

Anàlisi i visualització de la qualitat de l'aire a Barcelona



Màster en Ciències de Dades

Mòdul 1: Definició i Planificació

Estudiant: Soulaïman El Hamri
Tutor/a de TFM: Anna Muñoz Bolas

14 de març de 2025

Índex

1. Proposta de títol	2
2. Paraules clau	2
3. Resum de la proposta (Abstract)	2
4. Justificació de l'estudi	3
5. Motivació personal	4
6. Objectius del treball	4
6.1 Hipòtesi (objectiu principal)	5
6.2 Objectius parcials (preguntes d'investigació)	5
6.2.1 Objectius generals	5
6.2.2 Objectius específics	5
7. Metodologia	6
7.1 Obtenció i preparació de les dades	6
7.2 Anàlisi exploratòria de dades	7
7.3 Visualització i interpretació de resultats	7
8. Competència de compromís ètic i global (CCEG) i Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS)	8
9. Planificació del treball	9
9.1 Recursos necessaris	9
9.2 Fases del projecte	9
Fase 1: Definició i planificació del treball final	9
Fase 2: Estat de l'art i selecció de fonts de dades	10
Fase 3: Disseny i implementació de l'anàlisi	10
Sprint 1: Configuració de l'entorn i obtenció de dades	10
Sprint 2: Anàlisi exploratòria de dades	10
Sprint 3: Geovisualització de dades	11
Sprint 4: Desenvolupament del dashboard interactiu	11
Fase 4: Interpretació i validació dels resultats	11
Fase 5: Redacció de la memòria	11
Fase 6: Presentació i defensa del treball	11
9.3 Diagrama de Gantt de la planificació	13
10. Bibliografia i fonts de dades	15

1. Proposta de títol

Anàlisi i visualització de la qualitat de l'aire a Barcelona

2. Paraules clau

Qualitat de l'aire

Contaminació

Salut pública

Emissions

Mobilitat

Modelització

Visualització

Dades ambientals

Sostenibilitat

Mitigació

3. Resum de la proposta (Abstract)

Aquest treball analitza la **qualitat de l'aire a Barcelona** a partir de l'explotació de **dades ambientals obertes**, amb l'objectiu de caracteritzar els **patrons espaciotemporals de la contaminació** i la seva relació amb factors meteorològics i de mobilitat. L'estudi esta centrat en contaminants clau com per exemple el **NO₂** , **PM10**, **PM2,5** i **O₃** , avaluant-ne l'evolució temporal, la distribució geogràfica i les zones més afectades.

Mitjançant l'**anàlisi de dades en R**, es realitzarà un estudi estadístic detallat per identificar tendències, correlacions i patrons de variabilitat. Els resultats es presentaran a través de **visualitzacions geoespacionals interactives**, **utilitzant QGIS, ArcGIS Online i Shiny**, per facilitar la interpretació i comunicació dels resultats observats.

Aquest projecte busca contribuir a la **monitorització i millora de la qualitat de l'aire urbà**, proporcionant una eina per avaluar les mesures de mitigació i facilitar la presa de decisions basades en dades en el context de les polítiques ambientals i urbanístiques.

4. Justificació de l'estudi

La qualitat de l'aire en entorns urbans s'ha convertit en un tema de gran rellevància per **l'impacte directe en la salut pública i el medi ambient**. A les ciutats denses com **Barcelona**, les emissions derivades del trànsit o la indústria generen concentracions elevades de contaminants atmosfèrics com **el diòxid de nitrogen (NO_2)**, **les partícules en suspensió (PM_{10} i $\text{PM}_{2,5}$)** i **l'ozó troposfèric (O_3)**. Diversos estudis alerten sobre les conseqüències d'aquesta contaminació: es calcula que **més de 350 morts prematures a l'any a Barcelona** estan relacionades amb la mala qualitat de l'aire, afectant especialment infants i persones grans. Fins i tot si es compleixen els límits legals europeus, l'exposició prolongada a l'aire contaminat pot reduir l'esperança de vida. De fet, segons l'Organització Mundial de la Salut (OMS), si Barcelona reduís els nivells de contaminació als valors recomanats, es podrien evitar fins a **659 morts anuals**.

