

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

Màster en Ciències de Dades

Modul 2: Estat de l'art

Estudiant: Soulaiman El Hamri

Tutor/a de TFM: Anna Muñoz Bollas

29 de març de 2025

Índex

2. Estat de l'art	3
2.1. Factors ambientals i urbans que influeixen en la qualitat de l'aire	3
2.2. Projectes de visualització ambiental	8
2.3. Decisions tecnològiques	9
2.4. Bibliografia	10

Índex de figures

Figura 2.1: Correlació entre trànsit motoritzat i NO ₂	3
Figura 2.2: Temperatures mínimes amb inversió tèrmic	4
Figura 2.3: Imatge aèria de l'Eixample de Barcelona	5

2. Estat de l'art

2.1. Factors ambientals i urbans que influeixen en la qualitat de l'aire

L'objectiu d'aquest estudi és analitzar i visualitzar la qualitat de l'aire a la ciutat de Barcelona, utilitzant dades obertes i eines de geovisualització per identificar patrons espacials i temporals de contaminació. Aquesta anàlisi té per finalitat comprendre com factors ambientals i humans, **com les condicions meteorològiques, el trànsit o la configuració urbana**, influeixen en els nivells dels principals contaminants: diòxid de nitrogen (NO_2), partícules en suspensió (PM_{10} i $\text{PM}_{2.5}$) i ozó troposfèric (O_3).

Per assolir aquest objectiu, és necessari identificar quins són els indicadors més rellevants i significatius. Això permet orientar la recopilació i el tractament de dades cap a fonts que aportin valor tant des del punt de vista analític com comunicatiu.

Els contaminants seleccionats són àmpliament reconeguts per la seva afectació a la salut pública. Segons l'Agència de Salut Pública de Barcelona (ASPB), una part significativa de la població barcelonina està exposada a nivells de NO_2 i $\text{PM}_{2.5}$ superiors als límits recomanats per l'Organització Mundial de la Salut (OMS) [1]. De fet, és calcula que anualment la contaminació de l'aire causa fins a 1.300 morts prematures a la ciutat.

A més dels valors absoluts dels contaminants, cal entendre els **factors que condicionen la seva presència i distribució**. A continuació es detallen els principals factors que hem de tenir en compte a l'hora de fer l'anàlisis i visualització del projecte:

Trànsit rodat

Aquest és la font principal d'emissions de NO_2 i una de les majors de PM_{10} a Barcelona. Segons dades de l'Ajuntament [2], els vehicles dièsel, tot i representar una proporció decreixent del parc mòbil, continuen sent els responsables de més del 70% de les emissions de NO_2 . Les zones amb més intensitat de trànsit, com l'Eixample, la Gran Via o les Rondes, presenten contínuament els nivells més elevats de contaminació, especialment durant les hores punta del matí (8:00–10:00h) i de la tarda (18:00–20:00h).

Per visualitzar la correlació entre el trànsit i la contaminació, es pot consultar el mapa interactiu desenvolupat per l'empresa Lobelia [3]. Aquest mapa mostra la concentració de NO_2 a nivell de carrer a Barcelona, basant-se en dades oficials de sensors i informació

meteorològica. Gràcies a aquesta eina, els usuaris poden identificar les zones amb més contaminació i planificar rutes que les evitin.

