de la diferencia de

temperatura fue de 4.3°C y el mínimo 0.2°C. En este caso durante la primera quincena de confinamiento hubo un aumento considerable de la diferencia de temperatura destacando los días 4, 8 y 14 donde se alcanzaron los 3.1°C, 3.6°C y 4.3°C respectivamente. Fue a partir del día 16 donde hubo una caída de 4.1°C coincidiendo precisamente con el inicio del confinamiento domiciliario y llegando al valor mínimo. Durante los siguientes días la diferencia de temperatura continuó con valores muy bajos exceptuando cuatro días puntuales, los días 19, 20, 21 y 26, donde hubo una subida de los valores de la diferencia de temperatura. En definitiva, se observa un claro cambio de tendencia en la evolución de la temperatura a partir del confinamiento, debido a que se produce un ascenso suave durante los primeros 14 días del mes de marzo, seguido de una ruptura brusca de la diferencia de temperatura y, finalmente, una estabilización en una diferencia de temperatura mucho menor, a excepción de los cuatro días puntuales.

En la figura 13, la diferencia de temperatura entre 2014 y 2017 son muy pequeñas y, en cambio, en 2015 hay una gran disminución de 1°C. El tránsito no pudo ser, por lo tanto, para llegar a una conclusión debo de tener en cuenta los mapas analizados y la temperatura.



**Figura 14.** Temperatura (°C) diaria del mes de marzo y abril de 2014 de las estaciones El Raval, El Prat de Llobregat y Zona Universitaria en el Área Metropolitana de Barcelona [43]



**Figura 15.** Temperatura (°C) diaria del mes de marzo y abril de 2017 de las estaciones El Raval, El Prat de Llobregat y Zona Universitaria en el Área Metropolitana de Barcelona [43]

Al igual que en el apartado 4.1, en este estudio de las Figuras 14 y 15 vemos como en ambas gráficas las temperaturas no son muy variantes con excepción de algunos días puntuales. En la Figura 14, vemos que la temperatura más alta se encuentra en El Raval llegando a un máximo de 17.6°C y a un mínimo 10°C durante los meses de marzo y abril. Para esta misma gráfica, la temperatura tanto de El Prat de Llobregat, de Zona Universitaria y de El Raval tienen una fuerte bajada de las temperaturas el día 26 de Marzo, pero a excepción de ese día las temperaturas fueron aumentando progresivamente. En cambio, en la Figura 15 podemos observar muchas más disminuciones de temperaturas como, por ejemplo, en el 25 de marzo y en el 21 y 27 de abril. Aunque hubiera más variaciones de temperaturas ni en el año 2014 ni el 2017 se puede ver con claridad que la temperatura pueda justificar las variaciones de las intensidades de la ICU para estos años.

Después de haber analizado la temperatura de las estaciones meteorológicas de El Raval, el Prat de Llobregat y Zona Universitaria en el mes de marzo y abril para los 2011, 2014, 2015 y 2017, puedo llegar a la conclusión que la diferencia de temperatura de estos años se vio afectada por la temperatura. Asimismo, la semana santa que no fue un hecho que afectara en gran magnitud a la temperatura durante esos años debido a que se realiza la segunda semana de abril y observando las Figuras 10, 11, 14 y 15 no se ven grandes variaciones de temperatura. Aunque no se puede saber con exactitud

la afectación que tuvo la temperatura en los años mencionados anteriormente, en el año 2020 si podemos asegurar que hubo un decrecimiento notable del tránsito y, por lo tanto, fue uno de los factores por los que se redujo la temperatura durante los meses de marzo y abril. Finalmente, en el siguiente apartado realizaré un análisis de la reducción de movilidad del tránsito comparándola con la diferencia de temperatura para poder saber si realmente la disminución del tránsito debido al confinamiento ha influido en la isla de calor urbana en el Área Metropolitana de Barcelona.

### 4.3 Reducción de movilidad del tránsito

Para poder llegar a una mejor conclusión final sobre el análisis de la influencia del tránsito al fenómeno de la isla de calor urbana, se ha estudiado la movilidad asociada al tránsito en el Área Metropolitana con el objetivo de comparar los resultados obtenidos en los apartados 4.1 y 4.2 durante los meses de confinamiento en el AMB.

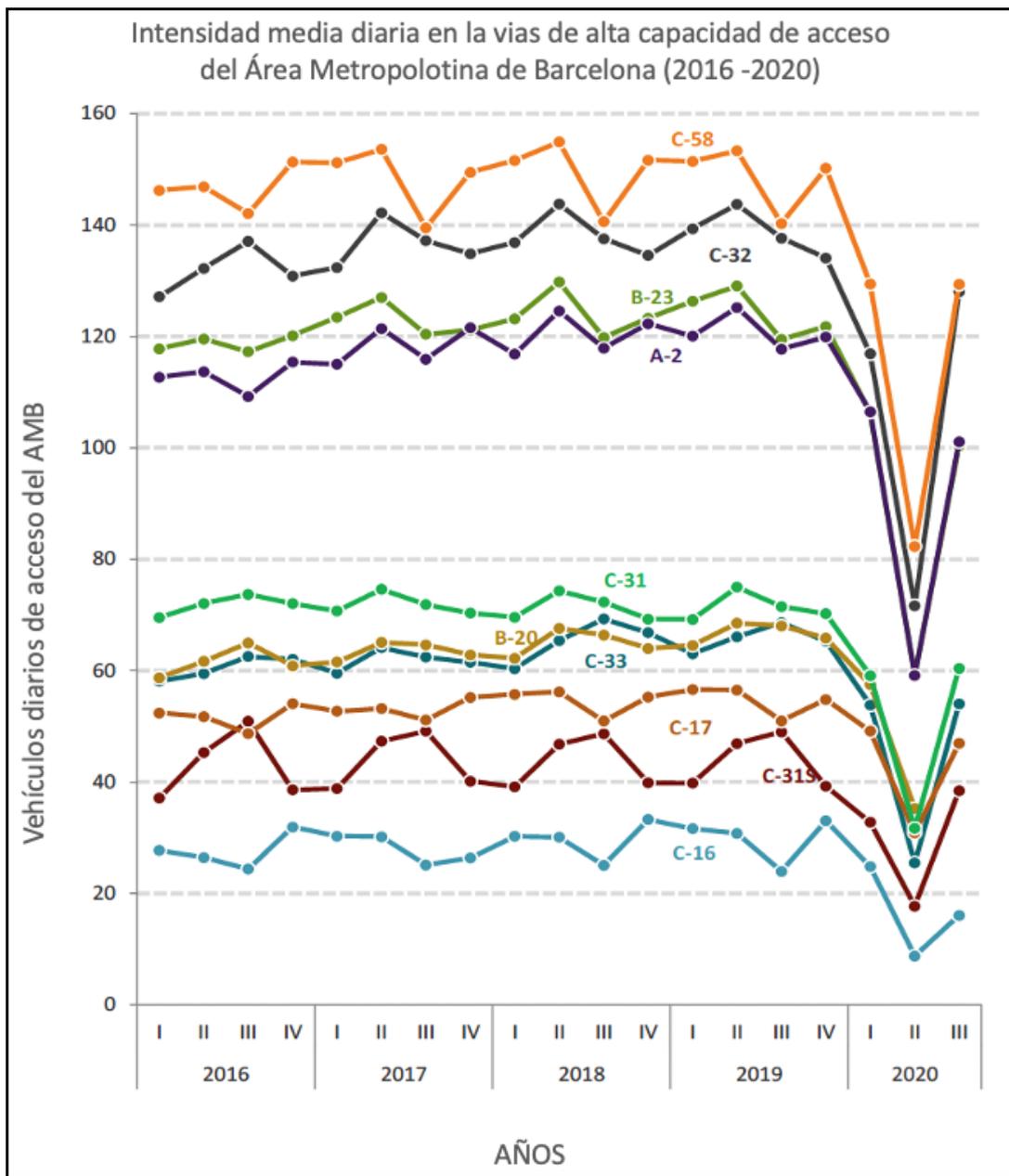
Según un estudio realizado por el ayuntamiento de Barcelona sobre el volumen de tránsito en las calles con más intensidad circulatoria entre el 2011 y el 2015 [46, 47], la media diaria de vehículos en un día laborable que circulan por Barcelona es de aproximadamente 807.386 vehículos. Tomando los últimos valores del análisis de 2015, en la Tabla 2 se muestran las vías en las cuales se ha hecho el control de intensidad del tránsito, de las cuales las más concurridas son la Avenida Diagonal (84.816 vehículos/diario), Avenida Meridiana (84.639 vehículos/diario), Ronda del Mig (77.696 vehículos/diario) y Calle Aragón (78.597 vehículos/diario). [46]

Lloc de control d'intensitat de trànsit	2011	2012	2013	2014	2015
<b>VÍAS</b>	<b>826.735</b>	<b>824.789</b>	<b>807.223</b>	<b>803.933</b>	<b>807.386</b>
<b>Vías dirección Mar-Montaña (vías verticales)</b>	<b>494.485</b>	<b>490.867</b>	<b>479.017</b>	<b>478.677</b>	<b>483.696</b>
Comte d'Urgell (París-Còrsega)	43.245	42.021	41.798	41.948	42.015
Aribau (Diputació Consell de Cent)	19.298	19.722	19.091	19.326	19.797
Av. Sarrià (J. Tarradellas-Trav. Corts)	54.002	52.937	51.313	50.974	51.055
Balmes (Diputació-Gran Via)	35.230	36.154	36.025	34.721	35.473
Tarragona (Aragó-Consell de Cent)	48.764	46.265	45.978	46.819	46.513
Via Laietana (Pl. Antoni Maura)	44.933	44.408	44.431	43.889	43.732
Av. Meridiana (Mallorca-València)	86.254	85.130	83.216	83.491	84.639
Marina (Almogàvers-Alí-Bei)	26.315	25.877	23.210	23.263	23.524
Ronda del Mig (Trav. Corts-Av. Madrid)	76.907	77.342	75.584	76.748	77.696
Numància (Marquès de Sentmenat)	32.099	32.616	32.073	31.457	31.832
Entença (Déu i Mata)	27.438	28.395	26.298	26.040	27.420
<b>Vías dirección Besòs-Llobregat (vías horizontales)</b>	<b>332.250</b>	<b>333.922</b>	<b>328.206</b>	<b>325.255</b>	<b>323.690</b>
Aragó (Pau Claris-Pg. Gràcia)	78.567	78.615	75.340	76.591	78.597
Mallorca (Bruc-Roger Llúria)	21.788	22.037	23.112	22.615	22.529
València (Rbla. Catalunya-Pg. Gràcia)	28.134	28.394	28.326	28.065	28.416
Gran Via (Villarroel-Casanova)	57.511	56.716	53.057	51.115	52.653
Diagonal (Rbla. Catalunya-Via Augusta)	92.985	93.258	92.864	90.069	84.816
Pg. Colom	53.265	54.902	55.507	56.800	56.678
<b>RONDAS</b>					
<b>Ronda de Dalt (Anillo Collserola)</b>	<b>163.513</b>	<b>161.025</b>	<b>158.202</b>	<b>156.098</b>	<b>161.294</b>
<b>Ronda Litoral (Vila Olímpica)</b>	<b>102.988</b>	<b>102.396</b>	<b>102.425</b>	<b>101.544</b>	<b>103.311</b>

**Tabla 2.** Media diaria de vehículos en un día laborable en las calles con más intensidad circulatoria en el Área Metropolitana de Barcelona. 2011 – 2015 [46]

Asimismo, el instituto de estudios regionales y metropolitanos de Barcelona realizó un análisis sobre el tránsito en las vías de alta capacidad en toda el Área Metropolitana de Barcelona [47], donde se puede observar la cantidad de vehículos diarios que circulan por esas diez vías más concurridas en un día laborable, destacando la A-2 (120.787 vehículos/día), la B-23 (124.272 vehículos/día), la C-32 (138.703 vehículos/día) y la C-58 (148.920 vehículos/día) como las vías con más intensidad media diaria de vehículos.

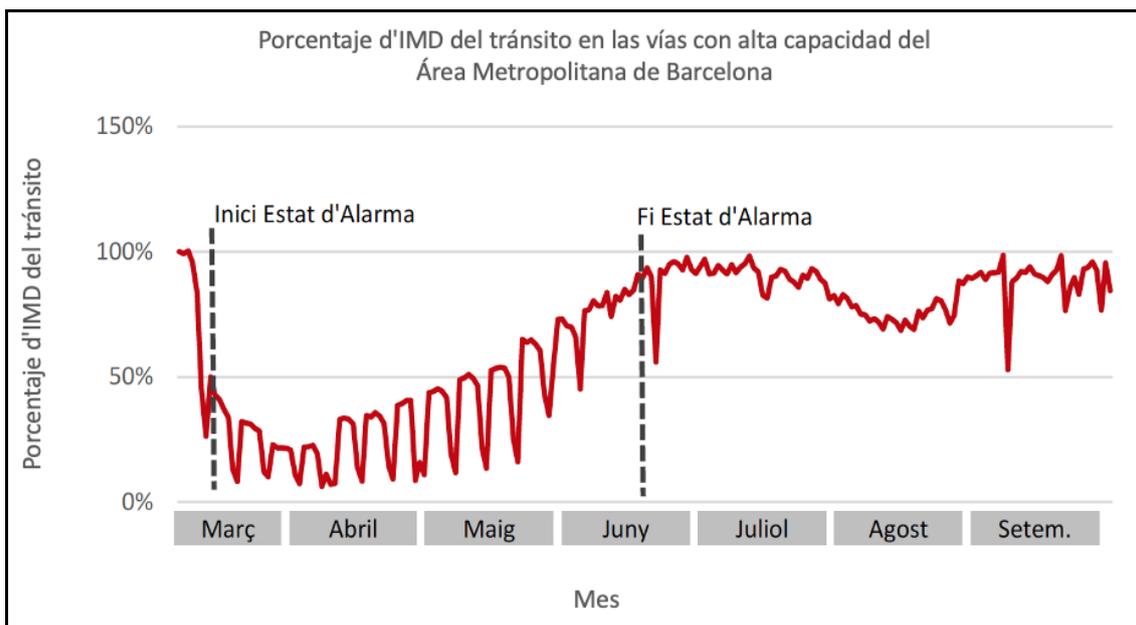
En la Figura 16 podemos observar los vehículos diarios de entrada en el AMB entre los años 2016-2020. [46]



**Figura 16.** Intensidad media diaria de vehículos de alta capacidad de acceso del AMB entre 2016 y 2020 (eje “x”: trimestres; eje “y”: miles de vehículos) [48]

Teniendo en cuenta que según este estudio cada año se divide en cuatro trimestres y que el confinamiento domiciliario se produjo en marzo de 2020, se puede observar claramente una fuerte bajada de la intensidad media diaria de vehículos a finales del primer trimestre de 2020 que coincide con el mes de marzo. Una vez se fueron levantando las restricciones domiciliarias y perimetrales, se puede observar un incremento de la intensidad media diaria de vehículos a partir del final del segundo trimestre, más concretamente finales de mayo e inicios de Junio [2,48]. Esta resolución trimestral me ha ayudado para contextualizar a un primer nivel la intensidad media de vehículos y para demostrar que hubo una bajada del tráfico durante los meses de confinamiento, pero como se podrá ver más adelante, también realicé el estudio de la movilidad del tránsito a escala diaria para poder relacionarlo con el análisis térmico.

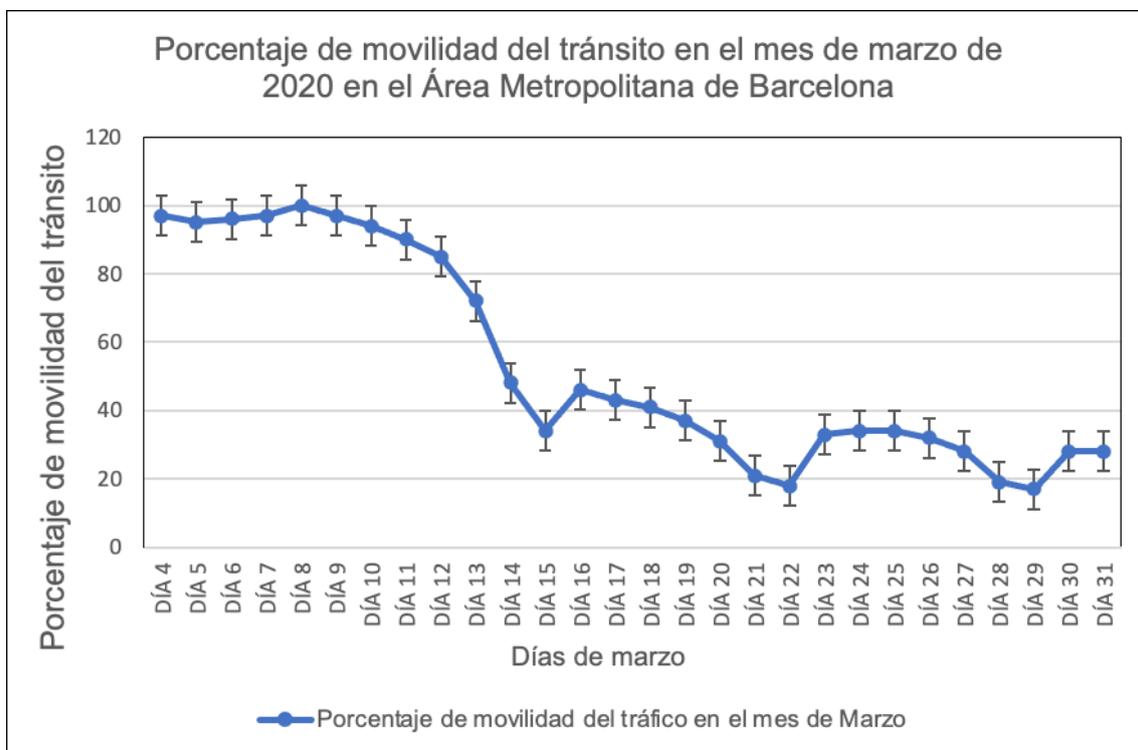
Igualmente, en consideración al informe trimestral de la movilidad y del entorno socioeconómico del AMB [48], la movilidad durante el periodo de la pandemia disminuyó como se puede ver en la siguiente Figura 17, donde se muestra el porcentaje de IMD con respecto a las vías de alta capacidad del AMB.