Més enllà dels efectes en la salut, **la Unió Europea ha establert un marc normatiu cada vegada més exigent**. La Directiva 2008/50/CE fixa uns valors límit de qualitat de l'aire per protegir la població, com ara **$40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2 com a mitjana anual**. No obstant això, Barcelona va incomplir aquests límits durant gairebé una dècada (2010-2018), cosa que va provocar sancions i va obligar a implementar mesures com la **Zona de Baixes Emissions (ZBE)**. Tot i que aquestes accions han reduït les concentracions de NO_2 en un 30% a les zones amb més trànsit entre 2015 i 2022, els nivells de contaminació **encara superen puntualment les recomanacions de l'OMS**. Això evidencia la necessitat de **continuar monitorant i analitzant la qualitat de l'aire per avaluar l'eficàcia de les polítiques ambientals** i detectar àrees crítiques que requereixin mesures addicionals.

En aquest context, aquest **TFM té com a objectiu analitzar l'evolució espaciotemporal de la qualitat de l'aire a Barcelona** a partir de dades obertes, utilitzant **eines avançades d'anàlisi i visualització geoespacial**. Mitjançant tècniques d'anàlisi de dades i models predictius, es vol identificar **patrons de contaminació**, correlacions amb factors meteorològics i potencials **millores en la gestió de la qualitat de l'aire**. Amb aquest estudi es pretén que pugui servir com a eina de suport per a la presa de decisions en polítiques públiques i per sensibilitzar la ciutadania sobre els nivells de contaminació i la seva distribució a la ciutat.

5. Motivació personal

El meu interès per l'anàlisi de la qualitat de l'aire neix de la meva experiència en **el desenvolupament d'aplicacions web i la visualització de dades**. Al llarg de la meva trajectòria professional, he treballat en projectes de **dades geoespacionals, smart cities i sostenibilitat**, fet que m'ha permès entendre la importància d'aplicar tècniques avançades per a la interpretació i comunicació de dades ambientals. A més a més, durant el màster, em va agradar molt cursar l'assignatura d'anàlisi de dades georeferenciades, la qual em va inspirar a continuar aprofundint en el camp dels Sistemes d'Informació Geogràfica.

Barcelona és una ciutat on **la contaminació atmosfèrica és un problema creixent** i, com a resident i professional del sector tecnològic, m'interessa contribuir amb solucions que ajudin a millorar la comprensió i la gestió d'aquest fenomen. La disponibilitat de **dades obertes proporcionades per la Generalitat i l'Ajuntament de Barcelona** ofereix una oportunitat única per aplicar **tecnologies de visualització interactiva** i models predictius que facilitin l'anàlisi i la presa de decisions.

Aquest TFM em permetrà aprofundir en l'ús de **QGIS, ArcGIS Online i Shiny** per a la creació de **mapes i dashboards interactius** que ajudin a identificar patrons i tendències en la contaminació atmosfèrica. A més, em motiva especialment la possibilitat de desenvolupar una eina que pugui tenir un impacte positiu, tant en **la recerca acadèmica com en la difusió i conscienciació ciutadana** sobre la qualitat de l'aire.

6. Objectius del treball

En aquest treball s'analitzarà i es visualitzarà la qualitat de l'aire a Barcelona, utilitzant dades obertes de fonts oficials i tècniques avançades de geovisualització. L'objectiu és identificar patrons espacionals i temporals de contaminació, explorar la influència de factors meteorològics i de trànsit, i oferir eines visuals interactives per facilitar la interpretació i consulta de les dades.

Per assolir aquests objectius, es duran a terme diverses anàlisis descriptives i estadístiques mitjançant R, i es desenvoluparan representacions geoespacionals a través d'eines com QGIS, ArcGIS Online i Shiny. Això permetrà no només entendre millor la distribució de la contaminació a la ciutat, sinó també contribuir a la presa de decisions per a la millora de la qualitat de l'aire.

6.1 Hipòtesi (objectiu principal)

L'objectiu principal d'aquest estudi és analitzar la distribució espaciotemporal dels contaminants atmosfèrics a Barcelona i avaluar com factors ambientals i humans, com les condicions meteorològiques i el trànsit, influeixen en la qualitat de l'aire. S'espera trobar patrons clars de contaminació en determinades zones i períodes de l'any, així com diferències significatives segons el dia de la setmana i l'activitat urbana.