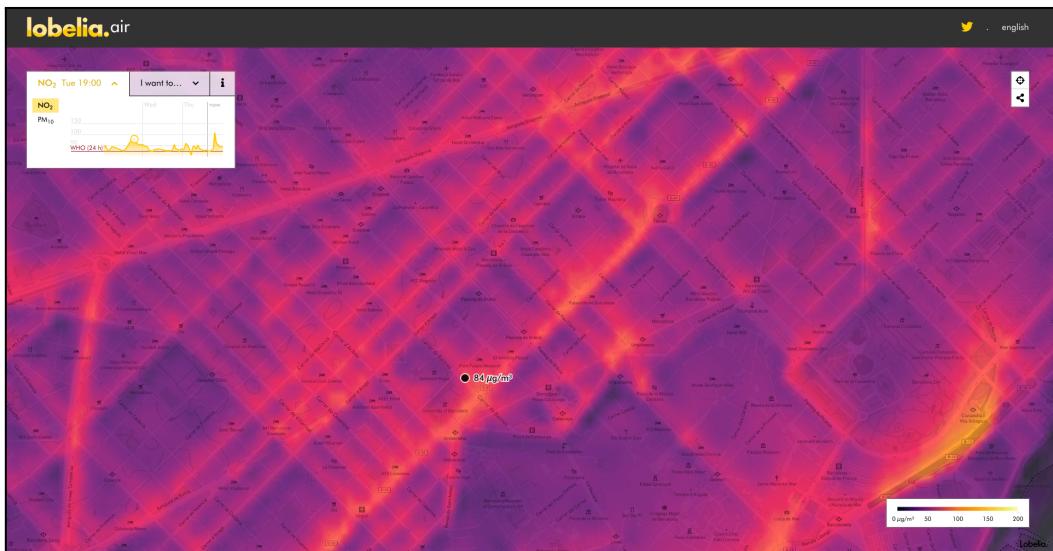


Figura 2.1 Correlació entre trànsit motoritzat i NO₂

La **visualització pròpia** del TFM incorporarà gràfics temporals per analitzar l'evolució dels principals contaminants com NO₂, PM₁₀, PM_{2.5} i O₃ al llarg del dia, en relació amb la intensitat del trànsit rodat. Aquest enfocament permetrà identificar patrons recurrents i entendre millor l'impacte del trànsit en la qualitat de l'aire.

Condicions meteorològiques

Les condicions meteorològiques tenen una influència determinant en la dispersió, concentració i permanència dels contaminants atmosfèrics. Variables com la velocitat i direcció del vent, la temperatura, la humitat relativa i la pressió atmosfèrica condicionen directament la capacitat de dispersió i dilució dels contaminants.

Són molt rellevants els episodis d'**inversió tèrmica** [4][5], habitualment associats a situacions anticiclòniques, en què una capa d'aire càlid situada a major altitud impedeix la dispersió vertical dels contaminants, que acaben acumulant-se a les capes inferiors de l'atmosfera. Aquests episodis provoquen concentracions elevades de contaminants com NO₂ i partícules en suspensió (PM₁₀ i PM_{2.5}), generant puntualment situacions crítiques de qualitat de l'aire a la ciutat.

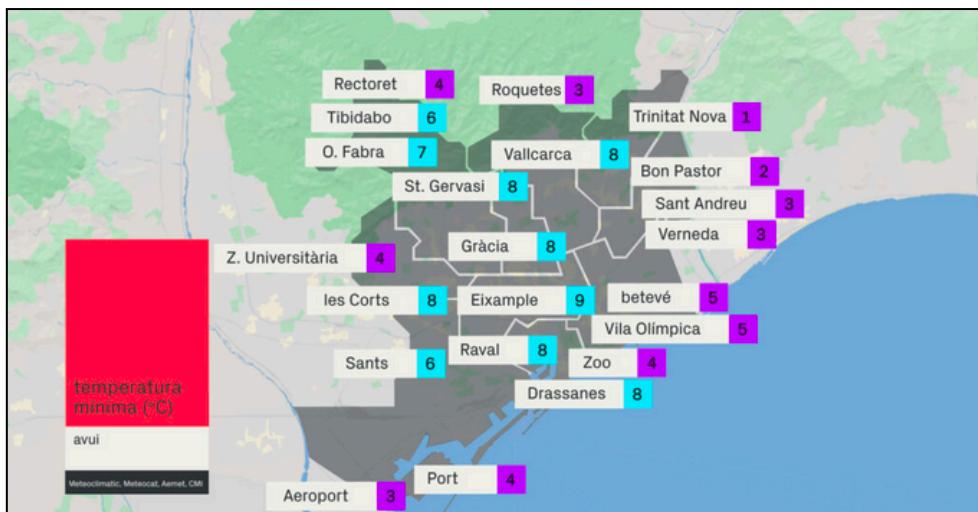


Figura 2.2 Temperatures mínimes amb inversió tèrmica

Per contra, condicions meteorològiques adverses, com ara episodis de vent intens o precipitacions abundants, poden disminuir temporalment les concentracions de contaminants, ja que faciliten la dispersió i el rentat atmosfèric. Segons dades proporcionades pel Servei Meteorològic de Catalunya [6], a Barcelona els mesos amb major freqüència de situacions d'estabilitat atmosfèrica i inversió tèrmica són **novembre, desembre i febrer**, coincidint amb els períodes en què es registren els pics anuals més alts de contaminació atmosfèrica.