**Figura 17.** Porcentaje de intensidad media diaria de vehículos de alta capacidad de acceso del AMB [47]

Una vez recopilados estos datos sobre la media diaria de vehículos en un día laborable que circulan por Barcelona (807.386 vehículos/diarios) y las vías más concurridas de toda el AMB, a través de los datos que obtuve del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, pude graficar el porcentaje de movilidad tanto para el mes de marzo como el de abril de 2020. [44, 46]

A continuación, podemos observar en la Figura 18 y la Figura 19 el porcentaje de movilidad del tránsito para los meses de marzo y abril respectivamente en el Área Metropolitana de Barcelona.

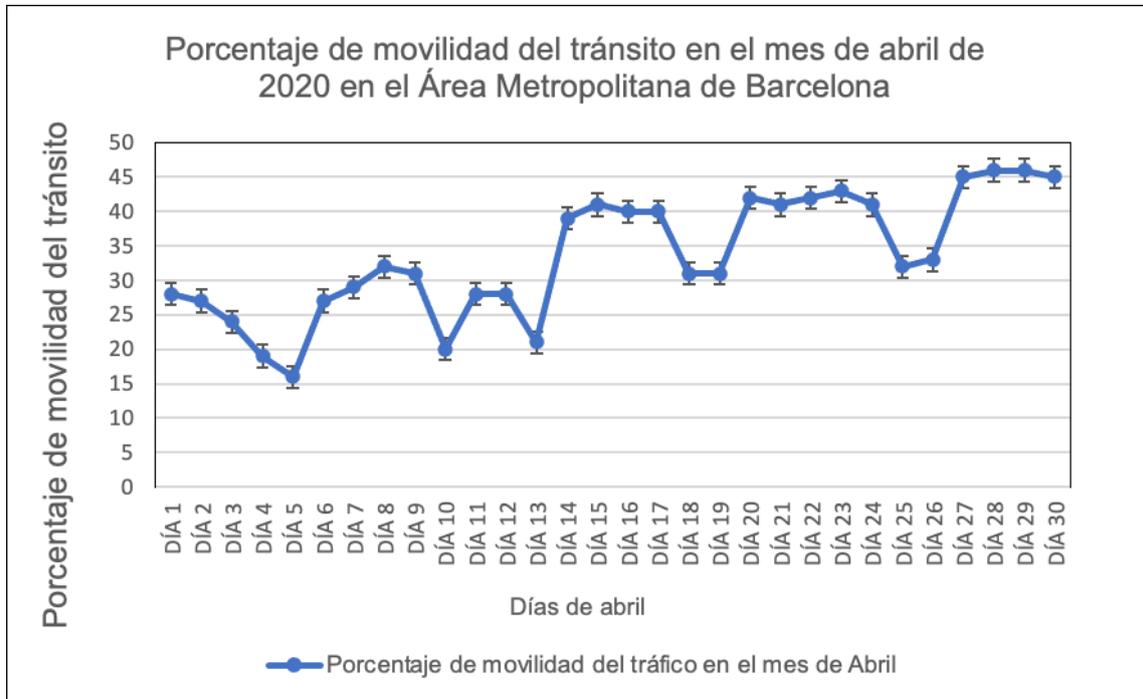


**Figura 18.** Porcentaje de movilidad del tránsito en el mes de marzo de 2020 en el Área Metropolitana de Barcelona (en %) [44]

Analizando esta gráfica para el mes de marzo, se puede observar un fuerte decrecimiento a partir del día 12 hasta el día 15 de marzo, donde se redujo la movilidad del tránsito de un 72% a un 48%, coincidiendo con los primeros días que hubo confinamiento domiciliario. Teniendo en cuenta que el 100% de vehículos diarios que circulaban en un día laborable por toda el Área Metropolitana de Barcelona aproximadamente eran 807.386 vehículos, esta reducción hasta el 48% de la movilidad del tránsito en los primeros días de confinamiento equivaldría a un total de 385.145 vehículos/diarios. Posteriormente, en este mes de marzo la movilidad del tránsito en Barcelona fue disminuyendo cada vez más hasta llegar a un mínimo de 17% de movilidad el día 29 de este mes, lo que equivaldría a 136.406 vehículos/diarios [44, 46].

Tomando de referencia este 100% de vehículos/diarios en un día laborable y los porcentajes de movilidad del tránsito para cada día del mes de marzo en el periodo de no confinamiento (del 1 al 13 de marzo) y en el periodo de confinamiento (del 14 hasta el día 31 de marzo), realicé un promedio de todos los vehículos diarios que circularon por Barcelona durante esas dos franjas,

obteniendo para el periodo de no confinamiento una circulación de 652.749 vehículos/diarios y para el periodo de confinamiento una circulación de 238.986 vehículos/diarios. Datos que encuentro muy significativos debido a que el promedio de vehículos/diarios en el periodo de confinamiento se redujo más de la mitad, más concretamente un 64% durante este mes de marzo. [44, 45]



**Figura 19.** Porcentaje de movilidad del tránsito en el mes de abril de 2020 en el Área Metropolitana de Barcelona (en %) [44]

De la misma forma para el mes de abril, donde continuó la misma tendencia de decrecimiento de la movilidad del tránsito, se llegó a un mínimo del 16% movilidad del tránsito el día 5 de abril lo que equivaldría a 128.382 vehículos/día y a un máximo de 46% de movilidad del tránsito el día 28 y 29 de este mes lo que equivaldría a 365.098 vehículos/día. En el resto de los días de este mes, circuló una cantidad de vehículos entre este máximo y mínimo, aunque en la gráfica se puede apreciar como a medida que iban pasando los días la tendencia era la de aumentar el número de vehículos diarios que circulaban por el AMB. [44, 45]

Asimismo, nuevamente cogí de referencia el 100% de vehículos/diarios en un día laborable y los porcentajes de movilidad del tránsito para cada día del mes de abril en el periodo de confinamiento (del 1 al 30 de abril) y realicé un promedio de todos los vehículos diarios que circularon por Barcelona durante esos días del mes, obteniendo un total de 271.281 vehículos/diarios [2, 44, 45]. Haciendo la comparación con el resultado obtenido en el periodo de confinamiento del mes pasado, el promedio de vehículos/diarios en el mes de abril se incrementó un 5.6%. Y, para tener una visión más óptima de los

resultados, también calculé el promedio conjunto del periodo de confinamiento tanto para el mes de marzo como el mes de abril, obteniendo un valor de 255.125 vehículos/diarios lo que equivaldría una reducción de un 31% con respecto al 100%. [2, 44, 45]

Como consecuencia de esta reducción de movilidad del tránsito durante estos meses de marzo y abril analizados, dejaron de circular una gran cantidad de vehículos, los cuales dejaron de desprender calor hacia el aire, además de haber una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen a un caldeoamiento de la atmósfera urbana. [48]. Teniendo en cuenta que en los últimos años la media de trayecto urbano de los vehículos en Barcelona ha aumentado con un promedio aproximadamente de 28.9 km/diarios por persona [49] y que la franja analizada fue de las 17:00 UTC hasta las 6:00 UTC, obtuve una media de 11,95 km/diarios por persona considerando que cada persona recorría la misma distancia durante cada hora. Con un total de 12 horas recorridas por cada vehículo y con un promedio de emisión de CO<sub>2</sub> de cada vehículo de 115 grCO<sub>2</sub>/km [48] y teniendo en cuenta la media de km/diarios que hace una persona, obtuve que antes que se produjera el confinamiento domiciliario y considerando el 100% de vehículos en un día laborable (807.386 vehículos/diarios) teníamos una cantidad media absoluta de 1.377.000 kg CO<sub>2</sub> diaria. [45, 48]

Sabiendo que un vehículo produce una determinada temperatura y tomando como referencia los 255.125 vehículos/diarios del periodo de confinamiento [2], calculé la reducción de kg CO<sub>2</sub> en cantidad absoluta que hubo durante este tiempo, obteniendo una cantidad media absoluta de 435.116 kg CO<sub>2</sub> diaria, lo que significó una bajada considerable de gases de efecto invernadero que se liberaron en la atmosfera de un 31% respecto al 100% de vehículos/diarios que circulan en un día laborable en el Área Metropolitana de Barcelona.

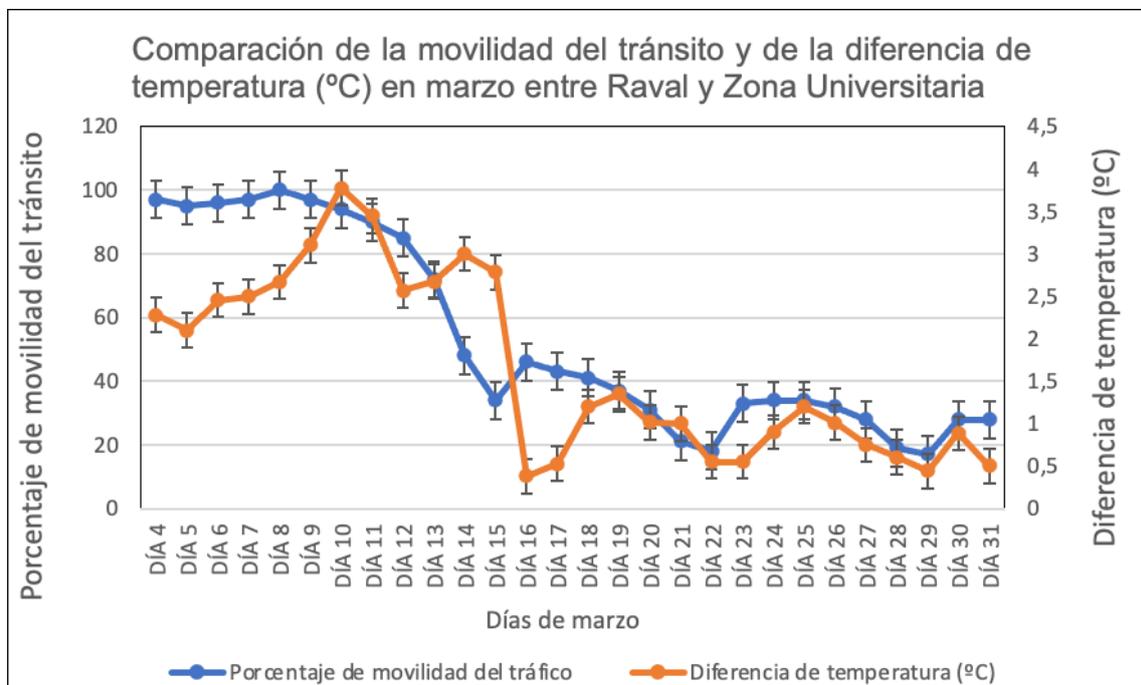
Además, teniendo en cuenta que 1 kg equivale a  $10^{-3}$  toneladas y que en cada día de los meses de marzo y abril del confinamiento se producían 435.116 kg CO<sub>2</sub>, con un total de 48 días analizados, se liberaron en la atmósfera un total de  $20.885.568 \times 10^{-3}$  toneladas de CO<sub>2</sub> aproximadamente durante el periodo de confinamiento analizado. [45, 48]

Teniendo en cuenta el cálculo realizado y que la Zona Universitaria es una de las estaciones meteorológicas con más influencia que he analizado en este estudio, calcularé una estimación de las toneladas de CO<sub>2</sub> que se liberaron en la atmósfera durante el confinamiento en esta estación meteorológica. Considerando los datos de la Tabla 2, obtuve que la media diaria de vehículos que circulan en un día laborable en la Zona Universitaria (Diagonal) es de 90.798 vehículos/diarios. Tomando el 100% de vehículos en un día laborable (807.386 vehículos/diarios) obtuve que el porcentaje de vehículos en la Zona

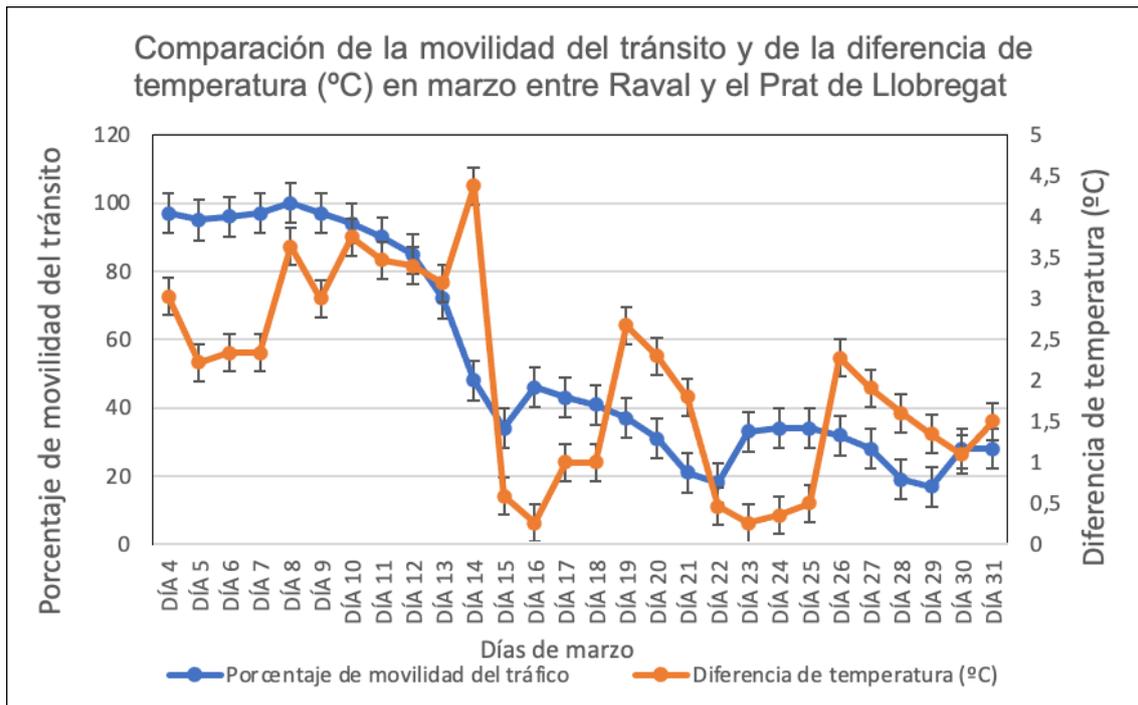
Universitaria es de 11.3%. Teniendo en consideración la cantidad de 90.798 vehículos/diarios y la reducción del 31% obtuve que durante el confinamiento del mes de marzo y abril circularon por la Zona Universitaria un total de 28.147 vehículos/diarios, es decir, un 11% en referencia a los 255.125 vehículos/diarios que circularon durante el confinamiento. Esto equivale a una reducción de 48.005 kg de CO<sub>2</sub> y considerando los 48 días analizados de confinamiento del mes de marzo y abril, se liberaron  $2.304.240 \times 10^{-3}$  toneladas de CO<sub>2</sub> en la atmósfera durante el periodo de confinamiento en la Zona Universitaria. [45, 48]

Cabe destacar que, para poder entender mejor estos valores obtenidos, relacioné gráficamente la temperatura de los meses de marzo y abril para los dos casos a escala diaria (El Raval – Zona Universitaria y El Raval – Prat de Llobregat) con respecto al porcentaje de movilidad del tránsito de este periodo para ver finalmente como afectó la intensidad UHI en el AMB. Para hacer esta relación obtuve cuatro figuras, dos para el mes de marzo y otras dos para el mes de abril para cada uno de los dos casos analizados en los apartados 4.1 y 4.2.

A continuación, la Figura 20 y la Figura 21 muestran la comparativa del porcentaje de tránsito relacionado con la temperatura para el mes de marzo y la diferencia entre las estaciones del El Raval y Zona Universitaria.



**Figura 20.** Comparación del porcentaje de movilidad del tránsito en el Área Metropolitana de Barcelona (en %) y la diferencia de temperatura (°C) en marzo entre El Raval y Zona Universitaria [43, 44]



**Figura 21.** Comparación del porcentaje de movilidad del tránsito en el Área Metropolitana de Barcelona (en %) y la diferencia de temperatura (°C) en marzo entre El Raval y el Prat de Llobregat [43, 44]

Analizando estas figuras se desprende que la bajada de la temperatura tiene cierta similitud en la tendencia de la reducción del tránsito.