6.2 Objectius parcials (preguntes d'investigació)

Per assolir l'objectiu general, es plantegen una sèrie d'objectius parcials que es divideixen en dos blocs:

6.2.1 Objectius generals

1. Investigar estudis previs i iniciatives similars per definir l'estat de l'art.
2. Executar el projecte seguint un enfocament iteratiu per millorar progressivament l'anàlisi i la visualització.
3. Documentar el procés de treball, incloent els passos de tractament i anàlisi de dades.
4. Sintetitzar els resultats en una presentació clara i visual.
5. Defensar el projecte en l'àmbit acadèmic.
6. Publicar les dades i les eines desenvolupades.

6.2.2 Objectius específics

1. Recopilar i processar les dades de qualitat de l'aire de fonts obertes oficials (Open Data BCN, Meteocat, etc.).
2. Analitzar estadísticament amb R la distribució i evolució dels contaminants NO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ i O_3 .
3. Examinar la influència de les variables meteorològiques i de trànsit en els nivells de contaminació.
4. Construir conjunts de dades geoespacial que permetin representar la qualitat de l'aire en diferents zones de la ciutat.
5. Realitzar una anàlisi geoespacial i generar mapes amb QGIS i ArcGIS Online.

6. Desenvolupar visualitzacions interactives amb **Shiny** per explorar la informació de manera dinàmica.
7. Permetre als usuaris interactuar amb l'aplicació per analitzar la qualitat de l'aire i extreure coneixement accionable.

7. Metodologia

Per assolir els objectius establerts, el treball seguirà una metodologia basada en l'anàlisi de dades obertes, la visualització geoespacial i la interpretació de patrons espacials i temporals de la qualitat de l'aire. El procés metodològic es divideix en quatre etapes principals: obtenció i preparació de dades, anàlisi exploratòri, visualització i interpretació dels resultats.

7.1 Obtenció i preparació de les dades

En primer lloc, es recopilaran i es processaran les dades necessàries per a l'anàlisi. Es treballarà amb fonts oficials de dades obertes que proporcionen informació detallada i actualitzada sobre la qualitat de l'aire, les condicions meteorològiques i el trànsit a Barcelona.

- **Dades de qualitat de l'aire:**

- Xarxa de vigilància ambiental de l'Ajuntament de Barcelona (Open Data BCN), incloent mesures històriques de NO_2 , PM10, PM2,5 i O_3 .
- Dades en temps real i registres horaris per analitzar tendències a curt i llarg termini.

- **Dades meteorològiques:**

- Servei Meteorològic de Catalunya (Meteocat), amb variables com temperatura, humitat relativa, velocitat i direcció del vent, i precipitació.
- Permetrà estudiar com les condicions meteorològiques afecten la dispersió i concentració dels contaminants.

- **Dades de trànsit:**

- Registres de mobilitat i fluxos de vehicles per explorar la relació entre densitat de trànsit i nivells de contaminació.

- **Preprocessament de dades:**

- Unificació de formats i estructuració de les dades per l'anàlisi amb R.
- Tractament de valors mancants i eliminació d'outliers que puguin distorsionar els resultats.

- Creació de conjunts de dades geoespacial per integrar-los en eines com QGIS i ArcGIS Online.

7.2 Anàlisi exploratòria de dades

Un cop processades les dades, es durà a terme una anàlisi exploratòria per identificar tendències, correlacions i patrons de contaminació a la ciutat.

- **Estudi espaciotemporal de la contaminació:**
 - Càlcul d'estadístics descriptius per a cada contaminant.
 - Anàlisi de variacions diàries, setmanals i estacionals dels nivells de contaminació.
 - Comparació entre dies feiners i festius per detectar diferències en l'impacte de la mobilitat.
- **Anàlisi de correlacions:**
 - Identificació de la relació entre la qualitat de l'aire i les variables meteorològiques mitjançant tècniques estadístiques en R.
 - Estudi de la influència del trànsit en les concentracions de contaminants a diferents punts de la ciutat.
- **Generació de mapes preliminars:**
 - Creació de representacions geoespacial inicials amb QGIS i ArcGIS Online per detectar les zones amb més impacte ambiental.
 - Superposició de capes de contaminació amb informació meteorològica i de trànsit per visualitzar patrons i relacions.