Aquesta correlació entre determinades condicions meteorològiques i els pics de contaminació posa en evidència la importància d'integrar variables climàtiques en els models d'anàlisi i en les visualitzacions del projecte. Per això, en la **visualització pròpia** del TFM s'incorporaran capes de dades meteorològiques que permetin contextualitzar l'evolució dels contaminants en funció del temps i reforçar la interpretació espacial i temporal dels episodis de contaminació.

Morfología urbana

La morfologia urbana de Barcelona, especialment en zones com l'Eixample, juga un paper clau en la dispersió dels contaminants atmosfèrics. Carrers estrets i envoltats d'edificis alts poden provocar l'anomenat **efecte canyon urbà**, que dificulta la ventilació natural i afavoreix l'acumulació de diòxid de nitrogen (NO_2) i partícules en suspensió (PM_{10} i $\text{PM}_{2.5}$).

Segons l'**Informe de Qualitat de l'Aire** elaborat per l'Agència de Salut Pública de Barcelona (ASPB) l'any 2023 [1], els nivells de NO_2 són especialment elevats al centre de la ciutat, destacant el districte de l'Eixample, on es va registrar una mitjana anual de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aquesta tendència es veu reforçada per l'estudi *Un model micro-escala de distribució de NO₂ per a àrea urbana* (2022), el qual conclou que la configuració geomètrica dels carrers influeix significativament en la concentració de contaminants. En particular, carrers amb una elevada relació alçada/amplada presenten nivells més alts de NO₂, degut a la dificultat de dispersió vertical [6].

Per tal d'analitzar aquest fenomen dins el marc del TFM, es crearà una visualització que integri imatges aèries i dades morfològiques, combinades amb concentracions de contaminants. Aquesta representació geoespatial permetrà evidenciar com la disposició urbana condiciona la qualitat de l'aire, posant especial atenció als efectes del *canyon urbà* en districtes densament urbanitzats com l'Eixample.



Figura 2.3. Imatge aèria de l'Eixample de Barcelona.

Vegetació i espais verds

La vegetació urbana exerceix un paper fonamental en la millora de la qualitat de l'aire a les ciutats. Els arbres i altres elements vegetals poden capturar partícules en suspensió a les seves fulles i escorça, reduint-ne la concentració a l'ambient. A més, la presència de parcs i jardins afavoreix la circulació de l'aire i contribueix a mitigar l'efecte d'illa de calor, que pot intensificar l'acumulació de contaminants.

Tot i els seus beneficis, la distribució de la infraestructura verda a Barcelona no és uniforme, fet que genera desigualtats ambientals entre barris. Segons l'**Indicador d'Espai Verd per**

Càpita (IEVC) de l'Ajuntament de Barcelona [7], districtes com **Sarrià – Sant Gervasi** disposen de fins a **17 m² de verd per habitant**, mentre que barris com **el Raval** o **Sants-Badal** no superen els **2 m² per habitant**. Aquesta desigualtat pot implicar una major exposició a la contaminació atmosfèrica per part de la població que viu en zones amb menys cobertura vegetal, fet que accentua les **inequitats ambientals i socials**.

Per a la visualització pròpia del TFM, es generarà un mapa coroplètic de cobertura vegetal per barri, combinat amb dades de concentració de contaminants atmosfèrics (NO₂, PM₁₀, PM_{2,5} i O₃). Aquesta representació permetrà analitzar la relació entre verd urbà i qualitat de l'aire, així com identificar les zones més vulnerables des d'un punt de vista ambiental i social.

Activitat humana i patrons temporals

Els nivells de contaminació atmosfèrica estan estretament vinculats a les dinàmiques urbanes, especialment a les pautes de mobilitat i a l'activitat socioeconòmica. En aquest sentit, s'observa una diferència significativa entre els dies laborables i els caps de setmana, amb concentracions més elevades de contaminants com el NO₂ durant les jornades laborals. Aquesta variació es deu principalment a la intensitat del trànsit associada als desplaçaments quotidians, especialment durant les franges horàries d'entrada i sortida laboral.