Con respecto a la Figura 20, vemos como entre el 1 y el 13 de marzo, donde aún no había confinamiento, había una temperatura media de 2.7°C, mientras que en el periodo de confinamiento entre el 14 y el 31 de marzo hubo una bajada notable de la temperatura obteniendo una media de 0.7°C. Con respecto a la movilidad del tránsito se mantuvo constante durante los primeros días en los que no hubo confinamiento, al igual que la temperatura que se mantuvo entre los valores 2.2°C y 3.7°C y no fue hasta el día 16 de marzo que se empezó a notar la reducción de movilidad del tránsito donde el porcentaje de movilidad disminuyó hasta el 46% lo cual significó un descenso de la circulación de 435.988 vehículos/diarios. También, pudo verse que aunque la movilidad se fue reduciendo a partir del día 13 de marzo, la temperatura no se vio afectada hasta 2 días después debido a que como fue una bajada de aproximadamente 4°C la temperatura no estabilizó hasta el día 15. En los días siguientes que distan entre el 16 y el 31 de marzo la temperatura se mantuvo entre los valores 0.3°C y 1.2°C y, además, tanto la movilidad del tránsito como la diferencia de temperatura permanecieron en consonancia, exceptuando los días 22 y 29 donde el porcentaje de movilidad del tránsito se redujo en un 82% para el día 22 de marzo y en un 83% para el día 29 de

marzo. Decrecimiento que supuso una bajada de 670.131 vehículos/diarios. [2, 43, 44, 46]

Por tanto, en esta Figura 20 tomando el promedio de la reducción de movilidad del tránsito del periodo de confinamiento (desde el 14 al 31 de marzo) que fue 68,3%, puedo asegurar que esta bajada del porcentaje de movilidad contribuyó a una bajada de 1.9°C, que es la diferencia aproximada entre los valores 2.7°C y 0.7°C. [2, 43]

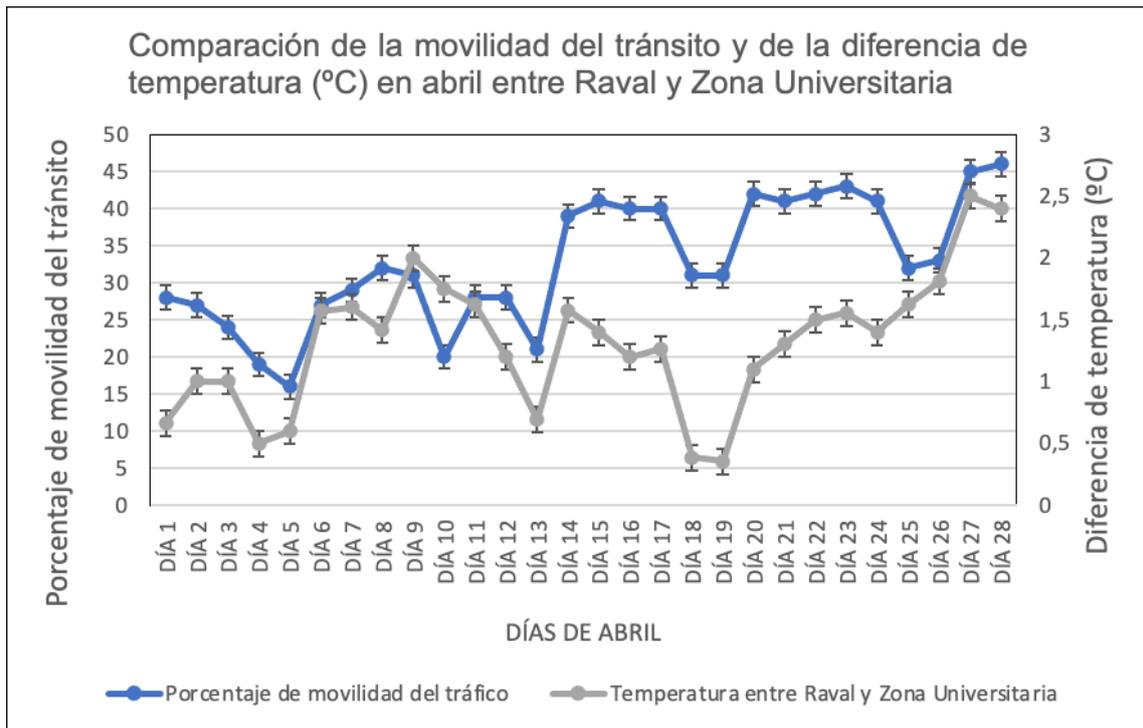
De forma similar ocurre en la Figura 21, donde en los primeros 13 días del mes de marzo hubo una diferencia de temperatura de 3.1°C, mientras que en los días siguientes de confinamiento de este mes la diferencia se redujo a 1.2°C [2, 34]. En este primer periodo de no confinamiento la temperatura osciló entre los 2.2°C y los 4.3°C y fue a partir del día 14 de marzo donde la temperatura tuvo una fuerte bajada de 4.3°C hasta 0.5°C coincidiendo con el primer día de confinamiento y con una reducción del 66% de la movilidad del tránsito con respecto a los días anteriores. Las temperaturas desde el día 15 hasta el día 31 de marzo oscilaron entre los valores 0.2°C y 2.6°C. Se ve claramente en esta Figura 21, como hay más picos de temperatura durante los días que hubo confinamiento con respecto a la Figura 20 como, por ejemplo, el día 19 y 26 donde la tendencia de la diferencia de temperatura fue de aumentar. El punto máximo de temperatura de este periodo de confinamiento fue 2.6°C el cual coincidió con una bajada de la movilidad del tránsito hasta el 37%, lo que significó una reducción de la circulación de 508.653 vehículos/diarios. Igualmente, el punto más bajo de temperatura que fue 0.2°C coincidió justo con uno de los primeros días de confinamiento por lo que el porcentaje de movilidad del tránsito fue 46% lo que equivaldría a 371.397 vehículos/diarios. [2, 43, 44]

Al igual que hice en el caso anterior, para esta Figura 21 tomando el promedio de la reducción de movilidad del tránsito del periodo de confinamiento (desde el 14 al 31 de marzo) que fue 68,3%, puedo asegurar que esta bajada del porcentaje de movilidad contribuyó en una bajada de 1.91°C, que es la diferencia aproximada entre los valores 3.11°C y 1.2°C.

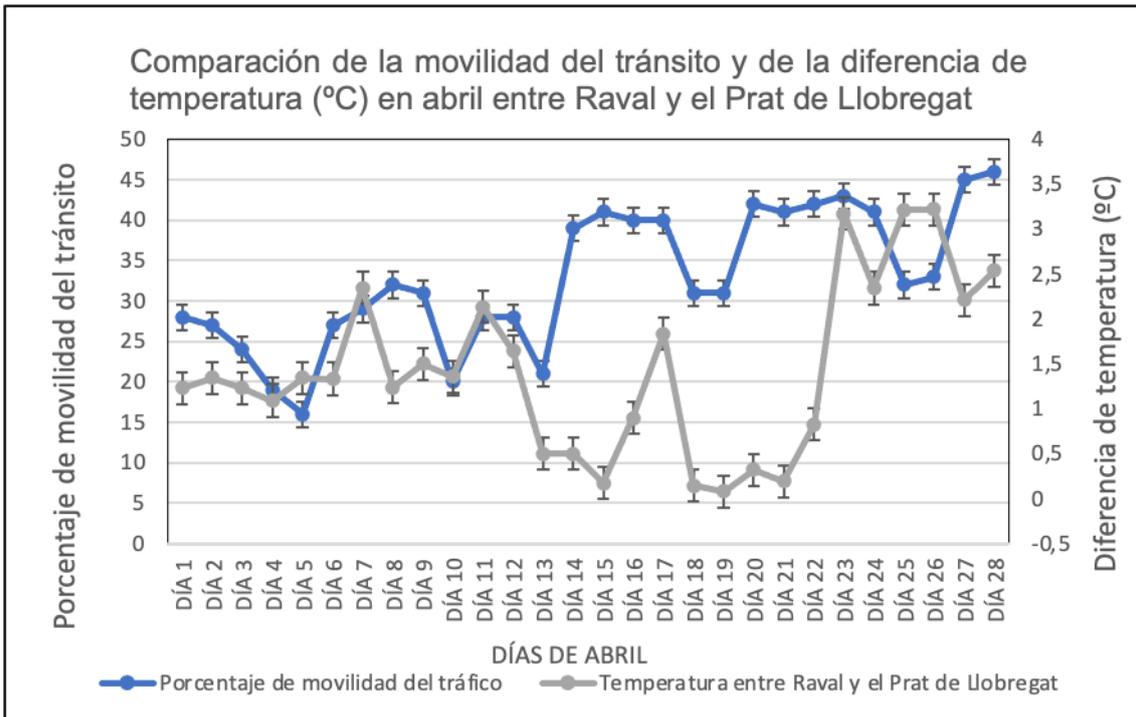
Una vez analizadas estas dos Figuras 20 y 21, puedo concluir que para el mes de marzo la reducción de movilidad del tránsito pudo ser uno de los factores que provocó la disminución de la diferencia de temperatura entre las estaciones de El Raval y la Zona Universitaria por un lado, y El Raval y –el Prat de Llobregat por otro lado. Lo que significa que a causa de esta disminución del tránsito en el Área Metropolitana de Barcelona durante el periodo de confinamiento de este mes se pudo ver reducida la intensidad de la UHI. Para ser más concreto, en la Figura 20 obtuve una bajada de 1.9°C, mientras que en la Figura 21 obtuve una bajada de 1.9°C. Por tanto, aproximando estos dos

valores, la bajada de 68,3% de movilidad del tránsito en el AMB pudo ser uno de los factores que contribuyó a una disminución de la diferencia de temperatura de aproximadamente de 1.9°C para el periodo de confinamiento del mes de marzo y pudo ser uno de los principales elementos que ayudó en la disminución de la intensidad de isla de calor urbana. [10, 44]

A continuación, podemos ver la Figura 22 y la Figura 23 con la comparativa del porcentaje de movilidad del tránsito relacionado con la temperatura para el mes de abril entre las estaciones meteorológicas que han sido objeto de estudio.



**Figura 22.** Comparación del porcentaje de movilidad del tránsito en el Área Metropolitana de Barcelona (en %) y la diferencia de temperatura (°C) en abril entre El Raval y Zona Universitaria [43, 44]



**Figura 23.** Comparación del porcentaje de movilidad del tránsito en el Área Metropolitana de Barcelona (en %) y la diferencia de temperatura (°C) en abril entre El Raval y el Prat de Llobregat [43, 44]

En estas dos Figuras 22 y 23, en las cual hubo confinamiento durante todo el mes de abril [3], la diferencia de la temperatura en algunos días siguió una tendencia similar al del porcentaje de movilidad del tránsito, pero no se ve tan claro como en el mes anterior debido a que no hay mucha variación en la movilidad del tránsito ni en la diferencia de temperatura. Para la Figura 22, haciendo el promedio de todas las temperaturas del mes de abril obtuve un valor de 1.3°C, mientras que para la Figura 16 obtuve un promedio de todas las temperaturas de 1.4°C. [43, 44]

En la Figura 22 los valores de temperatura oscilaron entre 0.2°C y 2.5°C y, además, se puede apreciar un comportamiento no tan preciso con respecto al mes, pero aún así el patrón de la movilidad del tránsito coincide en muchos puntos del gráfico. Por ejemplo, en los días 18 y 19 de abril hay una bajada brusca de movilidad del tránsito del 9% lo que equivaldría a una reducción de 72.665 vehículos/diarios entre estos dos días y, asimismo, coincidió con una disminución térmica de 1.2°C a 0.3°C. En cambio, en la Figura 23 se contempla una variación de temperatura que no está del todo en consonancia con el incremento de la movilidad del tránsito del 28% al 46% que correspondería un aumento de 145.329 vehículos/diarios en este mes de abril. Principalmente, hubo dos fuertes subidas de temperaturas en los días 16 y 23 de este mes donde aumentaron en 0.9°C y 2.3°C respectivamente, aunque estos

incrementos no coincidieron con un aumento de movilidad de tránsito en estos dos días. [43, 44]

En este mes de abril hubo un descenso considerable de un 67,2% de movilidad del tránsito en el Área Metropolitana de Barcelona tomando como referencia el 100% de vehículos/diarios que circulaban en un día laborable antes del confinamiento domiciliario. Por tanto, puedo asegurar que esta reducción del porcentaje de movilidad del tránsito contribuyó a una disminución de 1.3°C, valor que obtuve de hacer la media entre 1.3°C y 1.4°C. [43, 44]

Después de haber realizado la comparación de la variación de la temperatura con de la movilidad del tránsito y haciendo la media entre las dos temperaturas calculadas para cada mes, 1.9°C y 1.3°C, obtuve una media de descenso final durante estos meses de 1.6°C. Pude llegar a la conclusión que la diferencia de temperatura entre las estaciones de El Raval-Zona Universitaria y El Raval - El Prat de Llobregat disminuyó durante el periodo de confinamiento aproximadamente 1.6°C.

Finalmente, considerando esta disminución durante el periodo de confinamiento de 1.6°C y la media de la diferencia de temperatura durante el periodo de estudio del año anterior entre El Raval – Zona Universitaria que fue de 21.8°C y entre El Raval – El Prat de Llobregat que fue de 20.5°C, obtuve una media de 20.2°C y 18.9°C para ambos casos respectivamente [41]. Por tanto, puedo concluir que, entre otras muchas causas, la reducción de diferencia de temperatura pudo favorecer en la disminución del efecto de la isla de calor urbana entre El Raval – Zona Universitaria en un 7.3% y entre El Raval – El Prat de Llobregat en un 7.8%. [43]

#### **4.4 Relación con el sector aeronáutico**

Finalmente, para acabar este apartado 4 veo importante destacar la relación de la isla de calor urbana con el mundo aeronáutico, a través del transporte vía dron dentro de una ciudad donde en los últimos años este sector ha experimentado una extraordinaria evolución tanto en el mercado internacional como nacional [51]. Nos encontramos ante un sector con mucho potencial en el que el continuo avance tecnológico y la innovación son los elementos principales para hacer grandes desarrollos.

En la actualidad existen diversas iniciativas sobre la aplicación de las nuevas tecnologías en la mejora de la eficiencia de los servicios reconociendo nuevos retos tanto en seguridad como en la movilidad en el entorno urbano. La utilización de estos drones tendrá un impacto muy positivo para todos los ciudadanos, ya que estos permitirán un impulso en la gestión de aspectos como los servicios de movilidad (Smart Mobility) desde el punto de vista de la

gestión del tránsito [51]. Teniendo conocimiento del mapa de la ciudad y de la influencia que tiene el tránsito en los puntos más concurridos de la ciudad, los drones podrán sobrevolar fácilmente estas zonas e informarán de la congestión de los vehículos y de su intensidad calorífica, debido a que llevarán cámaras térmicas con las que medirán la temperatura. Y, de esta forma, los drones contribuirán de forma inteligente en la gestión del tránsito tanto en ámbitos urbanos como interurbanos y se realizará una gestión más activa y controlada. [51]

Además, teniendo los conocimientos necesarios del origen de la isla de calor y de la energía que libera la ciudad y gracias al uso de estos drones con sensores térmicos, que nos permiten obtener información periódica de las temperaturas de las zonas deseadas de estudio, podríamos aplicar acciones para reducir el efecto invernadero y las temperaturas extremas y, de esta forma, poder contribuir con el cambio climático. Con estos datos obtenidos por los drones, se podría detectar cuales son los elementos urbanos que generan estas altas temperaturas y junto con esto habría que tener en consideración la recopilación de todos los datos sobre el tipo de superficie que corresponden a estas zonas estudiadas y revisar su capacidad para almacenar temperaturas a lo largo de periodos extensos [51]. Por lo que el empleo de drones será altamente beneficioso para detectar factores potenciales que generan islas de calor y poder reducir su impacto. Asimismo, el uso de estos drones será altamente beneficioso para otros sectores como la agricultura, la energía, la seguridad y el salvamento, el comercio electrónico y la paquetería, la construcción, las telecomunicaciones y la movilidad. [51]

## 5. CONCLUSIONES

Después de haber realizado el análisis de la temperatura para las estaciones de El Raval, la Zona Universitaria y el Prat de Llobregat y el estudio de la movilidad del tránsito para los meses de marzo y abril, haciendo la comparativa con la diferencia de temperatura para las estaciones de El Raval – Zona Universitaria y El Raval – el Prat de Llobregat, puedo concluir que la disminución del tránsito en el Área Metropolitana de Barcelona ha sido uno de los factores que ha podido contribuir en la variación del efecto de isla de calor. La reducción de movilidad del tránsito durante el periodo de confinamiento podría haber sido uno de los motivos, entre otros, por los que se vio disminuida la temperatura, asociadas a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero emitidos por los motores de explosión de los vehículos. [2, 43, 44, 48]

Más concretamente para el mes de marzo la disminución del tránsito del 68,3% fue uno de los motivos por los que se redujo la diferencia de temperatura en 1.9°C y para el mes de abril la reducción del tránsito del 67,25% fue uno de los motivos por los que se redujo la diferencia de temperatura en 1.3°C. Asimismo, tomando estos valores como referencia, a lo largo de todo el periodo de confinamiento de marzo y abril en conjunto, la disminución de un 67,8% de movilidad del tránsito fue uno de los motivos por los que hubo una bajada de 1.6°C [43, 44]. De la misma forma, la reducción de los vehículos fue un factor importante en la disminución del 31% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, teniendo en cuenta que antes del confinamiento domiciliario circulaban un número de 807.386 vehículos/diarios mientras que durante estos dos meses de marzo y abril la media disminuyó considerablemente a 255.125 vehículos/diarios [46, 48]. Encuentro este dato muy significativo, ya que dejaron de circular 552,261 vehículos/diarios y, además, considerando el 100% de vehículos en un día laborable (807.386 vehículos/diarios) pude calcular que se emitían en cantidad media absoluta un total de 1.377.000 kg CO<sub>2</sub> diarios. Sabiendo esto pude calcular la emisión en cantidad media absoluta para los 48 días de los meses de marzo y abril del confinamiento obteniendo un valor de 435.116 kg CO<sub>2</sub>. Es decir, se liberaron en la atmósfera un total de  $20.885.568 \times 10^{-3}$  toneladas de CO<sub>2</sub> aproximadamente durante el periodo de confinamiento analizado. [45, 48, 49]