7.3 Visualització i interpretació de resultats

La fase final del treball se centrarà en la presentació clara i accessible dels resultats mitjançant tècniques de geovisualització interactiva.

- **Creació de mapes dinàmics i interactius:**
 - Utilització de QGIS i ArcGIS Online per representar la distribució espacial de la contaminació a Barcelona.
 - Incorporació de capes de dades per permetre la consulta detallada de diferents contaminants i factors associats.
- **Desenvolupament d'un dashboard interactiu amb Shiny:**

- Implementació d'una aplicació web que permeti als usuaris explorar l'evolució temporal i espacial de la qualitat de l'aire.
- Integració d'eines d'exploració com filtres per data, contaminant i condicions meteorològiques.
- **Comparació amb límits normatius:**
 - Contrast dels resultats obtinguts amb els límits establerts per la Unió Europea i les recomanacions de l'OMS.
 - Identificació d'àrees problemàtiques i proposta de visualitzacions clares per facilitar la interpretació per part de ciutadans i gestors públics.

8. Competència de compromís ètic i global (CCEG) i Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS)

Aquest TFM aborda les tres grans dimensions:

(I) Sostenibilitat: Analitza exhaustivament la qualitat de l'aire a Barcelona per promoure decisions sostenibles en la gestió ambiental i urbana. S'identifiquen patrons de contaminació i zones prioritàries per actuar-hi, facilitant mesures concretes que redueixin la contaminació, protegeixin la salut pública i preservin el medi ambient.

(II) Comportament ètic i responsabilitat social (RS): El treball utilitza exclusivament fonts de dades obertes proporcionades per institucions públiques reconegudes com l'Ajuntament de Barcelona i el Servei Meteorològic de Catalunya. A més, es documenta detalladament tot el procés d'anàlisi per assegurar la responsabilitat social i acadèmica.

(III) Diversitat i drets humans: Té en compte que una millora en la qualitat ambiental urbana contribueix a reduir les desigualtats socials, ja que els efectes negatius de la contaminació atmosfèrica tendeixen a afectar més intensament grups vulnerables com infants, gent gran o persones amb condicions de salut preexistents. Així, aquest treball promou el dret fonamental a viure en un entorn saludable, independentment del context socioeconòmic dels ciutadans.

Els Objectius de Desenvolupament Sostenible específicament abordats són:

- **ODS 3 (Salut i benestar):** Reducció de l'impacte negatiu de la contaminació atmosfèrica sobre la salut pública.
- **ODS 11 (Ciutats i comunitats sostenibles):** Promoció d'una gestió urbana més saludable i sostenible.
- **ODS 13 (Acció climàtica):** Identificació d'accions específiques per mitigar emissions contaminants i lluitar contra el canvi climàtic.

9. Planificació del treball

Per a la realització d'aquest treball, es requereix la disponibilitat de determinats **recursos software i hardware** i una planificació estructurada en diferents **fases**, cadascuna amb tasques específiques en funció de les diferents entregues al llarg del semestre.

9.1 Recursos necessaris

Software:

- **RStudio**: Anàlisi estadística i manipulació de dades.
- **Llibreries d'R**: Tractament de dades geoespacial i estadística avançada (ggplot2, sf, dplyr, tidyr, leaflet, shiny).
- **QGIS**: Visualització i anàlisi SIG.
- **ArcGIS Online**: Publicació de mapes interactius al núvol.
- **Shiny (R)**: Creació de dashboards interactius per explorar les dades.
- **Excel, Word i PowerPoint**: Redacció i presentació de la memòria.
- **GitHub**: Control de versions i documentació del codi.

Hardware:

- Portàtil amb processador Intel i7 i 16 GB de RAM.

9.2 Fases del projecte

El treball s'organitza en **sis fases**, cadascuna amb els següents objectius i tasques definides:

Fase 1: Definició i planificació del treball final

Objectiu: Definir l'abast del projecte, la metodologia i la planificació del treball.