A més, es detecten diferències segons les característiques i usos predominants de cada zona urbana. Àrees properes a centres escolars, eixos comercials, zones industrials o districtes amb una alta densitat de restauració presenten patrons de contaminació diferenciats al llarg del dia. Per exemple, segons dades de l'**Agència de Salut Pública de Barcelona** [1], els nivells de NO₂ a l'entorn de l'avinguda Meridiana poden augmentar fins a un 40 % respecte a la mitjana diària durant les hores d'entrada i sortida dels centres escolars, a causa de l'increment puntual del trànsit motoritzat.

Aquest conjunt de factors evidencia la necessitat d'adoptar una visió multifactorial i sistèmica de la contaminació atmosfèrica. No n'hi ha prou amb mesurar els valors absoluts dels contaminants: cal comprendre **com, quan i per què** es generen, es distribueixen i fluctuen en el temps. Aquesta comprensió és essencial per dissenyar polítiques públiques eficaces i eines visuals que permetin comunicar amb claredat la complexitat d'aquest fenomen ambiental.

Per a la visualització pròpia del TFM, s'elaboraran gràfics temporals i mapes dinàmics que representin l'evolució horària i setmanal dels principals contaminants (NO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ i O_3), diferenciant entre dies laborables i festius, i entre tipologies de zones urbanes. Això permetrà identificar patrons de concentració associats a l'activitat humana i analitzar com la mobilitat i l'ús del sòl condicionen la qualitat de l'aire a diferents moments del dia i de la setmana.

2.2. Projectes de visualització ambiental

Diversos projectes i estudis desenvolupats a Barcelona han demostrat el potencial d'integrar dades ambientals, de trànsit i meteorològiques per detectar patrons temporals, desigualtats territorials i correlacions espacials entre múltiples factors urbans.

Plataformes com la Xarxa de Vigilància i Previsió de la Contaminació Atmosfèrica (XVPCA) ofereixen dades obertes i històriques sobre concentracions de contaminants a escala local. Aquestes dades, disponibles a través del portal **Open Data BCN**, s'han utilitzat en iniciatives de ciutat intel·ligent que creuen informació ambiental, de mobilitat i condicions climàtiques en visualitzacions orientades a la gestió municipal i la presa de decisions urbanes.

Una altra iniciativa destacada és **Lobelia Air Barcelona** [3], un projecte tecnològic que ofereix un mapa interactiu amb estimacions de concentració de NO_2 a escala de carrer, basat en dades oficials i models de dispersió atmosfèrica. Aquesta eina mostra de manera accessible la contaminació per barris i vies, i ha estat utilitzada tant en entorns educatius com per part de mitjans de comunicació i entitats de recerca.

En l'àmbit científic, projectes com **BREATHE** i **HELIX** [8][9], liderats per l'**Institut de Salut Global de Barcelona (ISGlobal)**, han utilitzat visualitzacions avançades per estudiar els efectes de la contaminació atmosfèrica sobre la salut infantil a la ciutat. Aquests projectes han aplicat gràfics radials, mapes coroplètics i animacions temporals per comparar indicadors ambientals entre barris i analitzar l'exposició segons variables socioeconòmiques i territorials.

També és rellevant l'estudi de **Viana** [10], que va evidenciar la reducció dels nivells de NO_2 durant els confinaments per COVID-19 a Barcelona, mitjançant visualitzacions temporals detallades que correlacionaven mobilitat urbana i qualitat de l'aire.

A diferència d'altres iniciatives que visualitzen dades puntuals, l'objectiu d'aquest treball és desenvolupar una prova de concepte interactiva que combini mapes temàtics, gràfics

temporals i capes contextuales per analitzar patrons ambientals, identificar desigualtats territorials i comprendre la contaminació atmosfèrica urbana. Amb aquest enfoc el que es busca és proporcionar una eina útil per a la sensibilització ciutadana i la presa de decisions informades.

2.3. Decisions tecnològiques

En aquest projecte l'arquitectura tecnològica és oberta, modular i escalable, dissenyada per integrar i visualitzar dades **ambientals, de trànsit i meteorològiques**, en sintonia amb els objectius del projecte i les competències adquirides durant el màster.

El flux de treball es divideix en tres grans etapes: **anàlisi de dades, preparació geoespacial i publicació web**.

En primer lloc, per al tractament i anàlisi de dades, s'utilitza el llenguatge de programació **R** amb l'entorn **RStudio**. Es fan servir paquets com *tidyverse* per a la manipulació eficient de dades, *lubridate* per gestionar la component temporal, i *sf i terra* per al treball amb dades espacials vectorials i ràster. El procés es documenta amb *R Markdown*.

A continuació, es desenvolupa una visualització exploratòria dels resultats mitjançant **ggplot2**, que permet generar gràfics estàtics de qualitat per identificar patrons i preparar la narrativa visual del visor final.

En paral·lel, es realitza la **preparació geoespacial** amb QGIS, eina de codi obert que facilita la preparació de capes base, l'aplicació de simbologia personalitzada i l'exportació en formats compatibles amb *ArcGIS Online*.

Finalment, per a la **publicació web** dels resultats, es fa servir la plataforma ArcGIS Online (AGOL), que facilita la creació de visors web i dashboards interactius amb mapes, gràfics i filtres integrats. La narrativa es dissenya mitjançant Web AppBuilder, optimitzant la consulta per temàtiques i oferint una experiència d'usuari intuïtiva i adaptable a diferents perfils.

2.4. Bibliografia

1. Agència de Salut Pública de Barcelona (ASPB). (2023). Avaluació de la qualitat de l'aire a la ciutat de Barcelona: ASPB. Recuperat de:
https://www.aspb.cat/wp-content/uploads/2024/08/Informe_qualitat-aire-2023_240802.pdf
2. Ajuntament de Barcelona. (2023). Dades de trànsit i emissions associades. Open Data BCN. Recuperat de: <https://opendata-ajuntament.barcelona.cat/>
3. Lobelia Earth. (2024). Air Barcelona – Mapes d'estimació de NO₂. Recuperat de:
<https://aire-barcelona.lobelia.earth>
4. Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB). (2024). La inversió tèrmica: què és i quin efecte té sobre la qualitat de l'aire? Recuperat de:
<https://blogs.amb.cat/educacioambiental/2024/02/01/la-inversio-termica-que-es-i-quin-efecte-te-sobre-la-qualitat-de-laire>
5. betevé. (2023). Inversió tèrmica: més fred a Nou Barris, Sant Andreu, Montseny i Pirineus. Recuperat de:
<https://beteve.cat/medi-ambient/inversio-termica-mes-fred-nou-barris-sant-andreu-montseny-pirineus-desembre-2023>
6. Piksel Scipedia. (2022). Un model micro-escala de distribució de NO₂ per a àrea urbana. Recuperat de:
https://static.piksel.scipedia.com.s3.amazonaws.com/1/1e/Draft_de-Pouplana_785181065-2348-document.pdf
7. Ajuntament de Barcelona. (2022). Indicador d'Espai Verd per Càpita (IEVC). Open Data BCN. Recuperat de:
https://opendata-ajuntament.barcelona.cat/data/ca/dataset?q=verd&sort=fecha_publicacion+desc
8. Institut de Salut Global de Barcelona (ISGlobal). (2019). Projecte BREATHE: Contaminació atmosfèrica i salut infantil. Recuperat de:
https://www.isglobal.org/project/-/asset_publisher/yZxXfJl5lszl/content/breathe
9. Sunyer, J., Dadvand, P., et al. (2015). HELIX Project – Health effects of air pollution on children. ISGlobal. Recuperat de:
<https://www.isglobal.org/en/-/helix-the-human-early-life-exposome-novel-tools-for-integrating-early-life-environmental-exposures-and-child-health-across-europe>
10. Viana, M., Rivas, I., Querol, X., Alastuey, A., & Sunyer, J. (2021). Impact of COVID-19 lockdown on air quality in Spanish cities. *Science of the Total Environment*, 765, 148578.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972037861X>