Gracias al análisis de las temperaturas que realicé en los apartados 4.1 y 4.2, pude ver que las diferencias de temperaturas en los años 2011, 2014, 2015 y 2017 no se debieron principalmente a las temperaturas, sino que hubo otros factores que hicieron que las diferencias de temperaturas fueran diferentes entre el 1-14 de marzo y del 15-31 de marzo. En cambio, en el año 2020 sí que

hubo una bajada de movilidad del tránsito durante ese periodo, por lo que un motivo de decrecimiento de la diferencia de temperatura fue la reducción del tránsito [43, 44]. Del mismo modo, es importante destacar el estudio que llevé a cabo de las otras cuatro diferencias de temperaturas (Zona Universitaria – Observatorio Fabra, Zona Universitaria – El Prat de Llobregat, Observatorio Fabra – El Raval, Museo Badalona – El Raval), ya que eran cuatro diferencias de temperaturas perfectamente analizables pero la Figura 6 me ayudó a focalizar el trabajo centrándome en las diferencias de temperaturas de El Raval – Zona Universitaria y El Raval – El Prat de Llobregat, donde los resultados obtenidos fueron fundamentales para dar una respuesta sobre mi hipótesis inicial. [43]

Debido a la pandemia y a las restricciones de movilidad que impuso el gobierno de España en el año 2020, pude ver cuál ha sido el papel del tránsito y como afectó en el efecto UHI en la ciudad de Barcelona gracias a que se redujo la circulación de cualquier tipo de vehículo a gran escala durante los meses analizados de marzo y abril [2]. Basándome en las barras de error de la Figura 8 y Figura 12 y considerando la separación entre promedio de la diferencia de temperatura entre las estaciones de El Raval y Zona Universitaria del 1-14 de marzo y del 15-31 de marzo para el año 2020 que fue de  $0.8^{\circ}\text{C}$  y entre las estaciones de El Raval y Zona Universitaria del 1-14 de marzo y del 15-31 de marzo para el año 2020 que fue de  $0.9^{\circ}\text{C}$ , puedo concluir que esta diferencia de temperatura que muestran las barras de error, entre otros factores, fue debido a la disminución del tránsito durante el confinamiento. [43]

Finalmente, teniendo en cuenta que la media de la diferencia de temperatura durante el periodo de estudio del año anterior entre El Raval – Zona Universitaria fue de  $21.8^{\circ}\text{C}$  [41] y entre El Raval – El Prat de Llobregat fue de  $20.5^{\circ}\text{C}$  [41] y que durante el confinamiento se redujeron  $1.6^{\circ}\text{C}$  aproximadamente, considerando todos los factores y no solo la reducción de movilidad de tránsito, obtuve una media de  $20.2^{\circ}\text{C}$  y  $18.9^{\circ}\text{C}$  para ambos casos respectivamente [41]. De este modo, puedo concluir que la reducción de diferencia de temperatura, entre otras causas, pudo ayudar a reducir el efecto de la isla de calor urbana entre El Raval – Zona Universitaria un 7.3% y entre El Raval – El Prat de Llobregat un 7.8%. [43]

Desafortunadamente, en los próximos años la temperatura seguirá aumentando en las proyecciones climáticas, con olas de calor mucho más frecuentes e intensas y se agravarán los efectos negativos de la UHI en Barcelona [52]. En un contexto global de la temperatura, la isla de calor urbana cada vez presentará más riesgos para el cambio climático en las grandes ciudades, lo cual significa que habrá que tomar una serie de medidas para poder reducirlo. Para ello habría que disminuir el volumen del tránsito de vehículos, hacer un uso más eficiente de la energía o mejorar el aislamiento

térmico de viviendas urbanas instalando techos ecológicos o techos fríos, principalmente reflectantes [52, 53]. Además, sería idóneo aumentar la cobertura arbórea y de vegetación para que los parques generasen islas frescas y aunque la elevada densidad constructiva de Barcelona no permite acciones a corto plazo destinadas a crear espacios verdes, igualmente se debe seguir promocionando la implementación de techos verdes, creación de jardines y parques y aumentar la plantación de árboles [52]. Asimismo, una recomendación que expongo es la naturalización de los patios interiores que se encuentran en los pisos y de varios bloques de edificios para poder tranquilizar el tránsito en las calles. De hecho, se trata de un intento para disminuir la densidad construida y, de esta forma, incrementar la liberación de calor latente para reducir los niveles de ruido, mitigar la isla de calor, mejorar la calidad del aire, etc [52]. En definitiva, para mejorar y crear un entorno mucho más sostenible y beneficioso para todos.

Finalmente, creo firmemente en la aplicación de drones en las ciudades para reducir la densidad del tránsito de vehículos y, de esta forma, disminuir el efecto UHI será primordial [51]. Por tanto, nos encontramos ante un sector con gran potencial de expansión, en el que la innovación y el continuo avance tecnológico serán fundamentales para un buen desarrollo a largo plazo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Le Quéré, C., Jackson, R.B., Jones “Reducción temporal de las emisiones globales diarias de CO2 durante el confinamiento forzado COVID-19” [Online]. Available: <https://www.nature.com/articles/s41558-020-0797-x>
- [2] Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, “Real Decreto-ley 11/2020, de 31 de marzo, por el que se adoptan medidas urgentes complementarias en el ámbito social y económico para hacer frente al COVID-19” [Online]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2020-4208>
- [3] Javier Martin Vide y M. Carmen Moreno García, “Probability values for the intensity of Barcelona’s urban heat island (Spain)”
- [4] Li Yang, Feng Qian, De-Xuan Song and Ke-Jia Zheng, “Research on Urban Heat Island Effect” [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816332039>
- [5] Arnfield, A. J. “Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. International journal of climatology”
- [6] Weng, Q., Lu, D., & Schubring, J. “Estimation of land surface temperature, vegetation abundance relationship for urban heat island studies. Remote sensing of Environment”
- [7] Rizwan, A. M., Dennis, L. Y., & Chunho, L. I. U. “A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. Journal of Environmental Sciences, 2008”
- [8] “¿Qué es el efecto isla de calor urbana y cómo nos afecta?” [Online]. Available: <https://remicaatencionalcliente.es/isla-de-calor-urbana/>
- [9] Kate Sjovold, “EL EFECTO DE LA ISLA DE CALOR URBANA EN SAO PAULO, BRASIL” [Online]. Available: <https://storymaps.arcgis.com/stories/5301089fe041469c9820b56d92148232>
- [10] T. R. OKE “The energetic basis of the urban heat island” [Online]. Available: [http://www.patarnott.com/pdf/Oake1982\\_UHI.pdf](http://www.patarnott.com/pdf/Oake1982_UHI.pdf)
- [11] José Alfonso Gálvez Salinas, “Criterios para la planificación y el diseño de corredores fluviales urbanos para la mitigación de la isla de calor” [Online]. Available: [http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/foro2013/CT%202013/Paneles/1896709766\\_panel.pdf](http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/foro2013/CT%202013/Paneles/1896709766_panel.pdf)

[12] Agnese Salvati, Helena Coch Roura, Carlo Cecere, “Assessing the urban heat island and its energy impact on residential buildings in Mediterranean climate: Barcelona case study”

[13] D.K.Papanastasiou, C. Kittas, “Maximum urban heat island intensity in a medium-sized coastal Mediterranean city, Theor. Appl. Climatol. 107 (2012)407–416” [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-011-0491-z>.

[14] M. Colacino, A. Lavagnini, “Evidence of the urban heat island in Rome by climatological analyses, Arch. Meteorol. Geophys. Bioclimatol. Ser. B31 (1982) 87–97” [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02311344>.

[15] H. Saaroni, E. Ben-Dor, A. Bitan, O. Potchter, “Spatial distribution and microscale characteristics of the urban heat island in Tel-Aviv, Israel, Landsc.Urban Plann. 48 (2000) 1–18” [Online]. Available: [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-2046\(99\)00075-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-2046(99)00075-4).

[16] Víctor M. Artola, M<sup>a</sup> José Cordobilla i M<sup>a</sup> Carmen Moreno, “Isla de Calor en el Área Metropolitana de Barcelona y la Adaptación al Cambio Climático” [Online]. Available: [http://www3.amb.cat/repositori/CANVICLIMATIC/METROBS/METROBS\\_UHI.pdf](http://www3.amb.cat/repositori/CANVICLIMATIC/METROBS/METROBS_UHI.pdf)

[17] Blanca Arellano Ramos y Josep Roca Cladera, “IDENTIFYING URBAN HEAT ISLAND: THE BARCELONA CASE”

[18] Europapress, “El efecto de isla de calor duplica el coste urbano” [Online]. Available: <https://www.europapress.es/ciencia/cambio-climatico/noticia-efecto-isla-calor-duplica-coste-urbano-cambio-climatico-20170529175133.html>

[19] ABC, “¿Qué son el CO<sub>2</sub> y el NO<sub>x</sub> que emiten los coches de combustión?” [Online]. Available: [https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-y-emiten-coches-combustion-201811131413\\_noticia.html](https://www.abc.es/motor/reportajes/abci-y-emiten-coches-combustion-201811131413_noticia.html)

[20] El País, “Los gases que expulsa tu coche” [Online]. Available: [https://elpais.com/elpais/2015/11/12/buenavida/1447332394\\_671521.html](https://elpais.com/elpais/2015/11/12/buenavida/1447332394_671521.html)

- [21] Meteored, “Cómo sobrevivir a una ola de calor en la isla de calor urbana” [Online]. Available: <https://www.tiempo.com/noticias/divulgacion/como-sobrevivir-a-una-ola-de-calor-en-la-isla-de-calor-urbana.html>
- [22] Green Urban Data, “isla de calor: efecto e impacto urbano” [Online]. Available: <https://www.greenurbandata.com/2019/01/29/efecto-isla-de-calor-urbana/>
- [23] Correa E.N, Flores Larsen S. Y Lesino G., “Isla de calor urbana: efecto de los pavimentos” [Online]. Available: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/81350>
- [24] Inside the Nature, “¿Qué es el efecto albedo?” [Online]. Available: <https://insidethenature.wordpress.com/2012/12/12/que-es-el-efecto-albedo-3/>
- [25] Sostenibilidad, “¿Qué es el efecto invernadero?” [Online]. Available: <https://www.sostenibilidad.com/cambio-climatico/que-es-el-efecto-invernadero/>
- [26] Observatorio de Sostenibilidad de España, “Calidad del aire en las ciudades” [Online]. Available: <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0669360.pdf>
- [27] Portal de eficiencia energética y sostenibilidad en arquitectura y edificación, “Isla de Calor Urbana” [Online]. Available: <http://www.arquitecturayenergia.cl/home/isla-de-calor-urbana/>
- [28] National Geographic, “Cambio Climático” [Online]. Available: [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/asi-afecta-el-cambio-climatico-al-agua-del-planeta\\_9947/5](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/asi-afecta-el-cambio-climatico-al-agua-del-planeta_9947/5)
- [29] ISTAS, “Gases causantes del efecto invernadero” [Online]. Available: <https://istas.net/istas/guias-interactivas/cambio-climatico-y-sus-efectos/cambio-climatico/clima-y-sistema-0>
- [30] El independiente, “Veranos más largos y noches tropicales: el retrato del cambio climático en España” [Online]. Available: <https://www.elindependiente.com/futuro/medio-ambiente/2019/03/26/veranos-mas-largos-y-noches-tropicales-el-retrato-del-cambio-climatico-en-espana/>
- [31] Ajuntament de Barcelona, “Gases contaminantes” [Online]. Available: <https://ajuntament.barcelona.cat/qualitat/aire/es/la-contaminacio/els-contaminants-i-els-escenaris/que-es-el-no2>

[32] El imparcial, “Si aumentan las emisiones también aumenta la temperatura” [Online]. Available: <https://www.elimparcial.es/noticia/202830/opinion/si-aumentan-las-emisiones-tambien-aumenta-la-temperatura.html>

[33] José María Baldasano, “El confinamiento redujo la contaminación” [Online]. Available: <http://revista.dgt.es/es/noticias/nacional/2020/07JULIO/0713-Estudio-contaminacion-COVID-19.shtml#.YAxSdS0rwWJ>

[34] Artur Gonçalves, Gabriella Ornellas, Antonio Castro Ribeiro, Filipe Maia, Alfredo Rocha y Manuel Feliciano, “Urban Cold and Heat Island in the City of Bragança”

[35] Albert Carbonell, Gustavo Arévalo, Jose Lao, Laura Vergoñós, Marc Montlleó y Pablo Casals, “Barcelona Urban Heat Island Characterization And Modeling”

[36] Metropoliabierta [Online]. Available: [https://www.metropoliabierta.com/el-pulso-de-la-ciudad/barcelona-bate-su-record-historico-de-temperatura\\_9307\\_102.html](https://www.metropoliabierta.com/el-pulso-de-la-ciudad/barcelona-bate-su-record-historico-de-temperatura_9307_102.html)

[37] “Servicio Meteorológico de Cataluña” [Online]. Available: <https://www.meteo.cat/wpweb/serveis/formularis/peticio-dinformes-i-dades-meteorologiques/peticio-de-dades-meteorologiques/>

[38] Meteored, “Ola de calor y calor nocturno de la ciudad” [Online]. Available: <https://www.tiempo.com/ram/271262/ola-de-calor-y-calor-nocturno-de-la-ciudad/>

[39] “Mapa de Área Metropolitana” [Online]. Available: [https://territori.gencat.cat/ca/06\\_territori\\_i\\_urbanisme/observatori\\_territori/mapa\\_urbanistic\\_de\\_catalunya/mapes\\_intern/mapa\\_area\\_metropolitana\\_de\\_barcelona/](https://territori.gencat.cat/ca/06_territori_i_urbanisme/observatori_territori/mapa_urbanistic_de_catalunya/mapes_intern/mapa_area_metropolitana_de_barcelona/)

[40] Javier Martín Vide, “Los lugares más calurosos de Barcelona” [Online]. Available: <https://www.lavanguardia.com/natural/20171125/433148405014/isla-de-calor-universitat-martin-vide.html>

[41] Servicio Meteorológico de Barcelona [Online]. Available: <https://www.meteo.cat/observacions/xema/dades?codi=D5>

[42] Metadades\_estaciones\_meteorològiques.csv

[43] Dades\_meteorològiques\_de\_la\_XEMA\_2011-2020.csv

[44] Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana, “Estudio de movilidad con Big Data” [Online]. Available: <https://www.mitma.gob.es/ministerio/covid-19/evolucion-movilidad-big-data>

[45] WETTERZENTRALE [Online]. Available: <https://www.wetterzentrale.de/es/reanalysis.php?model=cfsr>

[46] Ayuntamiento de Barcelona, “Estadística y difusión de datos” [Online]. Available: <https://www.bcn.cat/estadistica/castella/dades/anuaris/anuari16/cap15/C1511020.htm>

[47] Instituto de estudios regionales y metropolitanos de Barcelona, “Tráfico en las vías de alta capacidad del Área Metropolitana de Barcelona” [Online]. Available: [https://iermbdb.uab.cat/index.php?ap=0&id\\_ind=1187&id\\_cat=375](https://iermbdb.uab.cat/index.php?ap=0&id_ind=1187&id_cat=375)

[48] Área Metropolitana de Barcelona, “Informe de coyuntura 3er trimestre 2020” [Online]. Available: [https://www.amb.cat/es/web/mobilitat/planificacio/estudis-de-mobilitat/detall/-/estuditerritorial/informe-de-conjuntura-3er-trimestre-2020/10395872/11704?EstudiTerritorialSearchListPortlet\\_WAR\\_AMBSearchPortletportlet\\_pageNum=1&EstudiTerritorialSearchListPortlet\\_WAR\\_AMBSearchPortletportlet\\_detailBackURL=%2Fes%2Fweb%2Fmobilitat%2Fplanificacio%2Festudis-de-mobilitat](https://www.amb.cat/es/web/mobilitat/planificacio/estudis-de-mobilitat/detall/-/estuditerritorial/informe-de-conjuntura-3er-trimestre-2020/10395872/11704?EstudiTerritorialSearchListPortlet_WAR_AMBSearchPortletportlet_pageNum=1&EstudiTerritorialSearchListPortlet_WAR_AMBSearchPortletportlet_detailBackURL=%2Fes%2Fweb%2Fmobilitat%2Fplanificacio%2Festudis-de-mobilitat)

[49] Xavier Querol, “Calidad del Aire en las Ciudades” [Online]. Available: <http://www.fundacionnaturgy.org/wp-content/uploads/2018/06/calidad-del-aire-reto-mundial.pdf>

[50] Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico [Online]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/carpeta-informativa-del-ceneam/novedades/como-nos-movemos.aspx>

[51] Ministerio de Fomento, “Plan estratégico para el desarrollo del sector civil de los drones en España 2018-2021” [Online]. Available: <https://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/7B974E30-2BD2-46E5-BEE5-26E00851A455/148411/PlanEstrategicoDrones.pdf>

[52] Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, “¿Qué causa la formación de islas de calor?” [Online]. Available: <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/mantenerse-fresco-como-pueden-las-comunidades-reducir-el-efecto-de>