Tasques a realitzar:

- Investigació preliminar sobre la temàtica de la qualitat de l'aire i tècniques de visualització de dades.

- Elecció del títol del treball i definició de les paraules clau.
- Elaboració del resum de la proposta i justificació del treball.
- Definició de la motivació personal i objectius.
- Planificació temporal del treball amb una estructura clara de tasques i fases.

Fase 2: Estat de l'art i selecció de fonts de dades

Objectiu: Analitzar estudis previs, definir la metodologia i validar fonts de dades.

Tasques a realitzar:

- Cerca bibliogràfica sobre qualitat de l'aire i tècniques de visualització geoespacial.
- Identificació de treballs acadèmics i aplicacions existents amb enfocaments similars.
- Selecció i validació de les fonts de dades obertes a utilitzar (Open Data BCN, Meteocat, etc.).
- Refinament de la metodologia segons els resultats de la revisió.

Fase 3: Disseny i implementació de l'anàlisi

Objectiu: Processar i analitzar les dades per obtenir resultats quantitatius i espacials.

Tasques a realitzar:

Sprint 1: Configuració de l'entorn i obtenció de dades

- Instal·lació i configuració de les eines de treball (R, QGIS, ArcGIS Online, Shiny).
- Descàrrega i estructuració de les dades de qualitat de l'aire d'Open Data BCN.
- Obtenció de dades meteorològiques i de trànsit.
- Processament inicial de les dades (tractament de valors mancants i neteja de dades).

Sprint 2: Anàlisi exploratòria de dades

- Càlcul d'estadístics descriptius per als contaminants atmosfèrics.
- Estudi de tendències temporals i variabilitat estacional de la qualitat de l'aire.
- Anàlisi de correlacions entre factors meteorològics, trànsit i contaminació.
- Generació de gràfics exploratoris amb R.

Sprint 3: Geovisualització de dades

- Creació de capes geoespacials en QGIS i ArcGIS Online.
- Superposició de dades de qualitat de l'aire amb condicions meteorològiques i densitat de trànsit.
- Generació de mapes temàtics per representar la distribució de contaminants.

Sprint 4: Desenvolupament del dashboard interactiu

- Creació d'un visor interactiu amb Shiny per explorar la contaminació en temps i espai.
- Implementació de filtres per contaminant, ubicació i data.
- Integració de gràfics i mapes dinàmics en la plataforma.

Fase 4: Interpretació i validació dels resultats

Objectiu: Analitzar resultats i comparar-los amb les directrius de qualitat de l'aire.

Tasques a realitzar:

- Interpretació de patrons espaciotemporals detectats.
- Comparació amb els límits normatius establerts per la UE i l'OMS.
- Validació de les representacions geoespacials per garantir-ne la fiabilitat.
- Elaboració de conclusions i identificació d'àrees de millora.

Fase 5: Redacció de la memòria

Objectiu: Documentar tot el procés metodològic i els resultats obtinguts.

Tasques a realitzar:

- Redacció dels capítols d'introducció i estat de l'art.
- Documentació detallada de la metodologia i processos seguits.
- Elaboració dels capítols de resultats.
- Redacció de les conclusions i línies futures d'investigació.

Fase 6: Presentació i defensa del treball

Objectiu: Preparar la presentació i exposició.

Tasques a realitzar:

- Creació de diapositives de la presentació final.
- Assaig de la presentació i resolució de possibles preguntes del tribunal.
- Defensa pública del treball davant el tribunal.

9.3 Diagrama de Gantt de la planificació

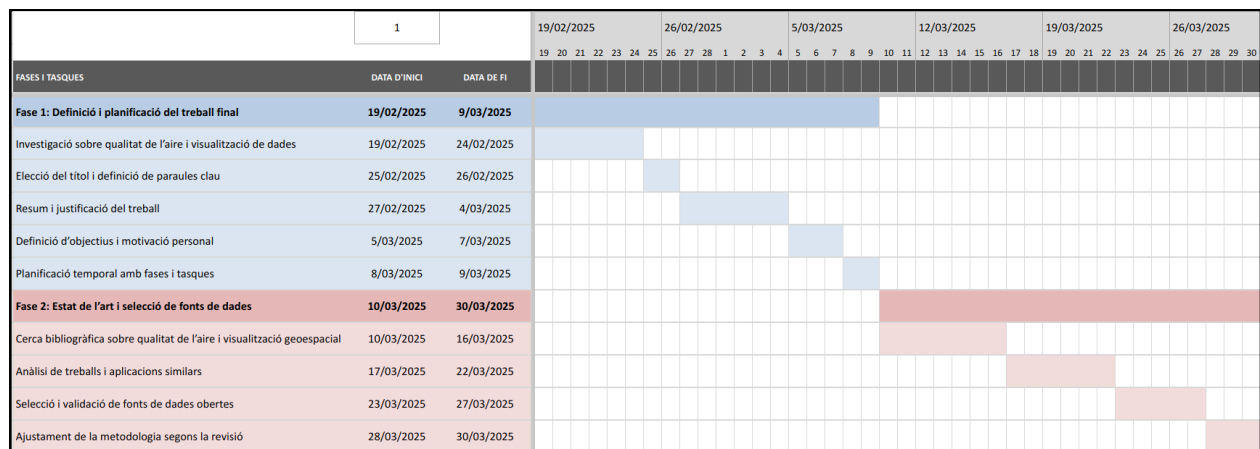


Figura 1: Diagrama de Gantt: Fases 1 i 2

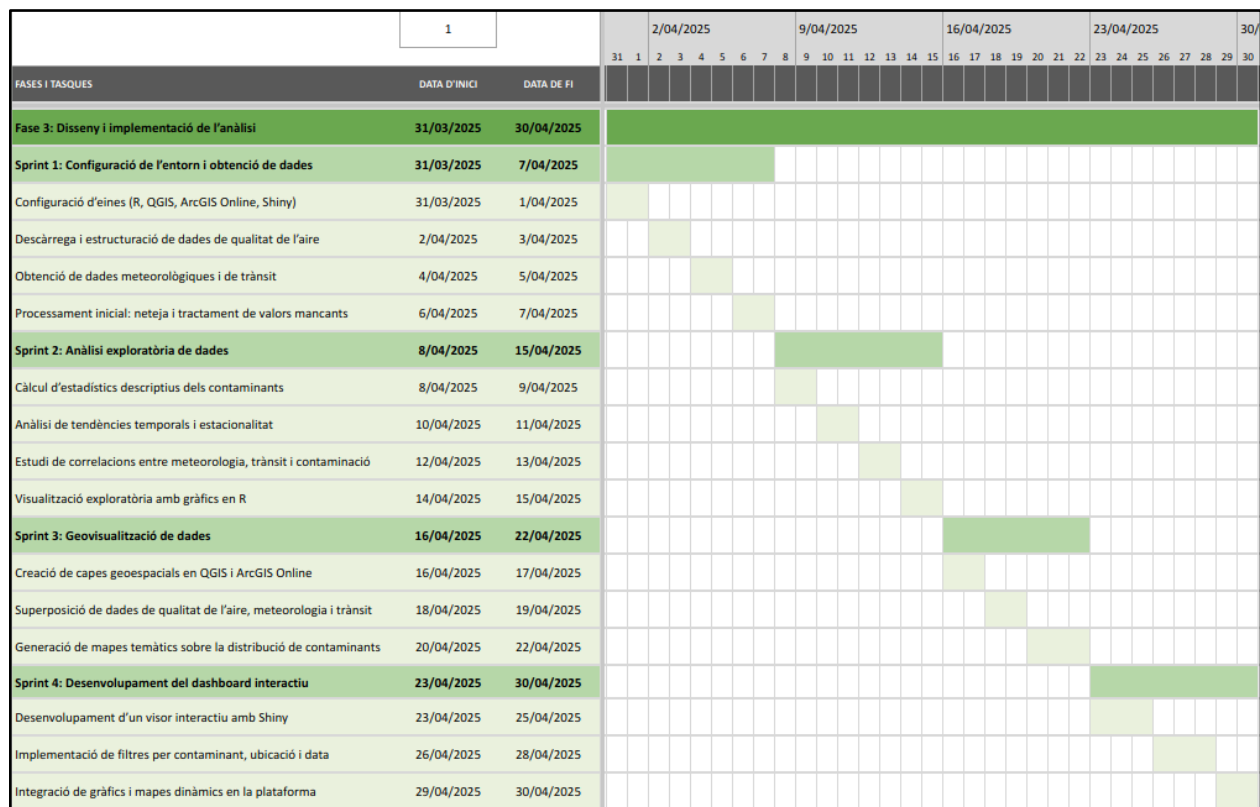


Figura 2: Diagrama de Gantt: Fase 3

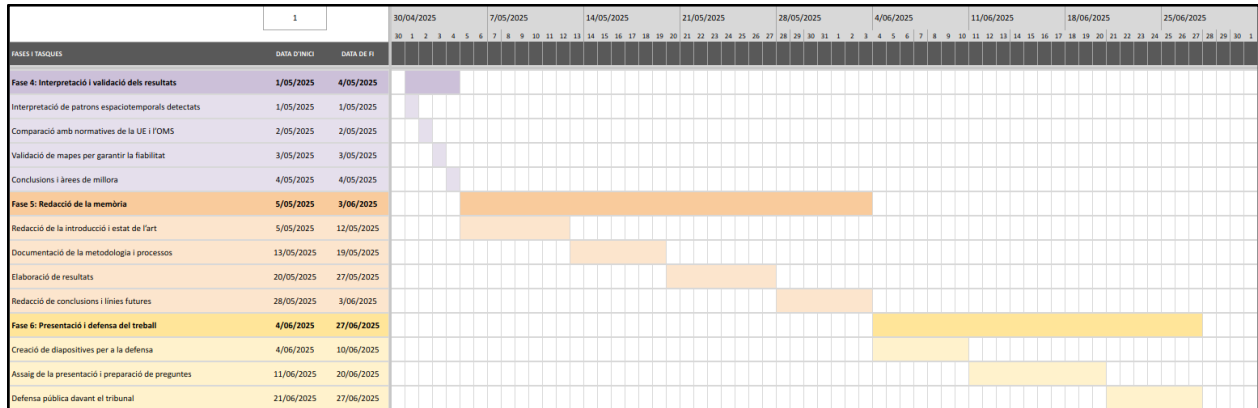


Figura 3: Diagrama de Gantt: Fases 4, 5 i 6

10. Bibliografia i fonts de dades

Agència de Salut Pública de Barcelona (ASPB). (s.d.). *Informe de qualitat de l'aire i salut a Barcelona*. Recuperat de <https://www.aspb.cat/documents/qualitat-aire>

Ajuntament de Barcelona. (2021). *Qualitat de l'aire de la ciutat de Barcelona*. Open Data BCN. Recuperat de <https://opendata-ajuntament.barcelona.cat/data/ca/dataset/qualitat-aire-estacions-bcn>

Ajuntament de Barcelona. (s.d.). *Plans de Millora de la Qualitat de l'Aire de Barcelona i documents de desplegament de la Zona de Baixes Emissions (ZBE)*. Recuperat de <https://elpais.com/espana/catalunya/2025-01-09/barcelona-aprueba-en-calidad-del-aire-por-segundo-ano-pero-la-contaminacion-supera-el-limite-que-marcara-la-ue-en-2030.html>

Organització Mundial de la Salut (OMS). (2021). *Guies globals de qualitat de l'aire 2021*. Recuperat de <https://governobert.gencat.cat/web/shared/Transparencia/normativa-en-tramit/ACC/en-tramit/decrets/pla-aire/informacio-publica/1.-Pla-de-Qualitat-de-lAire-horitzo-2027.pdf>

Parlament Europeu i Consell de la Unió Europea. (2008). *Directiva 2008/50/CE relativa a la qualitat de l'aire ambient i a una atmosfera més neta a Europa*. Recuperat de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/es/ALL/?uri=CELEX%253A32008L0050>

Servei Meteorològic de Catalunya (Meteocat). (s.d.). *Portal de Dades Obertes*. Recuperat de <https://www.meteo.cat/observacions/xema/dades>