[53] Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos, “¿Qué puedo hacer para reducir las islas de calor?” [Online]. Available: <https://espanol.epa.gov/la-energia-y-el-medioambiente/que-puede-hacer-para-reducir-las-islas-de-calor>



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i  
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# ANEXO

**TÍTULO DEL TFG:** Análisis de la influencia del tránsito al fenómeno de la isla de calor urbana de Barcelona

**TITULACIÓN:** Grado en Ingeniería de Sistemas Aeroespaciales

**AUTOR:** Víctor Pérez Batlle

**DIRECTOR:** Jordi Mazón Bueso

**SUBDIRECTOR:** David Pino González

**FECHA:** 11 de Febrero de 2022

# ANEXOS

## Anexo A. Variables meteorològiques.

CODI_VARIABLE	NOM_VARIABLE	UNITAT	ACRONIM	CODI_TIPUS_VAR	DECIMALS
72	Precipitació màxima en 1 minut	mm	PPTx1min	DAT	1
3	Humitat relativa màxima	%	HRx	DAT	0
30	Velocitat del vent a 10 m (esc.)	m/s	VV10	DAT	1
31	Direcció de vent 10 m (m. 1)	°	DV10	DAT	0
32	Temperatura	°C	T	DAT	1
33	Humitat relativa	%	HR	DAT	0
34	Pressió atmosfèrica	hPa	P	DAT	1
35	Precipitació	mm	PPT	DAT	1
36	Irradiància solar global	W/m²	RS	DAT	0
38	Gruix de neu a terra	mm	GNEU	DAT	0
40	Temperatura màxima	°C	Tx	DAT	1
42	Temperatura mínima	°C	Tn	DAT	1
44	Humitat relativa mínima	%	HRn	DAT	0
46	Velocitat del vent a 2 m (esc.)	m/s	VV2	DAT	1
47	Direcció del vent a 2 m (m. 1)	°	DV2	DAT	0
48	Velocitat del vent a 6 m (esc.)	m/s	VV6	DAT	1
49	Direcció del vent a 6 m (m. 1)	°	DV6	DAT	0
50	Ratxa màxima del vent a 10 m	m/s	VVx10	DAT	1

## Anexo B. Parte 1 de los datos de todas las estaciones meteorológicas de Cataluña

CODI_ESTACIO	NOM_ESTACIO	CODI_TIPUS	LATITUD	LONGITUD	Georeferència	EMPLACAMENT	ALTITUD
VY	Nulles	A	41.25095	1.29863	POINT (1.29863 41.25095)	Cooperativa agrària	240
YB	Olot	A	42.18813	2.47097	POINT (2.47097 42.18813)	Pla de Dalt	433
X4	Barcelona - el Raval	A	41.3839	2.16775	POINT (2.16775 41.3839)	Facultat de Geografia i Història. c. Montalegre n°6, 6a	33
YG	Tírvia	A	42.51881	1.24244	POINT (1.24244 42.51881)	Heliport de Tírvia	954
DD	Vilassar de Mar	A	41.51175	2.38674	POINT (2.38674 41.51175)	Soc.Civil d'Aigües 'La Mina Vella	44.5
YD	les Borges Blanques	A	41.51135	0.85617	POINT (0.85617 41.51135)	Escola Agrària de les Borges Blanques	283
VD	el Canós	A	41.68939	1.20381	POINT (1.20381 41.68939)	Camí de la Figuerosa	429
WX	Camarasa	A	41.9178	0.88175	POINT (0.88175 41.9178)	Camarasa	668
XV	Sant Cugat del Vallès - CAR	A	41.48311	2.07956	POINT (2.07956 41.48311)	Centre d'Alt Rendiment	158
U1	Cabanes	A	42.30648	2.95481	POINT (2.95481 42.30648)	Mas St. Feliu, S.A., camí de St. Feliu, s/n	31
CY	Muntanyola	A	41.87813	2.17873	POINT (2.17873 41.87813)	Església de St. Quirze i Sta. Julita	816
MW	Navès	A	42.00707	1.65239	POINT (1.65239 42.00707)	el Garrigar	545
D6	Portbou	A	42.43515	3.16622	POINT (3.16622 42.43515)	Punta de l'Aucell (zona fronterera)	196
D3	Vallirana	A	41.38197	1.93564	POINT (1.93564 41.38197)	C. Arquitecte Baldric	252
Z1	Bonaigua (2.266 m)	A	42.64691	0.98486	POINT (0.98486 42.64691)	Port de la Bonaigua	2.266
X1	Falset	A	41.15374	0.81953	POINT (0.81953 41.15374)	Abocador comarcal. Crta de Porrera	359
VH	Gimenells	A	41.65814	0.39301	POINT (0.39301 41.65814)	IRTA - Estació de Gimenells	259
WL	Alfarràs	A	41.81949	0.57768	POINT (0.57768 41.81949)	Escola de Capacitació Agrària d'Alfarràs(de 1997 a 2001, és Almenar)	268
YK	Riudecanyes	A	41.1227	0.96951	POINT (0.96951 41.1227)	els Gorgs	170
CT	el Pont de Suert	A	42.39811	0.74362	POINT (0.74362 42.39811)	Depuradora municipal	823
XR	Prades	A	41.31481	0.98161	POINT (0.98161 41.31481)	La Comanda	928
H1	Òdena	A	41.58642	1.65306	POINT (1.65306 41.58642)	Aeròdrom d'Òdena	333
UE	Torroella de Montgrí	A	42.02306	3.15719	POINT (3.15719 42.02306)	la Feixa Gata	4
W4	la Granada	A	41.36619	1.72857	POINT (1.72857 41.36619)	Rasa de Sagols	240
X3	Alguair	A	41.74281	0.5358	POINT (0.5358 41.74281)	Aeròdrom	370
US	Alcanar	A	40.55786	0.52329	POINT (0.52329 40.55786)	El Mas d'en Serra - Barranc de St. Jaume	24
CS	Viladrau - centre	A	41.84502	2.3881	POINT (2.3881 41.84502)	Mas del Torrent	777
KP	Fogars de la Selva	A	41.73894	2.69436	POINT (2.69436 41.73894)	Can Simó	36
XD	Vilademolins	A	41.32	0.8857	POINT (0.8857 41.32)	Piagrossos	687

## Anexo C. Parte 2 de los datos de todas las estaciones meteorológicas de Cataluña

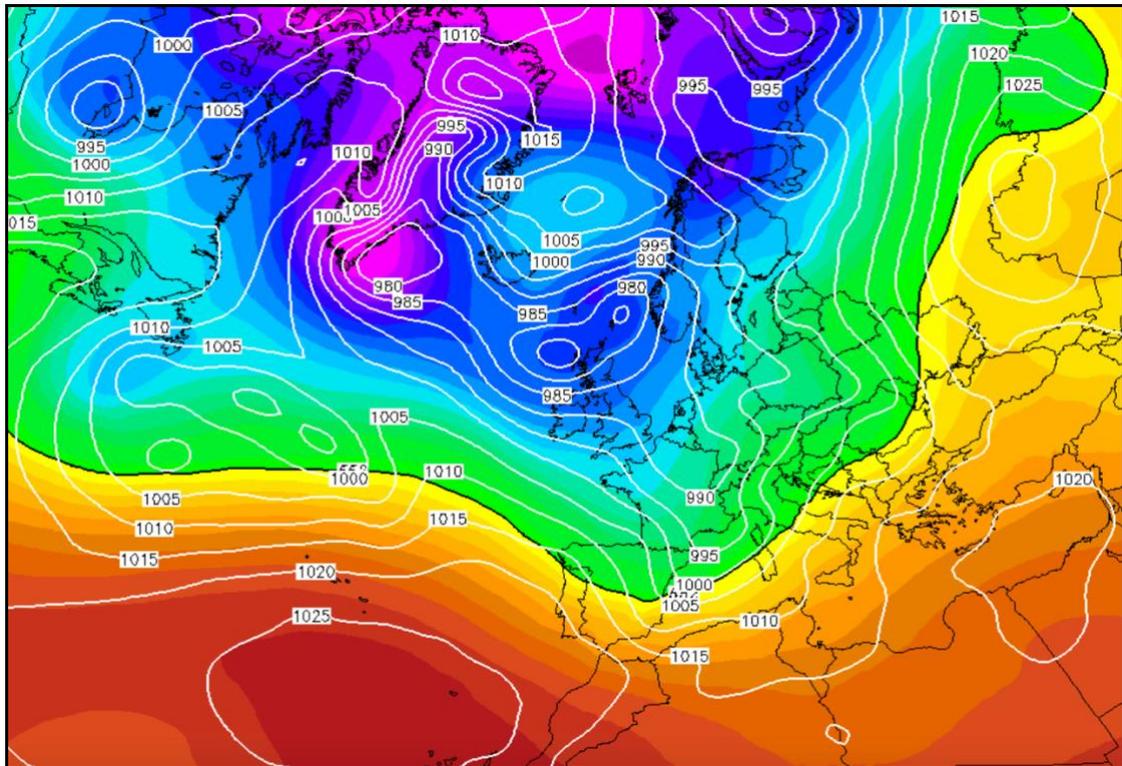
ALTITUD	CODI_MUNICIPI	NOM_MUNICIPI	CODI_COMARCA	NOM_COMARCA	CODI_PROVINCIA	NOM_PROVINCIA	CODI_XARXA	NOM_XARXA	CODI_ESTAT	NOM_ESTAT	DATA_ALTA	DATA_BAIXA	LIMADM_MUNICIPI
240	12	Nulles	1	Alt Camp	43	Tarragona	1	XEMA	2	Operativa	09/18/2000 12:00:00 AM		375
433	443	Olot	19	Garroba	17	Girona	1	XEMA	2	Operativa	07/21/2016 12:00:00 AM		294
33	332	Barcelona	13	Barcelonès	8	Barcelona	1	XEMA	2	Operativa	10/11/2006 12:00:00 AM		512
954	634	Tívia	26	Pallars Sobirà	25	Lleida	1	XEMA	2	Operativa	01/11/2018 12:00:00 AM		335
44.5	513	Viassar de Mar	21	Maresme	8	Barcelona	1	XEMA	1	Desmantellada	05/04/1998 12:00:00 AM	01/16/2015 12:00:00 AM	522
283	416	Les Borges Blanques	18	Garrigues	25	Lleida	1	XEMA	2	Operativa	01/25/2017 12:00:00 AM		807
429	730	Els Plans de Sió	32	Segarra	25	Lleida	1	XEMA	2	Operativa	10/22/1988 12:00:00 AM		780
668	537	Camarsa	23	Noguera	25	Lleida	1	XEMA	2	Operativa	03/07/2006 12:00:00 AM		113
158	895	Sant Cugat del Vallès	40	Vallès Occidental	8	Barcelona	1	XEMA	2	Operativa	08/08/2013 12:00:00 AM		937
31	33	Cabanes	2	Alt Empordà	17	Girona	1	XEMA	2	Operativa	06/11/1991 12:00:00 AM		248
816	571	Muntanyola	24	Osona	8	Barcelona	1	XEMA	2	Operativa	01/12/1996 12:00:00 AM		25
545	811	Navès	35	Solsonès	25	Lleida	1	XEMA	1	Desmantellada	03/22/2010 12:00:00 AM	05/27/2011 12:00:00 AM	67
196	65	Portbou	2	Alt Empordà	17	Girona	1	XEMA	2	Operativa	03/25/1998 12:00:00 AM		
252	315	Vallirana	11	Baix Llobregat	8	Barcelona	1	XEMA	2	Operativa	10/28/1995 12:00:00 AM		813
2.266	622	Alt Aneu	26	Pallars Sobirà	25	Lleida	1	XEMA	2	Operativa	11/06/1997 12:00:00 AM		328
359	668	Falset	29	Priorat	43	Tarragona	1	XEMA	2	Operativa	12/20/2008 12:00:00 AM		414
259	757	Gimenells i el Pla de la Font	33	Segrià	25	Lleida	1	XEMA	2	Operativa	12/10/1996 12:00:00 AM		553
268	746	Altarús	33	Segrià	25	Lleida	1	XEMA	2	Operativa	09/17/1997 12:00:00 AM		724
170	229	Riudecanyes	8	Baix Camp	43	Tarragona	1	XEMA	2	Operativa	02/06/2019 12:00:00 AM		942
823	138	El Pont de Suert	5	Alta Ribagorça	25	Lleida	1	XEMA	2	Operativa	02/14/1996 12:00:00 AM		300
928	226	Prades	8	Baix Camp	43	Tarragona	1	XEMA	2	Operativa	01/31/2013 12:00:00 AM		482
333	158	Odèn	6	Anoia	8	Barcelona	1	XEMA	2	Operativa	05/31/1999 12:00:00 AM		742
4	280	Torreella de Montgrí	10	Baix Empordà	17	Girona	1	XEMA	2	Operativa	06/09/1999 12:00:00 AM		153
240	98	La Granada	3	Alt Penedès	8	Barcelona	1	XEMA	2	Operativa	12/25/1999 12:00:00 AM		940
370	748	Alguine	33	Segrià	25	Lleida	1	XEMA	2	Operativa	06/02/2006 12:00:00 AM		789
24	514	Alcanar	22	Montsià	43	Tarragona	1	XEMA	2	Operativa	05/06/1991 12:00:00 AM		228
777	605	Vidrera	24	Osona	17	Girona	1	XEMA	1	Desmantellada	12/05/1995 12:00:00 AM	06/08/2004 12:00:00 AM	652
36	786	Fogars de la Selva	34	Selva	17	Girona	1	XEMA	2	Operativa	01/05/1996 12:00:00 AM		901
687	683	Ulldemolins	29	Priorat	43	Tarragona	1	XEMA	2	Operativa	04/17/2008 12:00:00 AM		668

## Anexo D. Muestra de una parte de los datos analizados

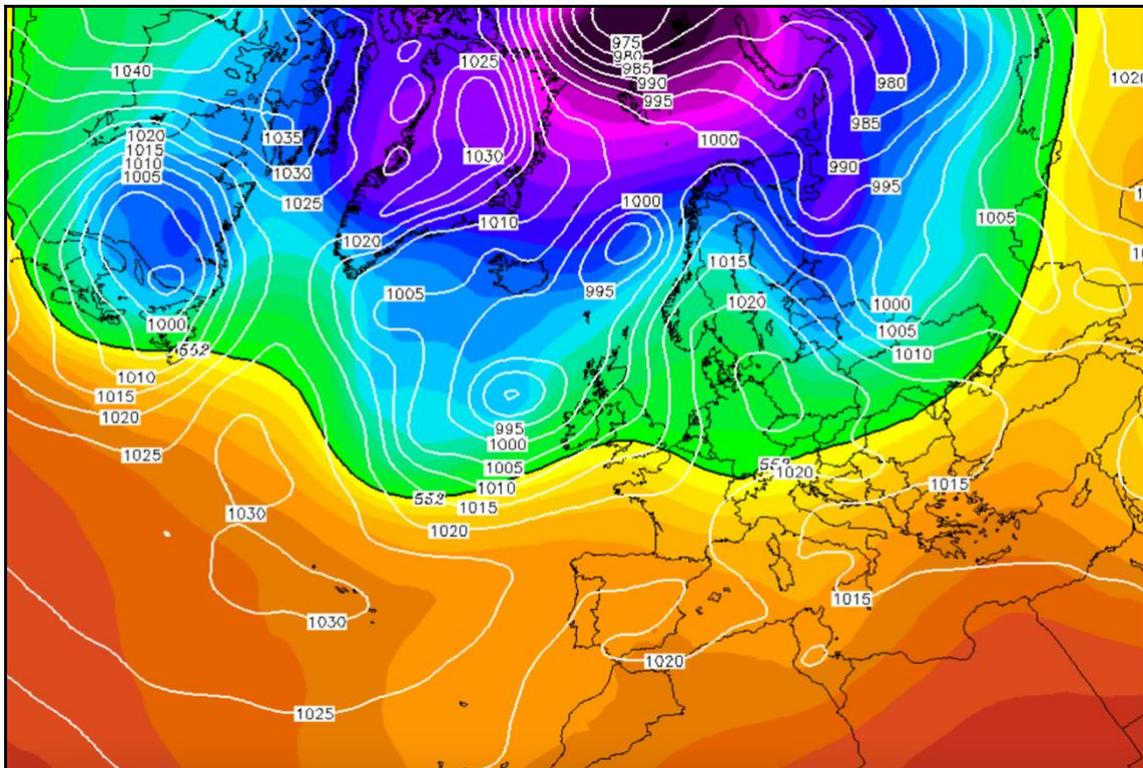
ID	CODI_ESTACIO	CODI_VARIABLE	DATA_LECTURA	VALOR_LECTURA	CODI_ESTAT	CODI_BASE
D5320103140000	D5	32	1/3/14 0:00	0:00:00	3,9	V SH
UG320103140000	UG	32	1/3/14 0:00	0:00:00	8,6	V HO
UP320103140000	UP	32	1/3/14 0:00	0:00:00	6,9	V HO
WU320103140000	WU	32	1/3/14 0:00	0:00:00	7,7	V SH
XL320103140000	XL	32	1/3/14 0:00	0:00:00	7,8	V SH
X2320103140000	X2	32	1/3/14 0:00	0:00:00	8,6	V HO
X4320103140000	X4	32	1/3/14 0:00	0:00:00	8,6	V HO
X8320103140000	X8	32	1/3/14 0:00	0:00:00	6,9	V SH
D5320103140030	D5	32	1/3/14 0:00	0:30:00	3,8	V SH
WU320103140030	WU	32	1/3/14 0:00	0:30:00	7,5	V SH
XL320103140030	XL	32	1/3/14 0:00	0:30:00	8	V SH
X8320103140030	X8	32	1/3/14 0:00	0:30:00	6,8	V SH
D5320103140100	D5	32	1/3/14 0:00	1:00:00	3,7	V SH
UG320103140100	UG	32	1/3/14 0:00	1:00:00	8,6	V HO
UP320103140100	UP	32	1/3/14 0:00	1:00:00	6,7	V HO
WU320103140100	WU	32	1/3/14 0:00	1:00:00	7,3	V SH
XL320103140100	XL	32	1/3/14 0:00	1:00:00	7,8	V SH
X2320103140100	X2	32	1/3/14 0:00	1:00:00	8,3	V HO
X4320103140100	X4	32	1/3/14 0:00	1:00:00	8,3	V HO

## Anexo E. Mapas meteorológicos para el mes de marzo del año 2020

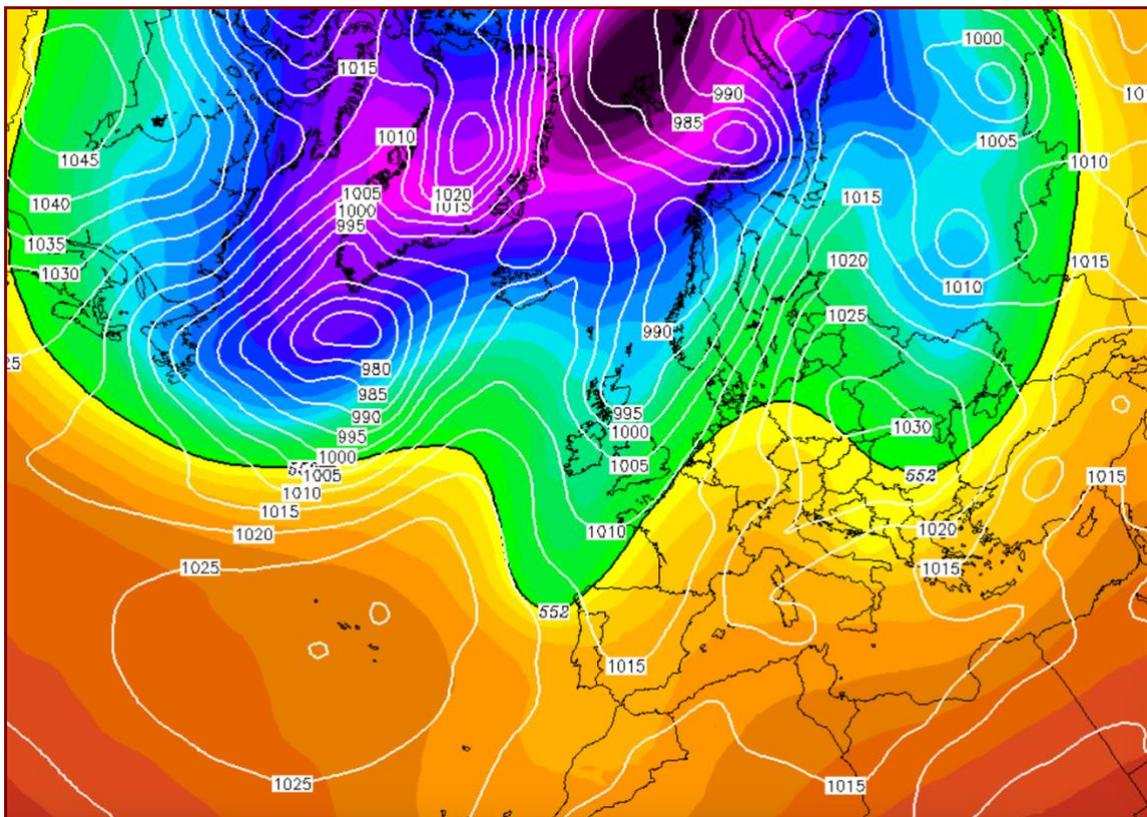
Día 2 a las 12:00 UTC:



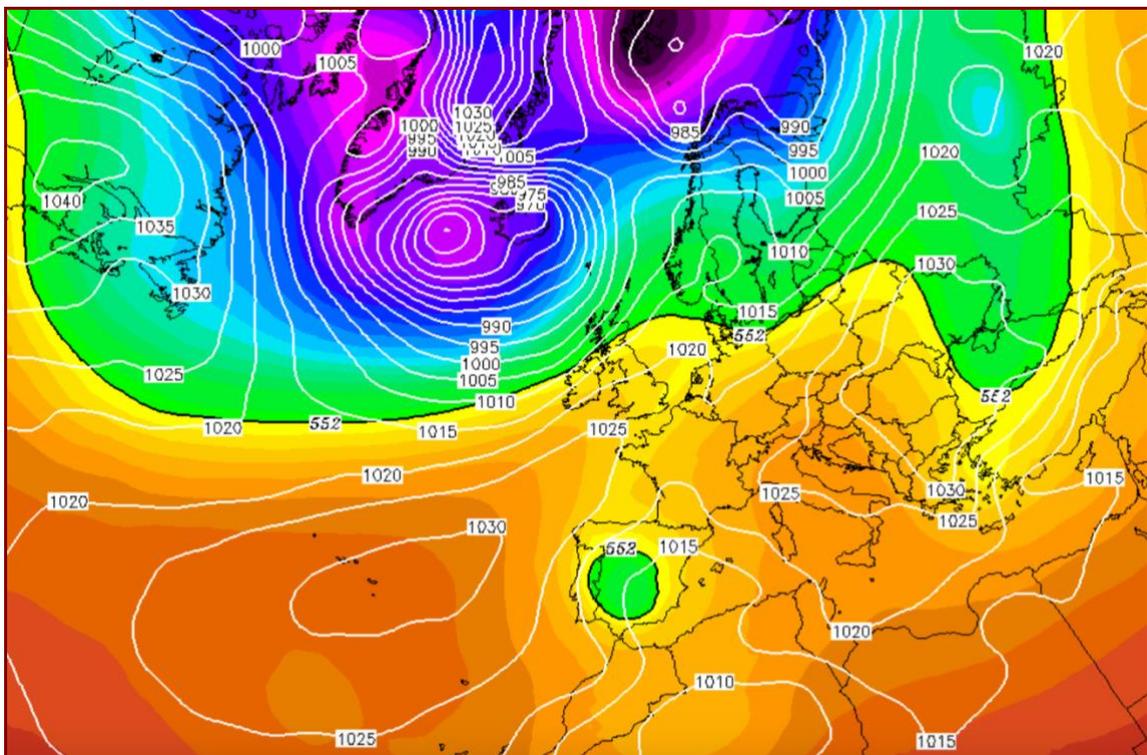
Día 14 a las 12:00 UTC:



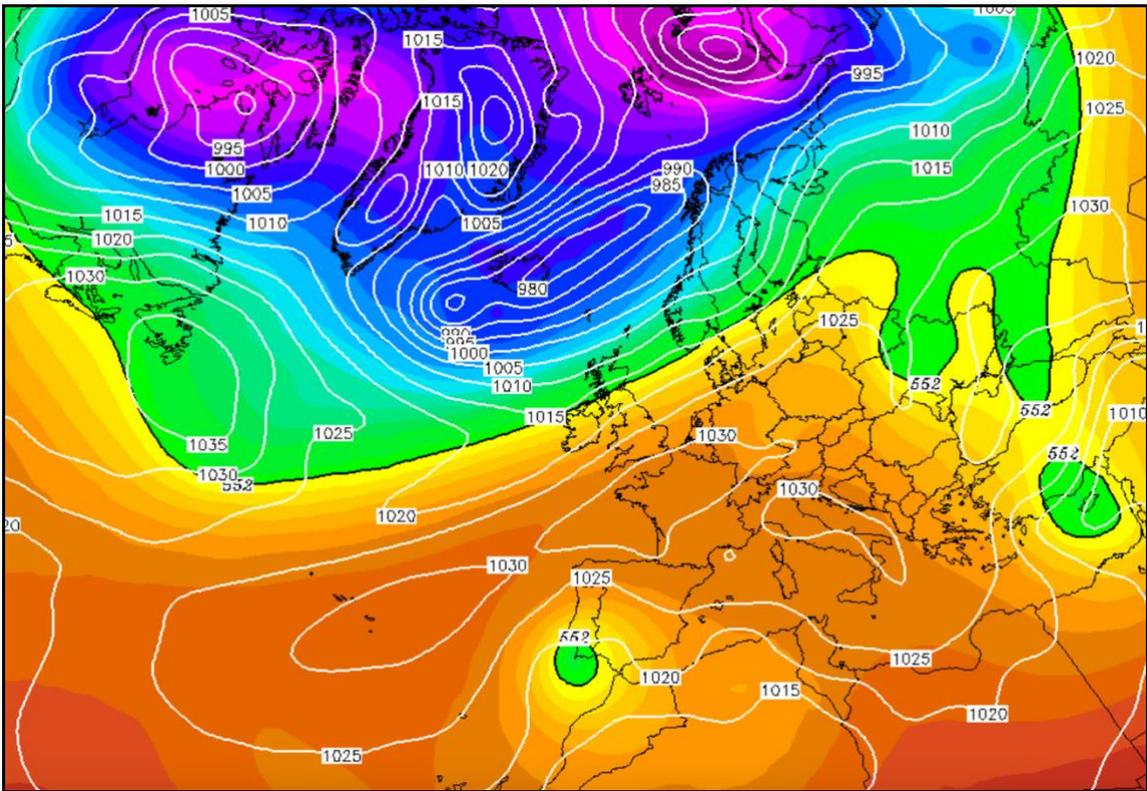
Día 15 a las 12:00 UTC:



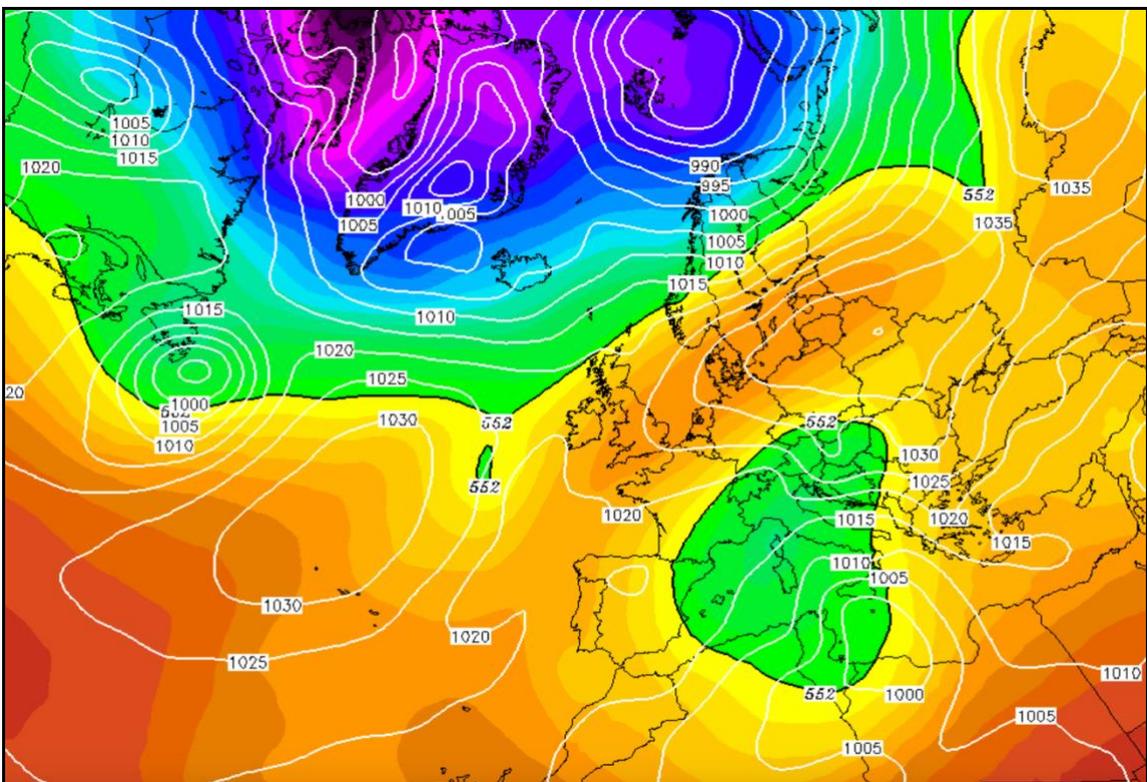
Día 16 a las 12:00 UTC:



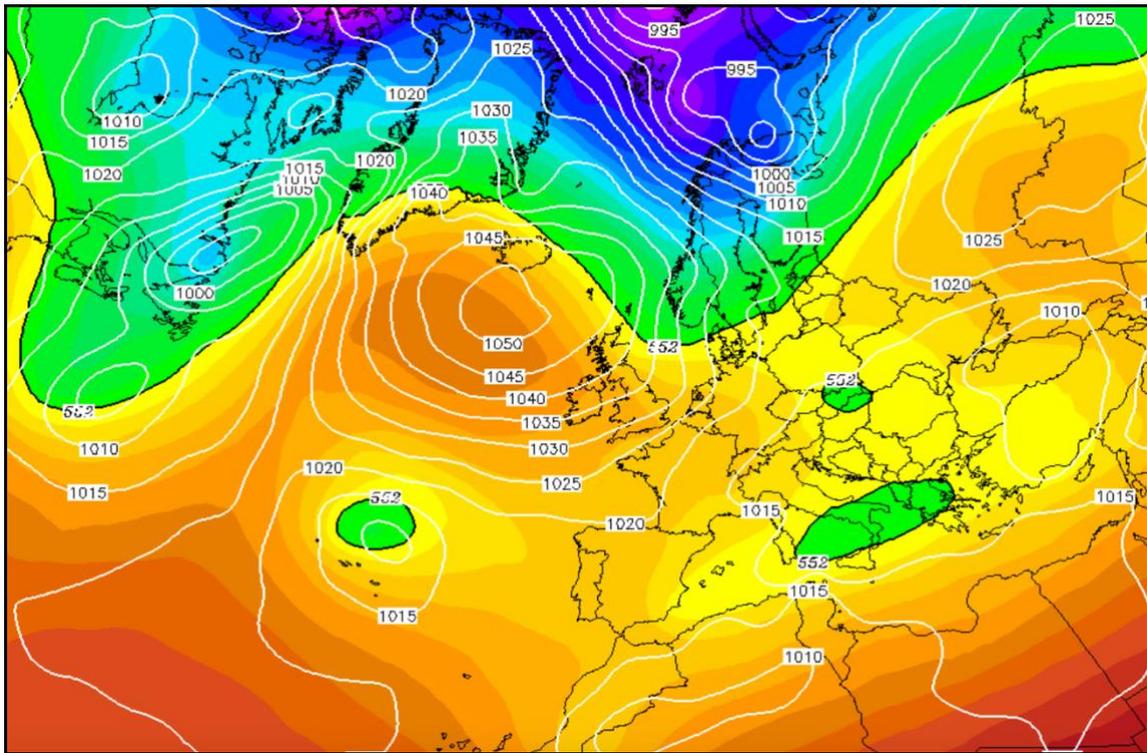
Día 17 a las 12:00 UTC:



Día 25 a las 12:00 UTC:

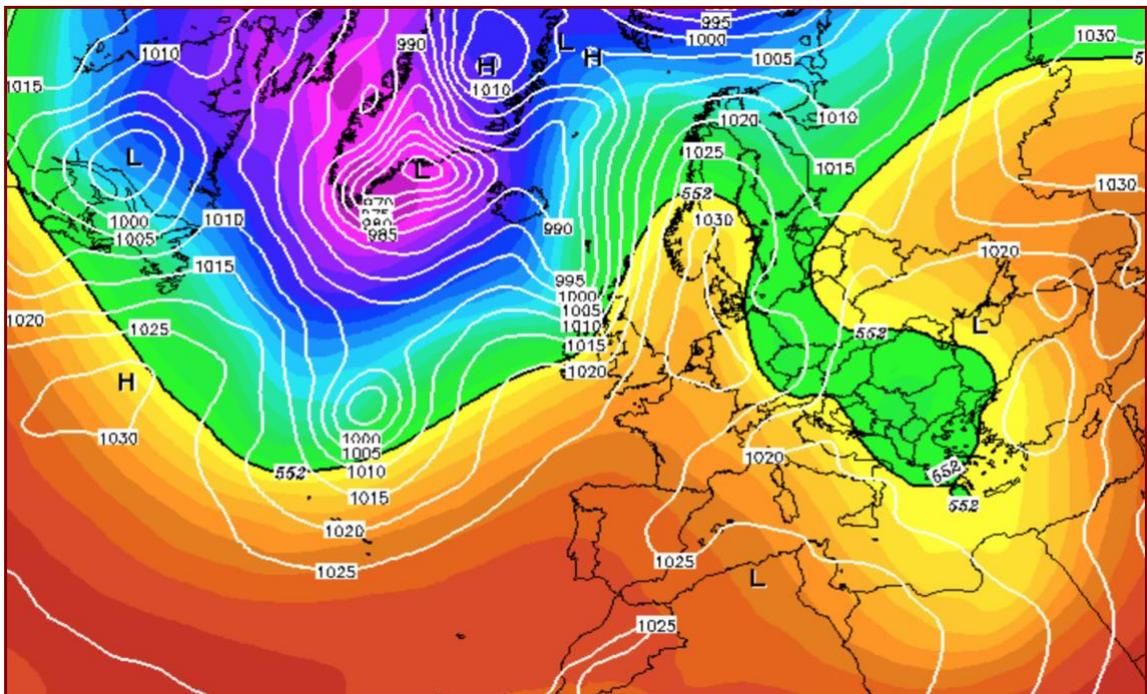


Día 28 a las 12:00 UTC:

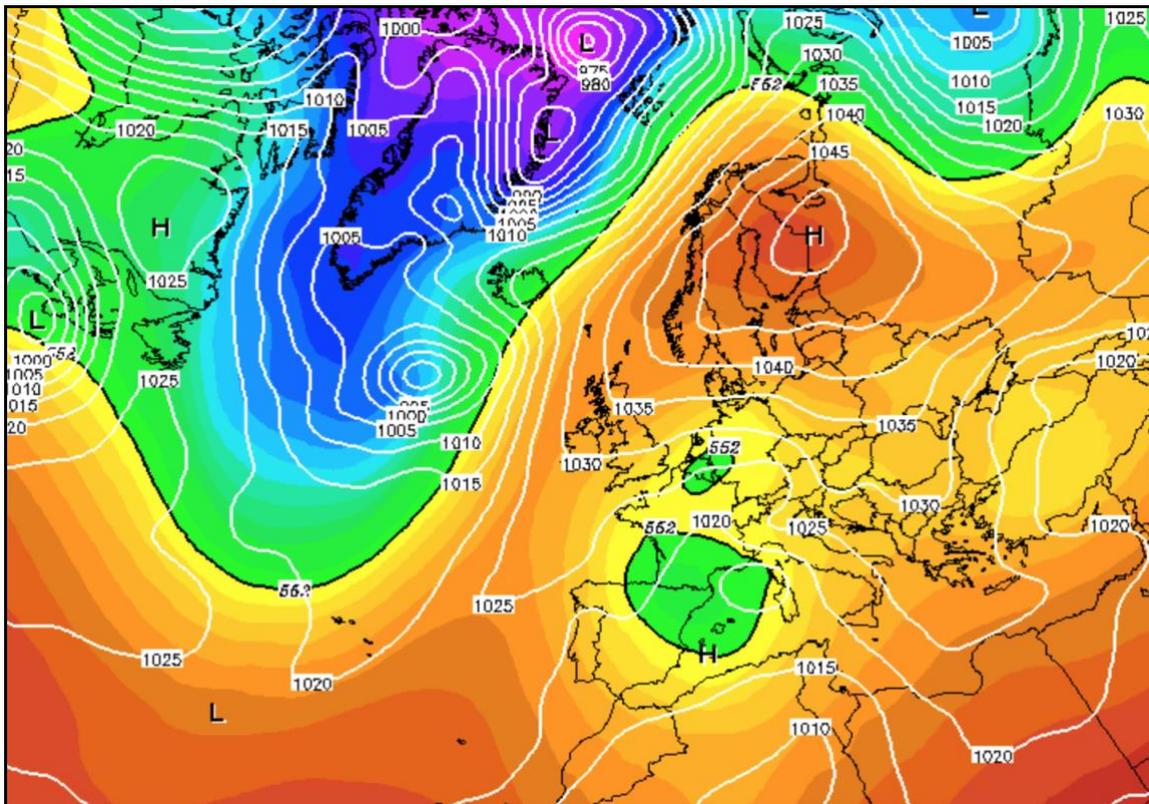


**Anexo F. Mapas meteorológicos para el mes de marzo del año 2015**

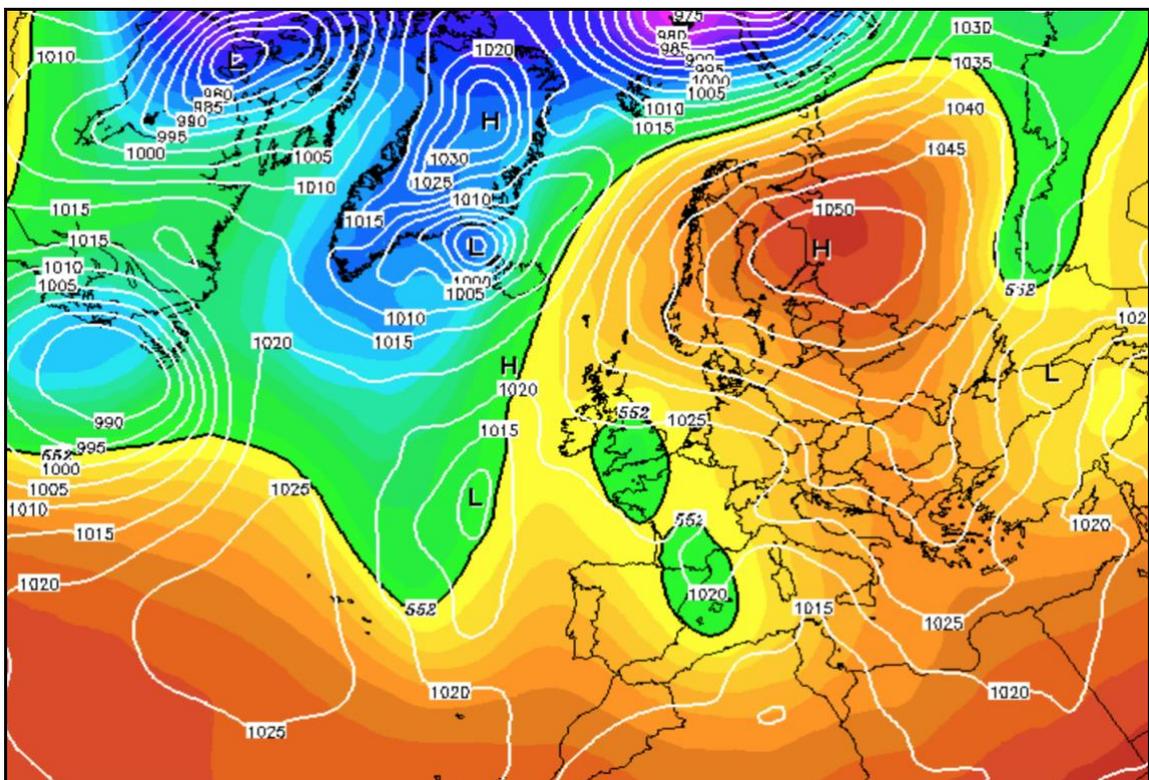
Día 11 a las 12:00 UTC:



Día 15 a las 12:00 UTC:



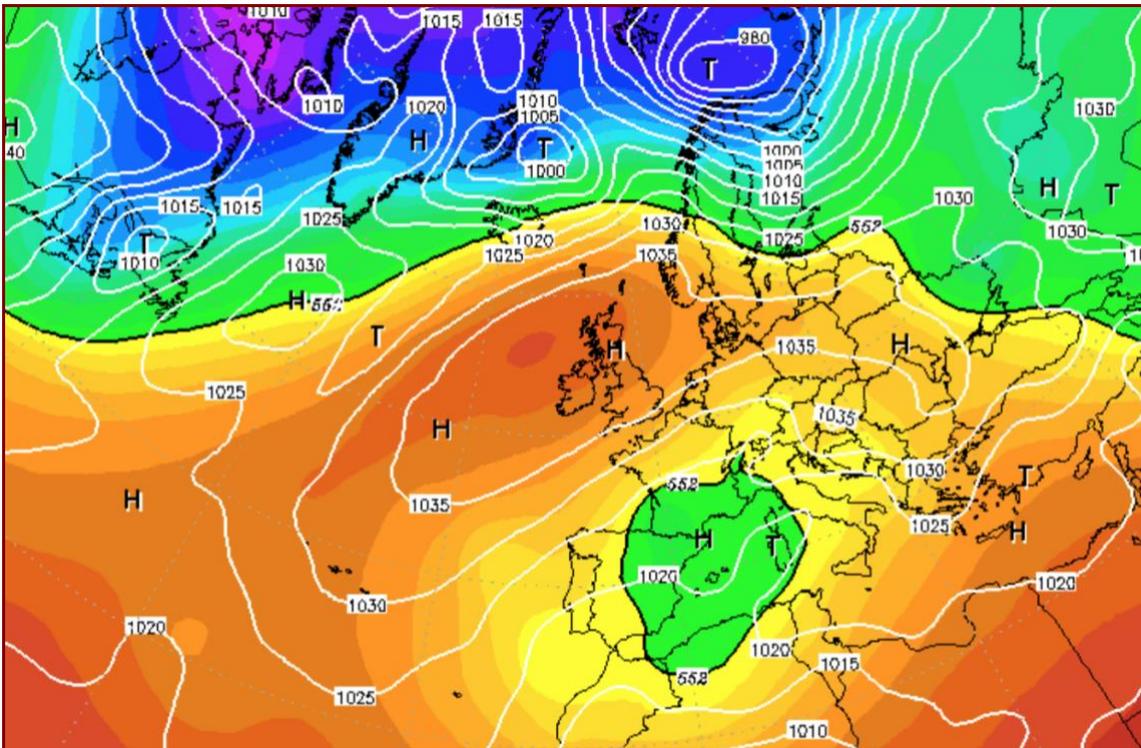
Día 16 a las 12:00 UTC:



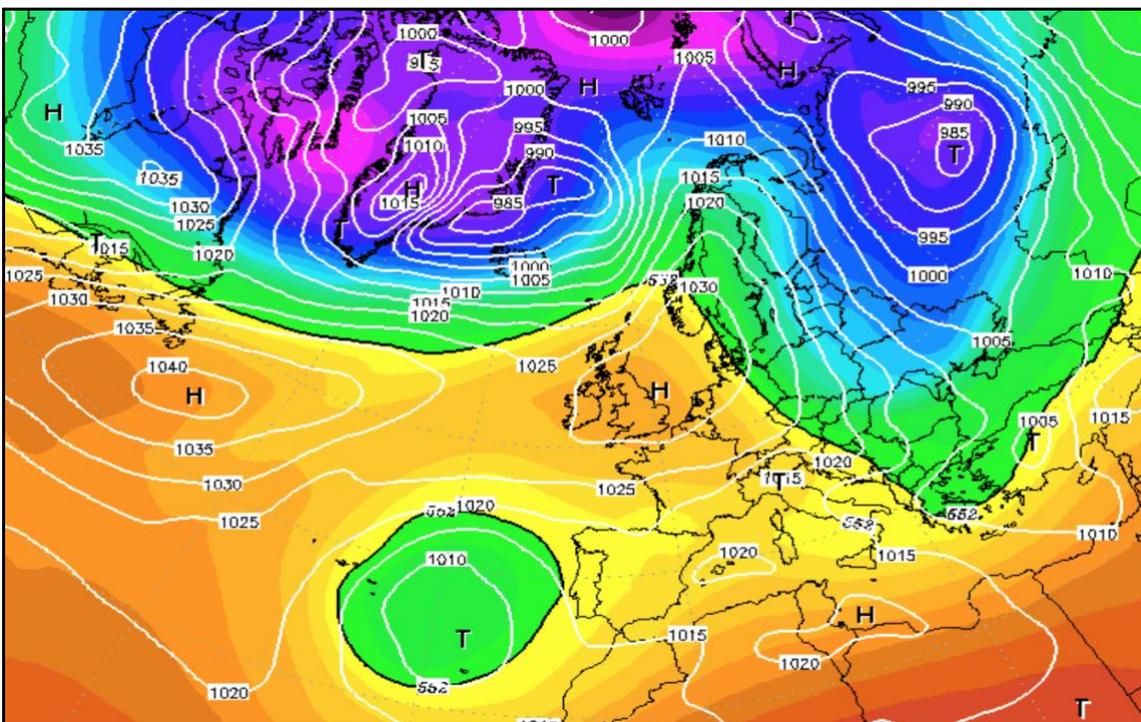


## Anexo G. Mapas meteorológicos para el mes de marzo del año 2011

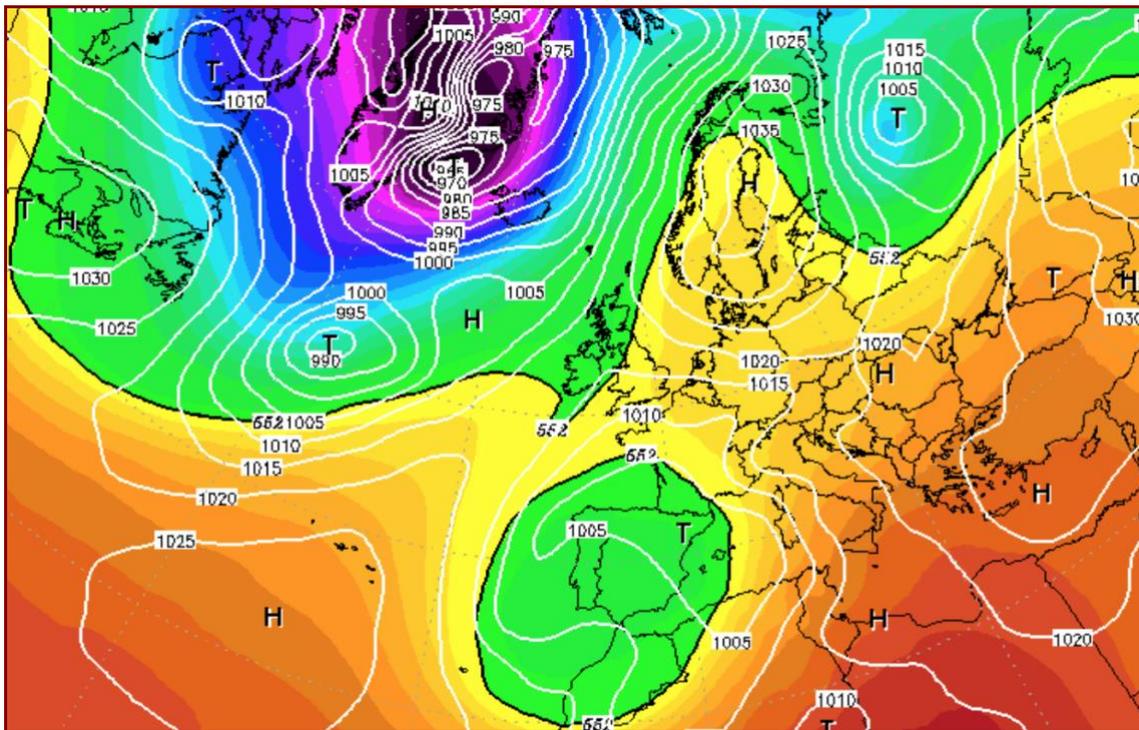
Día 3 a las 12:00 UTC:



Día 6 a las 12:00 UTC:

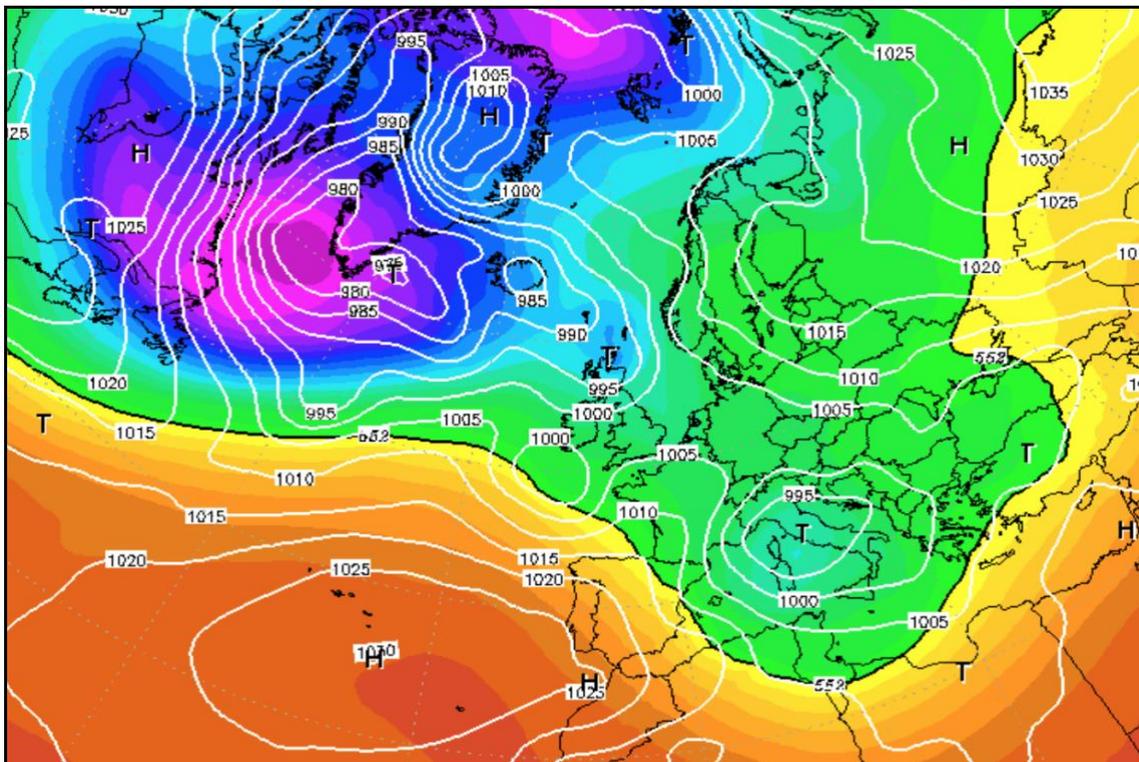


Día 15 a las 12:00 UTC:



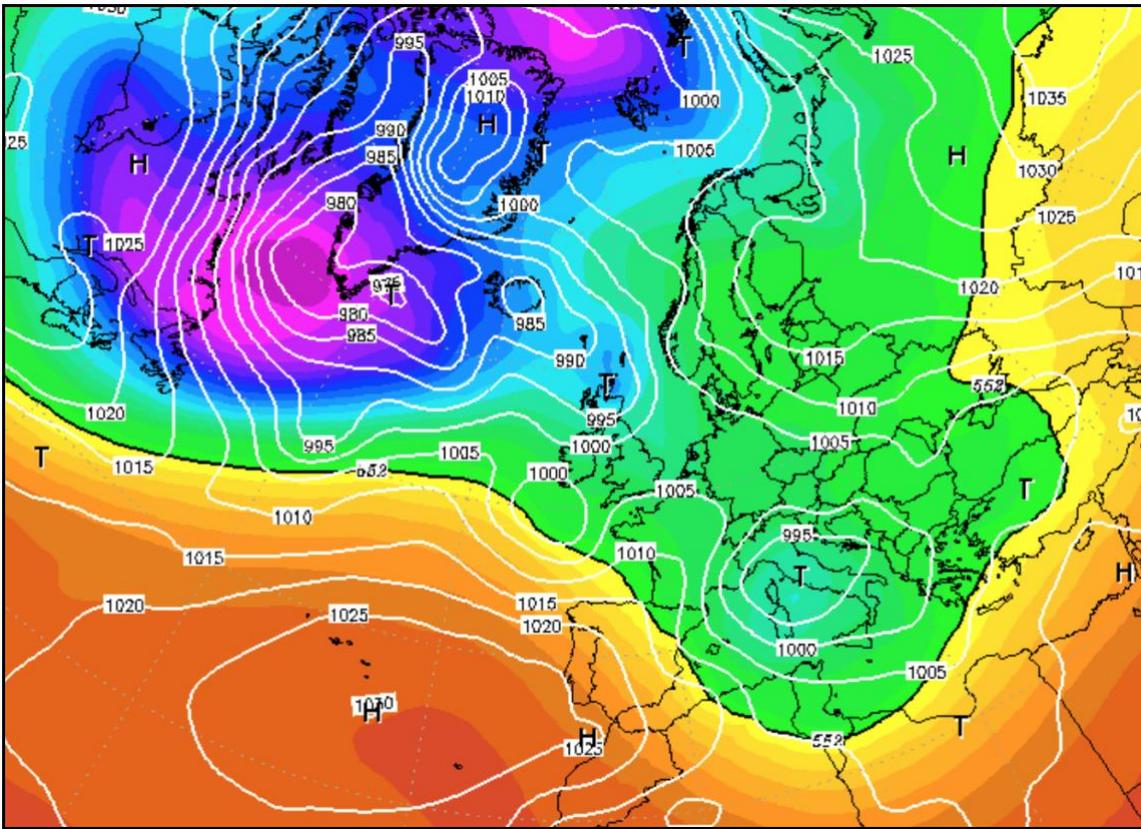
### Anexo H. Mapas meteorológicos para el mes de marzo del año 2014

Día 4 a las 12:00 UTC:

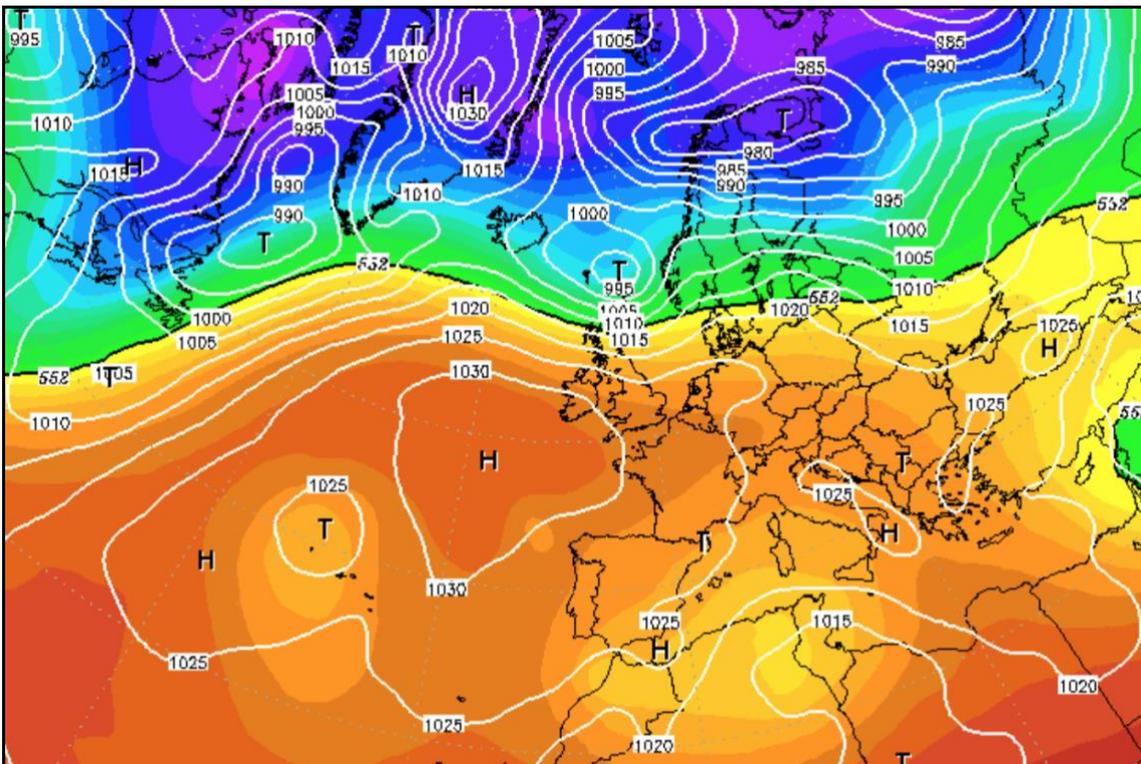


## Anexo H. Mapas meteorológicos para el mes de marzo del año 2014

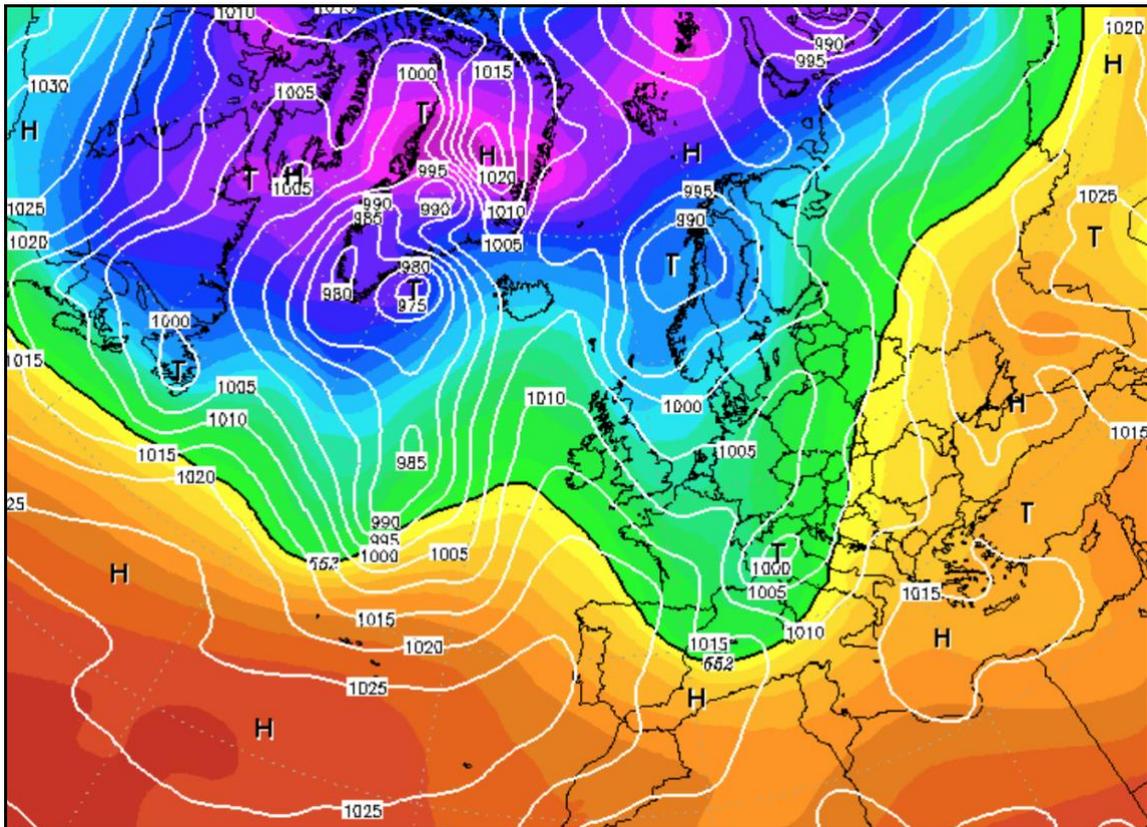
Día 4 a las 12:00 UTC:



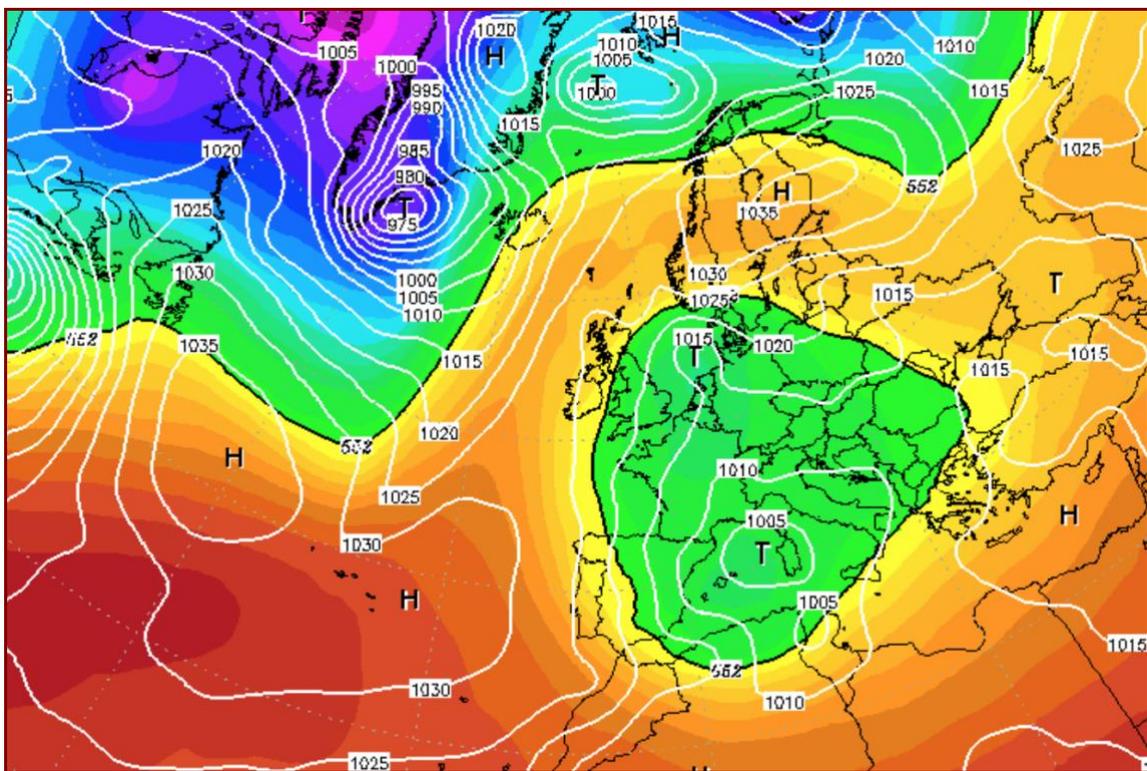
Día 14 a las 12:00 UTC:



Día 23 a las 12:00 UTC:

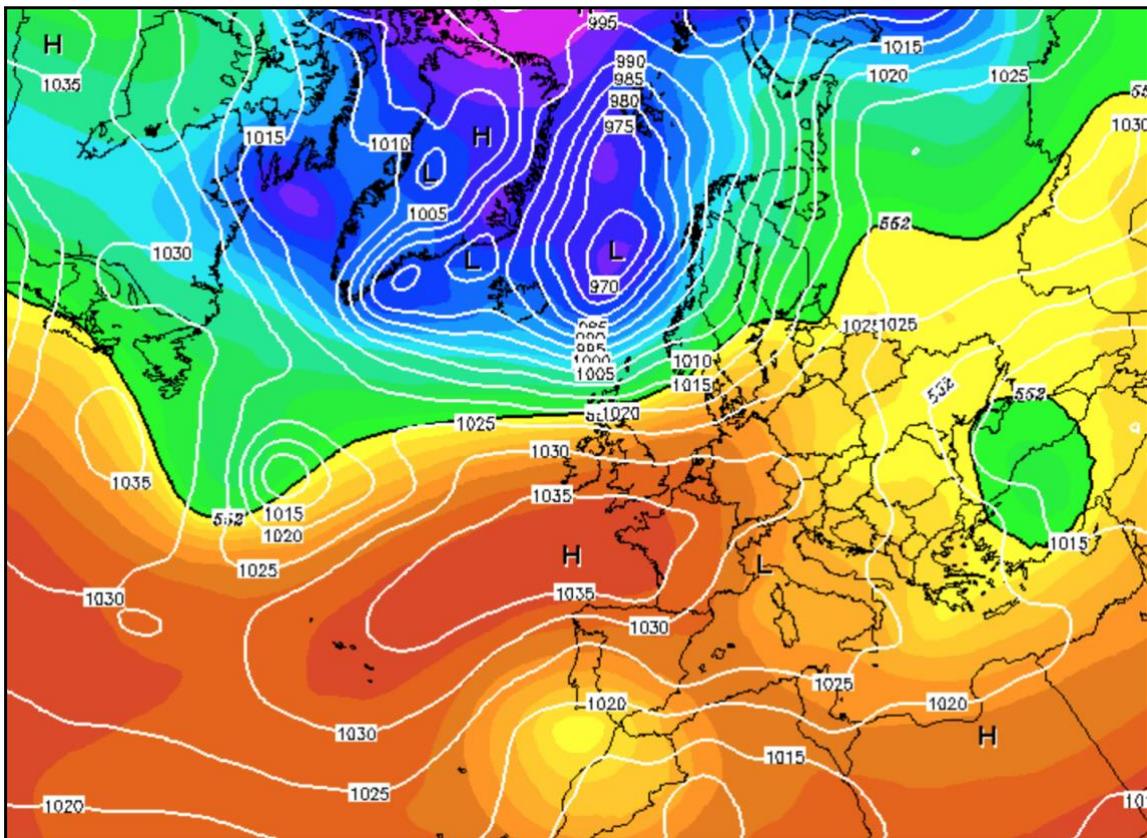


Día 26 a las 12:00 UTC:

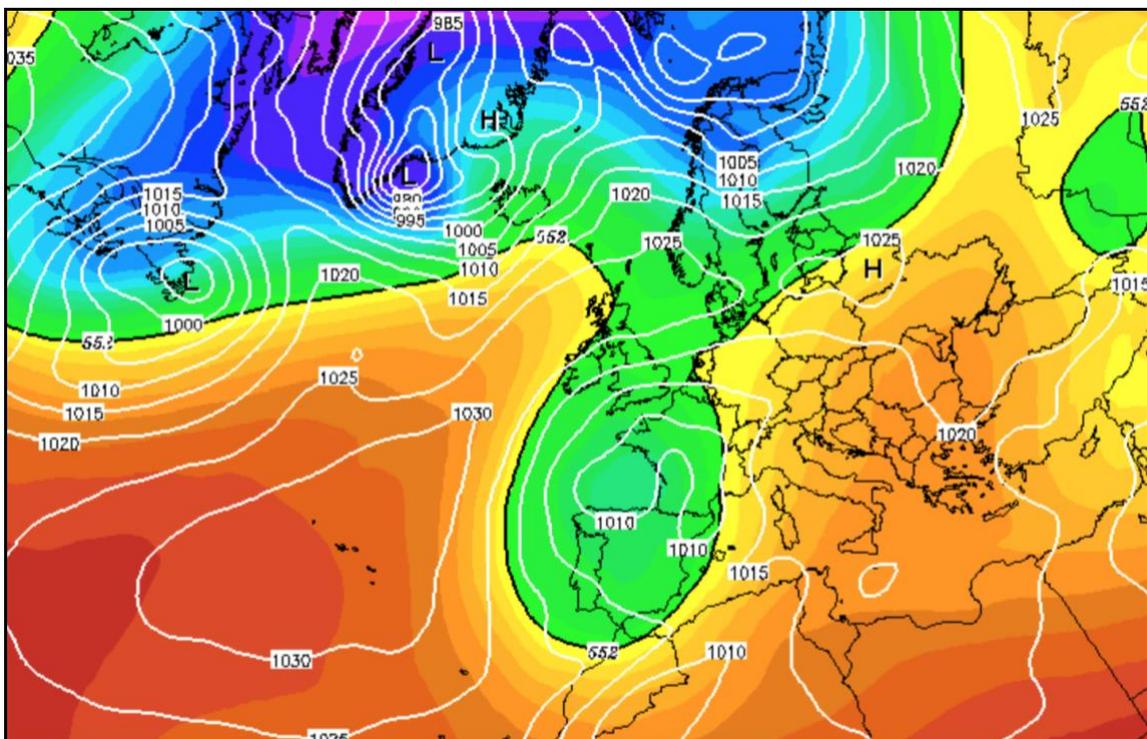




Día 14 a las 12:00 UTC:



Día 23 a las 12:00 UTC:



Día 25 a las 12:00 UTC:

