



**Escola de Camins**  
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports  
UPC BARCELONATECH

**Efectes dels gasos contaminants  
sobre la salut humana i la  
biodiversitat en nuclis urbans i  
morbidityat de l'aparell respiratori  
causada per l'O<sub>3</sub> a Barcelona**

Treball realitzat per:

**Xavier Jimenez Ferreres**

Dirigit per:

**Oscar Alfranca Burriel**

Grau en:

**Enginyeria Civil**

Barcelona, **octubre 2022**

Departament d'enginyeria civil i ambiental

**TREBALL FINAL DE GRAU**



**Títol: Efectes dels gasos contaminants sobre la salut humana i la biodiversitat en nuclis urbans i morbiditat de l'aparell respiratori causada per l'O<sub>3</sub> a Barcelona**

**Autor: Xavier Jiménez Ferreres**

**Tutor: Oscar Alfranca Burriel**

La contaminació en els nuclis urbans és un problema que suposa un impacte negatiu tant en la salut dels ciutadans com per a la biodiversitat i medi ambient. Aquest impacte ha de ser previst d'alguna manera per a quantificar els possibles problemes o beneficis que un augment o disminució de la contaminació pot tindre.

Barcelona és una ciutat que ha tingut molts episodis de contaminació i en els últims anys ha estat adoptant mesures per combatre-la. El clima de l'àrea urbana de Barcelona, on les temperatures solen ser càlides gran part de l'any, sumat a la contaminació de NO<sub>x</sub> i COV, fa molt fàcil a la formació d'ozó, gas el qual la literatura ha relacionat amb un gran nombre de problemes respiratoris. En aquest treball, mitjançant les dades del nivell de contaminació de l'O<sub>3</sub> i el nombre d'ingressats hospitalaris, es busca quantificar el nombre d'ingressats hospitalaris, els dies de treball perduts i el cost que això suposa per a la sanitat produïda per la morbiditat respiratòria a causa de l'O<sub>3</sub> mitjançant un model lineal basat en la literatura ja existent en altres ciutats.

Com a resultat, s'ha obtingut que la morbiditat sobre l'aparell respiratori que causada per l'O<sub>3</sub> l'any 2019, és de 1712 hospitalitzacions. Els efectes que l'O<sub>3</sub> té sobre els dies de treball perduts i el cost monetari que suposa l'hospitalització per problemes respiratoris deguts a l'ozó a Barcelona l'any 2019, és de 3139,101 dies perduts i d'un cost de 4.525.013,69 € respectivament.

S'ha trobat que el model lineal és simple i pot servir com a una primera aproximació bàsica. Alhora, s'ha considerat una variació del nivell d'O<sub>3</sub> homogeni a tota Barcelona, cosa que fa que el resultat final no sigui del tot precís. També, hi ha molts més matisos que s'haurien de considerar, com la predisposició dels ciutadans a tindre una malaltia respiratòria, o que la morbiditat respiratòria pot ser combinació no tan sols de l'O<sub>3</sub>, sinó de més gasos contaminants.

**Title: Effects of pollutants on human health and biodiversity in urban areas and respiratory morbidity caused by O<sub>3</sub> in Barcelona**

**Author: Xavier Jiménez Ferreres**

**Tutor: Oscar Alfranca Burriel**

Pollution in urban areas is a problem that has a negative impact on the health of the inhabitants, the biodiversity and the environment of those urban areas. This impact has to be predicted in some way in order to quantify the possible problems or benefits that an increase or decrease of pollution may have.

Barcelona is a city that has had many episodes of air pollution and in recent years has been adopting new measures to fight against it. The climate of Barcelona's urban area, where the temperatures tend to be warm most part of the year, with the existing NO<sub>x</sub> and VOC pollution, makes the ozone pollution very easy in that area, a gas which the literature has linked to a large number of respiratory problems. In this project it is intended to quantify the number of hospital admissions, the lost working days and the costs that this supposes for the public healthcare due to the respiratory morbidity caused by O<sub>3</sub> using a linear model based on the existing literature in other cities and using the data of O<sub>3</sub> pollution and the number of hospital admissions.

As a result, it has been obtained that the morbidity on the respiratory system caused by O<sub>3</sub> in the year 2019, is 1712 hospitalizations. The effects that O<sub>3</sub> has on lost working days and the monetary cost of hospitalization for respiratory problems due to ozone in Barcelona in 2019 is 3139,101 days lost and a cost of 4.525.013,69 € respectively.

The linear model has been found to be simple and can serve as a basic first approximation. At the same time, a homogeneous variation of the O<sub>3</sub> level throughout Barcelona has been considered, which makes the final result not entirely accurate. Also, there are many more nuances that should be considered, such as the predisposition of citizens to have a respiratory disease, or that respiratory morbidity can be a combination of many pollutant gases and not only O<sub>3</sub>.

*Efectes dels gasos contaminants sobre la salut humana i la biodiversitat en nuclis urbans i morbiditat de l'aparell respiratori causada per l'O3 a Barcelona*

## ÍNDIX

<b>1.</b>	<b>Introducció .....</b>	<b>10</b>
1.1	Preàmbul.....	10
1.2	Objectiu.....	10
1.3	Metodologia.....	11
<b>2.</b>	<b>Primera part: Gasos contaminants en els nuclis urbans .....</b>	<b>12</b>
2.1	Introducció als gasos contaminants.....	12
2.2	Fonts de contaminació urbana .....	13
2.3	Aspectes dels gasos contaminants sobre la salut humana .....	15
2.4	Biodiversitat en els nuclis urbans.....	16
2.4.1	<i>Introducció a la biodiversitat.....</i>	<i>16</i>
2.4.2	<i>La biodiversitat a Barcelona.....</i>	<i>20</i>
2.5	Gasos contaminants i els seus efectes en la salut humana .....	23
2.5.1	<i>O<sub>3</sub>.....</i>	<i>23</i>
2.5.2	<i>PM.....</i>	<i>30</i>
2.5.3	<i>SO<sub>x</sub>.....</i>	<i>35</i>
2.5.4	<i>CO.....</i>	<i>38</i>
2.5.5	<i>COV.....</i>	<i>42</i>
2.5.6	<i>NO<sub>x</sub>.....</i>	<i>46</i>
2.6	Efectes dels gasos contaminants en la biodiversitat .....	50
<b>3</b>	<b>Segona part: El cas de Barcelona .....</b>	<b>61</b>
3.1	Metodologies d'estudi dels efectes principals relacionats amb les emissions de gasos contaminants .....	61
3.1.1	<i>Fases d'un estudi sobre l'impacte de gasos contaminants en la salut humana.....</i>	<i>61</i>
3.1.2	<i>Models per estimar l'impacte sobre la salut dels gasos contaminants .....</i>	<i>62</i>
3.2	El cas de Barcelona .....	69
3.2.1	<i>Interès principal.....</i>	<i>69</i>
3.2.2	<i>Estudi fet anteriorment a Barcelona.....</i>	<i>70</i>
3.2.3	<i>Fonts estadístiques .....</i>	<i>72</i>
3.2.4	<i>Dades del tràfic rodat i efectes principals.....</i>	<i>75</i>
3.3	O <sub>3</sub> i activitat econòmica .....	80
3.3.1	<i>Descripció estadística .....</i>	<i>80</i>
3.3.2	<i>Gasos i salut: efectes sobre les hores de treball de les emissions de O<sub>3</sub>.....</i>	<i>81</i>
<b>4.</b>	<b>Resultats.....</b>	<b>84</b>
<b>5.</b>	<b>Conclusions.....</b>	<b>87</b>
	<b>Bibliografia .....</b>	<b>89</b>
	<b>Annexos.....</b>	<b>93</b>
	Annex 1. Índex de qualitat del aire (ACI) .....	93
	Annex 2. Glossari de termes .....	97

## ÍNDEX DE FIGURES

Figura 1: Fonts de producció elèctrica mundial en el 2019 Font: statista.com.....	14
Figura 2: Índex Planeta Vivo global entre 1970 y 2016 Font: Informe Planeta Vivo (WWF, 2020) .....	17
Figura 3: Diferències en les freqüències de les amaneaces dins dels sistemes Font: Kuznetsova, 2017 .....	18
Figura 4: Superfície de cobertura vegetal a Barcelona Font: Pla natura Barcelona (2020).....	20
Figura 5: Tipus de verd per districtes i m <sup>2</sup> de verd per habitant Font: Pla natura Barcelona (2020) .....	21
Figura 6: Nivells mundials d'Ozó Font: The Plant Journal (2022) 109, 432–446 .....	23
Figura 7: Esquema de la formació d'ozó Font: EPA, 2021 .....	24
Figura 8: Piràmide dels efectes causats per l'Ozó Font: EPA,2021.....	26
Figura 9: Sensitivitat a l'ozó depenent de l'edat Font: EPA,2021.....	27
Figura 10: Relació entre els ingressos hospitalaris diaris per causes respiratoris amb el nivell d'ozó Font: EPA, 2022 .....	29
Figura 11: Possibles fonts de PM Font: Polichetti, 2009 .....	30
Figura 12: Comparació del PM respecte altres objectes Font: EPA, 2021.....	31
Figura 13: Mida i composició del PM Font: EPA Air Quality Communication Workshop, 2012 .....	31
Figura 14: Gràfic de les principals fonts d'emissió de SO <sub>2</sub> Font: U.S. EPA .....	35
Figura 15: Gràfic de les principals fonts d'emissió de CO Font: U.S. EPA .....	38
Figura 16: Nivells de la saturació (%) de COHb i els seus símptomes Font: (Kinoshita et al., 2020) .....	40
Figura 17: Fonts i efectes dels COV Font: Greenteach, 2022 .....	43
Figura 18: Gràfic de les principals fonts d'emissió de NO <sub>x</sub> Font: Fernández, 2015 .....	46
Figura 19: Efecte del NOx en l'ésser humà Font: Depayras, S. et al., 2018 .....	49
Figura 20: Efecte del Ozó en una fulla Font: Ceballos, 2020 .....	51
Figura 21: Esquema d'on actua la contaminació per PM en les plantes Font: Rai, 2016 .....	52
Figura 22: Relació entre la etapa de saturació d'N i els efectes en la biodiversitat Font: Vries, 2021.....	54
Figura 23: Plantes danyades per l'smog Font: Ceballos, 2020 .....	56
Figura 24: Causes de la pluja àcida Font: EPA, 2022 .....	57
Figura 25: Escala de PH Font: EPA, 2022 .....	58
Figura 26: Nivells de PH on certes espècies poden perdre el seu hàbitat Font: EPA, 2022.....	60
Figura 27: Pèrdua de clorofil·la a causa de la pluja àcida Font: Ceballos, 2020 .....	60
Figura 28: Fases d'un estudi complet del impacte dels gasos contaminants sobre la salut humana Font: Lee, 2011 .....	61
Figura 29: Metode closest tmonitor Font: EPA,2010 .....	62
Figura 30: Metode VNA Font: EPA, 2010.....	63
Figura 31: Dades de la qualitat de l'aire a Barcelona del 2019 Font: Anuari estadístic de Barcelona, 2020 .....	73
Figura 32: Contactes i estada mitjana dels hospitals a Barcelona el 2019	

Font: Anuari estadístic de Barcelona, 2020 .....	74
Figura 33: Preu d'estada d'hospitalització convencional	
Font: Diari oficial de la Generalitat de Catalunya, departament de salut, 2013 .....	74
Figura 34: IMD Vies direcció mar-muntanya Font de les dades: Ajuntament de Barcelona, 2022 .....	75
Figura 35: Situació Vies direcció mar-muntanya Font: Pròpia .....	75
Figura 36: Accessos Font de les dades: Ajuntament de Barcelona, 2022.....	76
Figura 37: Situació del Accessos Font: Pròpia .....	76
Figura 38: IMD Vies transversals Font de les dades: Ajuntament de Barcelona, 2022 .....	77
Figura 39: Situació de les vies transversals Font: Pròpia .....	77
Figura 40: IMD Rondes Font de les dades: Ajuntament de Barcelona, 2022 .....	78
Figura 41: Situació de les vies transversals Font: Pròpia .....	78
Figura 42: Diferència de carrils per al vehicle privat 2008-2022 Font: diari EPE, 2022 .....	79
Figura 43: Anàlisi de dades O <sub>3</sub> Font: Pròpia a partir de les dades del anuari estadístic de Barcelona .....	80
Figura 44: Nivells d'O <sub>3</sub> a cada estació	
Font: Pròpia a partir de les dades del anuari estadístic de Barcelona .....	80
Figura 45: Funcions de risc fetes servir depenent dels riscos per a la salut Font: Ostro, 2004.....	81
Figura 46: Hospitalitzacions anuals degudes a problemes respiratoris per O <sub>3</sub> Font: Pròpia .....	84
Figura 47: Hores de treball perdudes en un any degut a problemes respiratoris per O <sub>3</sub> Font: Pròpia .....	85
Figura 48: Dies de treball perduts en un any degut a problemes respiratoris per O <sub>3</sub> Font: Pròpia.....	85
Figura 49: Cost anual per hospitalitzacions degudes a problemes respiratoris per O <sub>3</sub> Font: Pròpia.....	86
Figura 50: Qualitat de l'aire a Barcelona el 7-9-2022 a les 21:20 Font: Ajuntament de Barcelona.....	93
Figura 51: Aplicació del temps d'iOS Font: Aplicació del temps iOS .....	94
Figura 52: AQI Font: U.S. Environmental Protection Agency .....	95
Figura 53: Pes molecular contaminants Font: ChemicalAid .....	95
Figura 54: Recomanacions per a la població depenent de l'AQI	
Font: U.S. Environmental Protection Agency .....	96



*Efectes dels gasos contaminants sobre la salut humana i la biodiversitat en nuclis urbans i morbiditat de l'aparell respiratori causada per l'O<sub>3</sub> a Barcelona*

## 1. Introducció

### 1.1 Preàmbul

Tot i els avenços i les mesures adoptades per disminuir-la, la contaminació de l'aire continua sent un problema destacable de Salut Pública, el qual, segons l'OMS, causa uns 4,2 milions de defuncions prematures a tot el planeta, i unes 300.000 en el cas d'Europa. A més, proves recents indiquen que és una de les principals causes evitables de mortalitat i morbiditat a tot el món. A tot això se suma que la contaminació atmosfèrica no sols implica una amenaça a la salut, sinó que també suposa una càrrega econòmica deguda a hospitalitzacions, visites a urgències i dies de treball perduts per malalties.

La ciutat de Barcelona ha adoptat en els últims anys, mesures per a combatre el tràfic i els vehicles més contaminants a dins la ciutat per a reduir la contaminació de l'aire. Per això, és fonamental desenvolupar una metodologia d'estudi dels efectes dels gasos contaminants sobre la salut humana per saber si aquestes mesures tenen un efecte positiu en la salut dels ciutadans.

L'ozó a nivell de la superfície es crea a partir d'energia solar amb combinació de  $\text{NO}_x$  i COV. Les temperatures de Barcelona solen ser càlides gran part del any, cosa que si sumem això a la contaminació que hi ha de  $\text{NO}_x$  i de COV, es crea les condicions perfectes per a la formació d'ozó, el qual la literatura ha relacionat amb la morbiditat respiratòria i ha destacat que la relació ozó-mortalitat és més elevada durant els dies càlids.

### 1.2 Objectiu

La morbiditat respiratòria no és única del ozó, sinó és una combinació de tots els gasos. No obstant, la literatura diu que l'ozó és un dels principals gasos que causa malalties respiratòries i juntament al ja mencionat abans sobre que ha Barcelona hi ha bones condicions per a la creació d'ozó, fa que l'estudi de la morbiditat respiratòria d'aquest gas sigui interessant. A més, la vida mitja del ozó global a la capa baixa de l'atmosfera és de 25 dies, però és de menys de 5 dies a l'estiu, fet que fa difícil l'eliminació d'aquest gas de la capa superficial de l'atmosfera i pot portar problemes de salut greus als habitants d'una zona tant a curt com a llarg termini.

L'objectiu d'aquest treball és quantificar les hospitalitzacions causades per morbiditat en l'aparell respiratori, els dies de treball perduts i el cost que suposa mantenir aquestes persones hospitalitzades per culpa de l' $\text{O}_3$  aplicant un model lineal i amb les dades dels nivells de gasos contaminants i d'hospitalitzacions.

## 1.3 Metodologia

En aquest treball es mostren les principals fonts de contaminació urbana i els aspectes dels gasos contaminants que s'han de tindre en compte per a la salut, per tal de saber la procedència dels gasos contaminants en els nuclis urbans i els trets que fan les persones més vulnerables a aquests gasos.

Per a entendre que és la biodiversitat, es fa una explicació d'aquesta, i es veu per al cas de Barcelona, com està la seva biodiversitat avui en dia, per a entendre a que podríem perdre si a causa de la contaminació antropogènica aquesta és deteriorés o es perdés.

Tot seguit, en aquest treball es descriu en els principals gasos contaminants i els seus efectes sobre la salut dels éssers humans i la biodiversitat fent ús de la literatura ja existent que ha estudiat els efectes dels gasos contaminants en la salut dels éssers humans.

Posteriorment, s'explica el mètode i els models matemàtics per a fer un estudi dels efectes dels gasos contaminants sobre la salut per a després veure com s'ha estudiat anteriorment els efectes dels gasos contaminants a Barcelona.

Seguidament, s'han mostrat les dades i la procedència d'aquestes les quals es faran servir més endavant per a calcular la morbiditat, el cost sanitari i els dies de treballs perduts a causa del ozó. Per a entendre la procedència dels gasos contaminants a Barcelona, s'ha mostrat i analitzat les tendències del tràfic a Barcelona entre el 2014 i 2021 i s'ha fet un anàlisi de les dades del O<sub>3</sub>.

Finalment, s'ha aplicat un model lineal basat en la literatura ja existent, exportant aquest model a Barcelona per a obtenir les hospitalitzacions causades per morbiditat en l'aparell respiratori, els dies de treball perduts i el cost que suposa mantenir aquestes persones hospitalitzades per culpa de l'O<sub>3</sub>. Al final del treball s'ha annexat un índex important a l'hora d'entendre les mesures de gasos contaminants com és l'AQI i s'han explicat alguns termes mèdics poc comuns que es mencionen al treball.

## 2. Primera part: Gasos contaminants en els nuclis urbans

### 2.1 Introducció als gasos contaminants

El desenvolupament i expansió de les ciutats té parts positives: com més equipaments, millores en el transport, millor qualitat de vida, etc. Però també té parts negatives que poden afectar de gravetat a la salut de l'ésser humà i de la biodiversitat de les ciutats com és la contaminació de l'aire.

Aquesta és un dels problemes més importants a escala mundial i està present tant en països ja desenvolupats com, cada vegada en major mesura, en països en vies de desenvolupament.

La contaminació està definida en el Diccionari de la llengua catalana com: "f. [EG] Disminució de la qualitat d'algun recurs per addició o barreja amb materials aliens, sovint com a resultat de l'activitat de l'home o d'altres organismes".

La contaminació en nuclis urbans es refereix a la contaminació en les ciutats i al voltant d'aquestes. Les poblacions més denses tenen una major exposició a la contaminació de l'aire i aquesta no sols afecta la salut humana, sinó que també al clima, la biodiversitat i el medi ambient d'una àrea. També existeix el problema que diferents zones on no hi ha una alta contaminació, pateixin dels efectes d'aquesta a causa dels seus veïns.

Segons l'Organització Mundial de la Salut (OMS), cada any es produeixen 4,2 milions de morts a causa de l'exposició a la contaminació de l'aire. (Airqoon, 2022). Aquesta dada és alarmant, i tot i que hi poden haver fonts de contaminació d'origen natural en nuclis urbans (per exemple erupcions volcàniques, incendis forestals, tempestes d'arena), com s'ha vist en la definició del diccionari, la contaminació de l'aire ve produïda principalment per l'ésser humà i depèn de les activitats dutes a terme per les persones.

Part de la contaminació antropogènica en nuclis urbans ve donada a causa del tràfic de vehicles contaminants dins d'ella i a causa de les indústries. Avui en dia, molts països estan adoptant mesures contra el tràfic i contra les indústries més contaminants per a combatre el canvi climàtic, i alhora, aquestes mesures també serveixen per a millorar la qualitat de l'aire que es respira a les ciutats.

També, gasos com PM<sub>2,5</sub>, el CO i l'O<sub>3</sub> han estat relacionats a increments en el nombre de casos de COVID-19, fet que fa que l'estudi dels gasos contaminants i el seu control sigui interessant en ones de coronavirus.

## 2.2 Fonts de contaminació urbana

Les principals fonts de contaminació de l'aire per causes antropogèniques en nuclis urbans són (Airqoon, 2022):

- *Mobilitat amb vehicles que fan ús de combustibles fòssils:* L'ús del transport privat és la causa més gran de contaminació atmosfèrica en els nuclis urbans. Segons l'agència de protecció ambiental dels Estats Units, un 75% dels compostos orgànics volàtils (COV) (per pes) són per raons de mobilitat i sobre un quart de les partícules en suspensió (PM) són degudes als vehicles que fan ús de combustibles fòssils.
- *Ús domèstic de combustibles fòssils:* La meitat de la població mundial fa ús dels combustibles fòssils per a cuinar o com a calefacció. Aquests combustibles poden ser fusta, carbó o gas metà que són cremats en estufes de poca eficiència, les quals desprenen grans quantitats de partícules en suspensió (PM) dolentes per la salut i també gasos d'efecte hivernacle al seu entorn proper. A més, s'estima que 1,2 mil milions de persones il·luminen els seus habitatges amb llampades de querosè, les quals no tan sols contribueixen a la contaminació de l'aire, sinó que també augmenten el risc de malalties respiratòries i cardiovasculars.
- *Industrialització:* La industrialització és una contribuïdora important de la contaminació de l'aire als nuclis urbans, ja que les zones industrials mostren una escassa qualitat de l'aire. Les fàbriques desprenen una considerable quantitat de gasos tòxics a causa de la combustió de combustibles fòssils i a l'ús de productes químics. Aquests gasos reaccionen entre si i també amb altres gasos que estan a l'atmosfera. És estimat que al voltant de 80 toxines diferents poden ser trobades en l'aire que és emès per les fàbriques, des d'amiant i dioxina, fins plom i crom.
- *Producció d'electricitat:* Amb l'augment de població mundial, la demanda d'energia és major. Per tant, per a poder satisfer aquesta demanda, es fan servir combustibles fòssils per a generar la major part de l'energia, ja que aquests són barats i d'ús immediat. Com es pot apreciar en la Figura 1, el carbó, turba i els esquistos bituminosos sumen un 36,7% de la producció elèctrica mundial, seguit del gas natural amb un 23,5%. L'electricitat que es produeix a base de fonts d'energia no renovables suma un 63% de la producció elèctrica mundial.

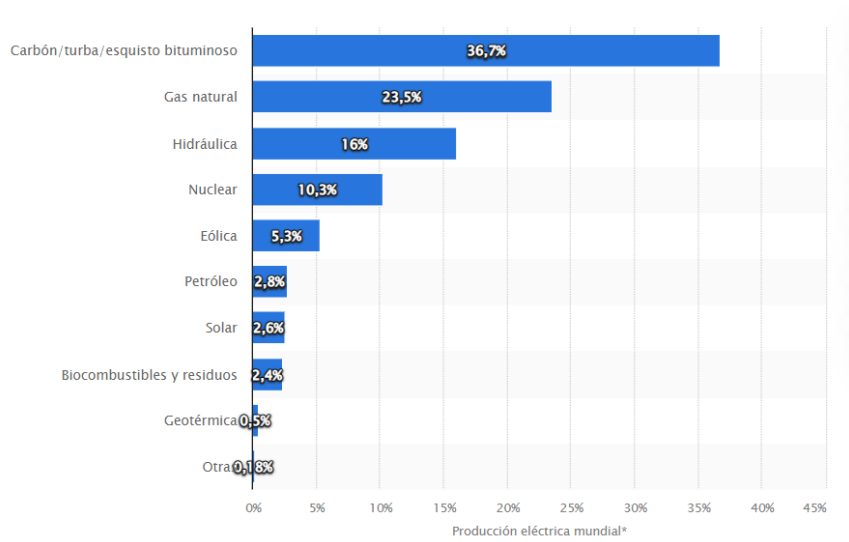


Figura 1: Fonts de producció elèctrica mundial en el 2019  
Font: statista.com

- **Agricultura i combustió de materials:** La combustió de materials és una activitat que allibera gasos tòxics a l'atmosfera i que contribueix a la contaminació en nuclis urbans. La combustió allibera diòxid de carboni ( $\text{CO}_2$ ) i una combustió incompleta allibera monòxid de carboni (CO), els dos gasos contaminants. L'agricultura allibera altres tipus de gasos contaminants a l'atmosfera com el diòxid de nitrogen ( $\text{NO}_2$ ) i metà ( $\text{CH}_4$ ).

## 2.3 Aspectes dels gasos contaminants sobre la salut humana

Per a poder determinar si els contaminants poden tindre efectes sobre la salut humana, es necessita tindre en compte els següents aspectes (Green Facts, 2008):

- *La toxicitat dels contaminants i les seves concentracions en l'aire interior:* L'aire interior pot contenir compostos orgànics, partícules o microbis que poden provocar al·lèrgies o altres efectes sobre la salut humana.
- *L'exposició:* Les persones s'exposen als contaminants de l'aire principalment a l'hora de respirar, però també es poden exposar per altres vies, com la ingestió de pols.
- *Les relacions entre exposició i reacció:* Per avaluar el risc plantejat per un determinat contaminat, és important conèixer la resposta del cos a diferents concentracions d'aquest contaminant en l'aire.
- *Caracterització del risc:* Durant l'última etapa del procés d'avaluació de riscos s'analitzen totes les proves científiques recollides per determinar la probabilitat que un contaminat determinat provoqui una malaltia.

També s'ha de considerar quins grups de persones són vulnerables a la contaminació atmosfèrica. Segons la Comissió Europea de la Salut i Protecció al Consumidor (2007), els grups vulnerables per a la seva salut per l'exposició a contaminants presents a l'aire són:

- Nens
- Dones embarassades
- Persones majors a 65 anys
- Persones amb malalties cardíques o pulmonars
- Persones amb problemes respiratoris
- Persones que treballen a l'aire lliure
- Atletes que s'exerciten a l'aire lliure

El perfil genètic, l'estat nutricional i els factors d'estil de vida també poden contribuir a ser més o menys vulnerable a certs contaminants presents en l'aire (Comissió Europea de la Salut i Protecció al Consumidor, 2007).

## 2.4 Biodiversitat en els nuclis urbans

### 2.4.1 Introducció a la biodiversitat

La biodiversitat fa referència a la varietat de vida a la Terra en tots els seus nivells, des dels gens fins als ecosistemes, i pot englobar els processos evolutius, ecològics i culturals que sostenen la vida.

Aquesta no són només espècies que considerem rares, amenaçades o en perill d'extinció, sinó també tots els éssers vius, des dels humans fins als organismes dels quals sabem poc, com ara microbis, fongs i invertebrats.

La biodiversitat és important per molts dels aspectes dins de les nostres vides. Valorem la biodiversitat tant pel que proporciona als humans com pel valor que té per dret propi. Els éssers humans obtenim de la biodiversitat moltes de les nostres necessitats bàsiques com ara venen a ser aliments, combustible, refugi i medicaments. A més, els ecosistemes proporcionen serveis crucials com la pol·linització, la dispersió de llavors, la regulació del clima, la purificació de l'aigua i el control de plagues agrícoles. (American Museum of Natural History)

El fet que un nucli urbà sigui més verd i tingui elements de natura dona peu al fet que tothom pugui desfruitar del contacte amb elements naturals a la porta de la seva casa, aconseguint una millora en la qualitat de vida dels ciutadans. Els espais verds urbans potencien la biodiversitat i també poden ajudar a combatre la calor a l'estiu o combatre el canvi climàtic. Podem classificar la Biodiversitat urbana depenent de la presència i procedència en (Pereira, 2016):

- *Captiva*: Espècies ubicades en hàbitats pre-urbans que la ciutat, en el seu creixement històric, ha absorbit amb els nous paisatges resultants. Per exemple alguns ocells del sotabosc i de matollar, com la merla o els tallarols, alguns amfibis.
- *Induïda*: Derivada d'algunes activitats i instal·lacions humanes que han afavorit la presència d'espècies procedents d'altres hàbitats, inclús d'altres continents. Ex. Cotorretes escapades del captiveri.
- *Atreta*: Espècies antropòfiles vinculades de manera comensal a l'activitat humana, aprofitant els seus recursos i fluxos de matèria i energia sense causar, en principi, cap efecte negatiu o beneficiós. Ex. Pardal o rata comú.



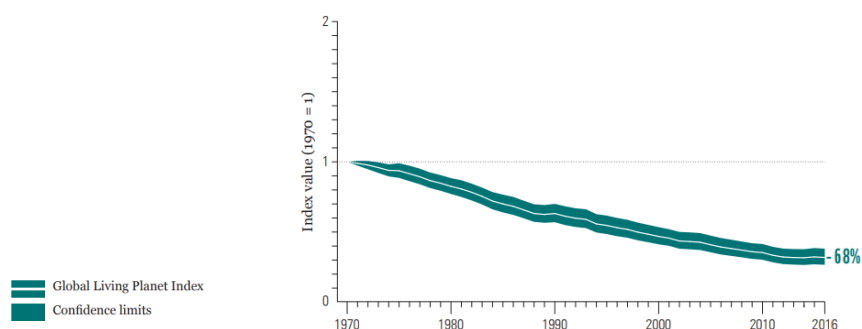
La biodiversitat pot tindre tant un valor per a beneficis potencials encara no reconeguts (com ara nous medicaments), com un valor cultural per als humans, per exemple, per raons espirituals o religioses.

També s'hi pot trobar un valor intrínsec de la biodiversitat fent referència al seu valor inherent, que és independent del seu valor per a qualsevol persona o qualsevol altra cosa. Això és més aviat un concepte filosòfic, que es pot considerar com el dret inalienable a existir.

Finalment, el valor de la biodiversitat es pot entendre a través de les relacions que formem i ens esforcem entre nosaltres i amb la resta de la natura. Podem valorar la biodiversitat a causa de com configura qui som, les nostres relacions entre nosaltres i les normes socials. Aquests valors relacionals formen part del sentit individual o col·lectiu de benestar, responsabilitat i connexió amb l'entorn de les persones. Els diferents valors que es donen a la biodiversitat són importants perquè poden influir com les persones la conserven en el dia a dia (American Museum of Natural History).

La Biodiversitat és el que fa a l'ecosistema resilient en vista al canvi. Com més divers sigui un ecosistema, més saludable pareixerà. Per això les espècies sense diversitat genètica a causa del seu aïllament o per un baix nombre en la seva població, són molt més vulnerables a les fluctuacions causades per perturbacions externes. Aquesta és la causa per la qual en alguns entorns, eliminar sol una componen important pot socavar tot el sistema, inclús quan la biodiversitat és abundant. La pèrdua d'aquesta espècie clau implica la pèrdua dels seus depredadors, el que implica una amenaça a tota l'estructura de l'ecosistema.

Actualment, la biodiversitat està sota pressió (Figura 2). En gran part, les amenaces provenen de les demandes humanes d'aliments, aigua, energia i materials, així com de la necessitat d'espai per a pobles, ciutats i infraestructures. Aquestes demandes són satisfetes en la seva majoria per uns pocs sectors clau com l'agricultura, silvicultura, pesqueria, mineria, indústria, construcció, transport, aigua i energia.



*Figura 2: Índice Planeta Vivo global entre 1970 y 2016  
Font: Informe Planeta Vivo (WWF, 2020)*

Segons l'informe "Planeta Vivo", les amenaces antropogèniques directes a la biodiversitat és poder agrupar en cinc categories (Kuznetsova, 2017):

- Pèrdua i degradació de l'hàbitat (45,4%): Modificació de l'ambient en el qual viu l'espècie, a causa de la seva completa eliminació, la seva fragmentació o la disminució de la qualitat o de les característiques essencials de l'hàbitat.
- Sobreexplotació de les espècies (27,6%): Conseqüència de l'explotació directa o indirecta que supera la capacitat reproductiva de les poblacions
- Contaminació (8,1%): Pot afectar directament a les espècies, convertint l'ambient en un medi insostenible per a la seva supervivència, i de forma indirecta, quan altera la disponibilitat d'aliments i la reproducció, el que provoca una reducció gradual de la població.
- Espècies invasores (9,1%): Éssers vius que són portats a una altra part del món en forma deliberada o involuntària, poden competir amb les espècies natives per l'espai, aliments i altres recursos, poden convertir-se en depredadors o propagar malalties que abans no existien en el lloc inicial
- Canvi climàtic (9,7%): Donat als nivells creixents de gasos d'efecte hivernacle en l'atmosfera, és potencialment, l'amenaça més grossa per a la biodiversitat en les pròximes dècades. És difícil preveure l'impacte futur a escala local, però qualsevol ecosistema pot ser susceptible als canvis de temperatura o dels patrons climàtics. Algunes espècies hauran d'adaptar-se i modificar els seus rangs per a trobar climes apropiats. Els efectes del canvi climàtic en les espècies solen ser indirectes: els canvis en les temperatures poden crear confusió respecte als senyals que inauguren els fenòmens estacionals, com són la migració i la reproducció.

En la figura 3, es pot apreciar quins són els percentatges d'amenaques en diferents ecosistemes, on podem veure que els ecosistemes d'aigua dolça són els ecosistemes més sensibles a la contaminació i els ecosistemes marins, són els més sensibles al canvi climàtic



Figura 3: Diferencias en les freqüències de les amenaces dins dels ecosistemes  
Font: Kuznetsova, 2017

També podem trobar causes indirectes de la pèrdua de biodiversitat com ara:

- El nombre total de consumidors, o població
- La quantitat consumida per cada persona o consum, que al seu torn depèn del nivell d'ingressos o consciència del consum
- L'eficiència en l'ús de recursos, la qual afecta la mida de la petjada ecològica de tots els productes que es consumeixen

## 2.4.2 La biodiversitat a Barcelona

A Barcelona, l'any 2019, hi podíem trobar 3659 hectàrees de cobertura vegetal identificada amb l'índex NDVI (índex de vegetació de diferència normalitzada) (Figura 4). El NDVI mostra la quantitat, qualitat i desenvolupament de la vegetació a través d'una imatge generada de la coberta vegetal vista des de l'aire.

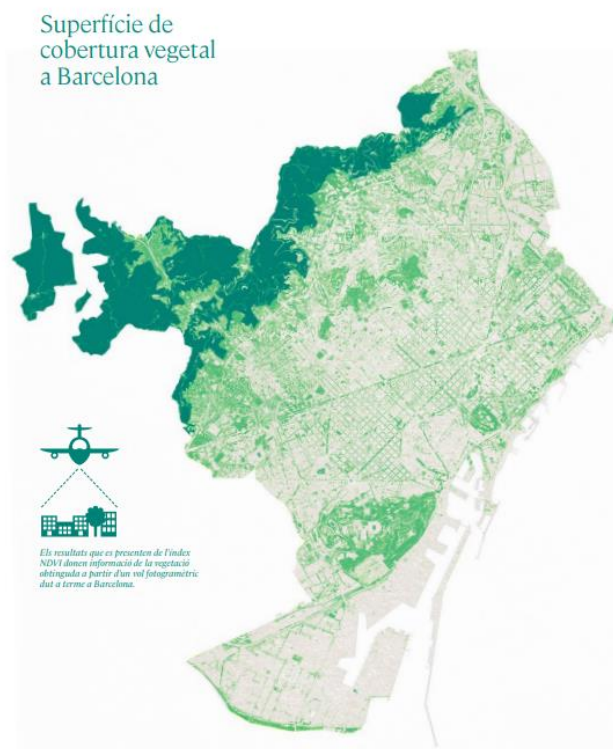


Figura 4: Superfície de cobertura vegetal a Barcelona  
Font: Pla natura Barcelona (2020)

La superfície verda pública a Barcelona és de 2870 hectàrees. Un 41% és verd urbà (1171 hectàrees) i un 59% és verd forestal del parc natural de la serra de Collserola (1699 hectàrees).

En el 2020 hi havia una ràtio de verd públic de 7 m<sup>2</sup> de verd urbà per habitant sense contar Collserola i 17,22 m<sup>2</sup> per habitant si contem Collserola (Figura 5). Aquests espais verds públics es classifiquen en espais patrimonials, urbans i de biodiversitat.

*Efectes dels gasos contaminants sobre la salut humana i la biodiversitat en nuclis urbans i morbiditat de l'aparell respiratori causada per l'O3 a Barcelona*

DISTRICTES	VERD URBÀ (HA)	VERD FORESTAL COLLSEROLA (HA)	TOTAL VERD (HA)	M² VERD TRAMA URBANA/HAB.	M² VERD AMB COLLSEROLA/HAB	HABITANTS 2020
Ciutat Vella	63,4		63,4	5,85	5,85	108.331
L'Eixample	54,3		54,3	2,01	2,01	270.694
Sants-Montjuïc	327,9		327,9	17,48	17,48	187.584
Les Corts	80,6	46	126,6	9,75	15,32	82.635
Sarrià-Sant Gervasi	93,9	1.063	1.156,9	6,21	76,54	151.157
Gràcia	43,2	13	56,2	3,49	4,54	123.651
Horta-Guinardó	141	394	535	8,07	30,61	174.799
Nou Barris	119	183	302	6,84	17,35	174.012
Sant Andreu	63,8		63,8	4,20	4,20	151.976
Sant Martí	184,1		184,1	7,62	7,62	241.691
Total	1.171	1.699	2.870	7,03	17,22	1.666.530

*Figura 5: Tipus de verd per districtes i m² de verd per habitant  
Font: Pla natura Barcelona et al. (2020, p.16)*

També s'inclou a la infraestructura verda:

- El riu Besòs, el riu Llobregat i el mar, en els límits o a tocar del terme municipal: 4780 m de platges i 83 hectàrees d'esculls marins.
- 453 horts urbans
- 10 cementiris
- Verd privat
- 247789 arbres en trama urbana i en parcs i jardins

Dins de Barcelona podem trobar (Pla natura Barcelona, 2020 i atlas de biodiversitat):

- 454 espècies d'arbres
- 83 espècies d'aus que fan el seu niu
- 39 espècies de papallones
- 30 tipus de vertebrats
- 44 espècies reconegudes en estancs naturalitzats
- 1191 Flora ornamental (inclòs arbrat)
- +200 herbes urbanes
- 113 tipus de líquens

- 19 tipus de mamífers autòctons
- 10 rèptils autòctons
- 3 espècies d'amfibis autòctons
- 73 tipus llimacs de mar autòctons
- 48 tipus d'aranyes

## 2.5 Gasos contaminants i els seus efectes en la salut humana

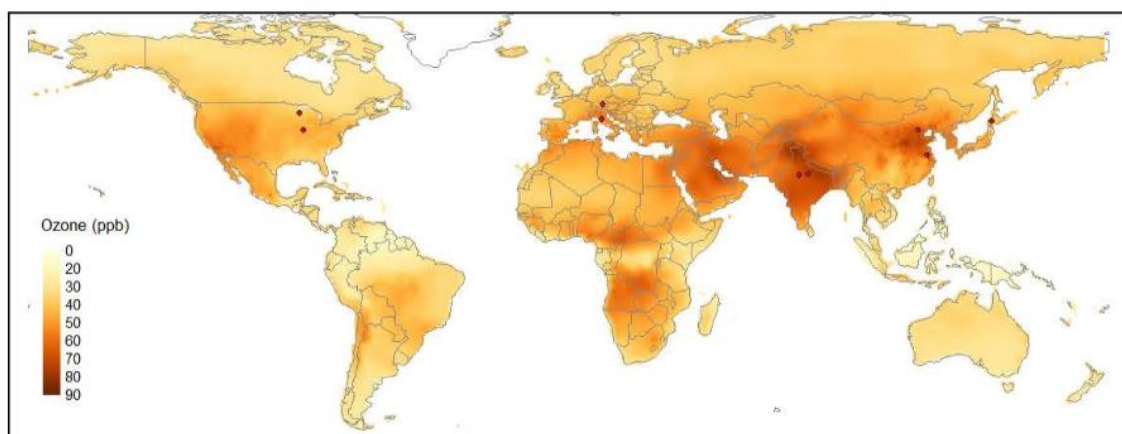
En aquest apartat es mostren els gasos contaminants presents en les ares urbanes i s'expliquen els seus efectes sobre la salut humana, on les malalties o termes menys coneguts, s'expliquen al Annex 2.

### 2.5.1 O<sub>3</sub>

L'ozó és un gas contaminant i un potent gas d'efecte hivernacle amb efectes directes i indirectes sobre la vegetació i la salut humana. Com un dels oxidants més reactius coneguts, l'O<sub>3</sub> es forma a la part baixa de l'atmosfera a partir de reaccions químiques de gasos precursors, inclosos òxids de nitrogen (NO<sub>x</sub>), monòxid de carboni (CO) i compostos orgànics volàtils (COV).

L'ozó es perd per destrucció química a l'atmosfera i per deposició a les superfícies, inclosa la vegetació. Els nivells locals de contaminació per O<sub>3</sub> i la vida a l'atmosfera de l'O<sub>3</sub> varien amb les concentracions relatives de molècules precursoras de fonts locals i de llarg abast i condicions meteorològiques com la radiació, la temperatura i la humitat atmosfèrica.

La vida mitjana global de l'O<sub>3</sub> és d'aproximadament 25 dies a la troposfera i disminueix a menys de 5 dies a l'estiu a la capa límit superficial. Si bé les concentracions màximes d'O<sub>3</sub> a Europa i Amèrica del Nord han disminuït des de la dècada de 1980 en resposta a la legislació i les estratègies de reducció d'emissions, l'exposició a l'O<sub>3</sub> està augmentant a escala mundial amb impactes significatius per a la salut humana.(Figura 6) (Montes, 2022)



*Figura 6: Nivells mundials d'Ozó*  
*Font: The Plant Journal (2022) 109, 432–446*

L'Ozó en l'estratosfera, o ozó bo, es troba naturalment en la part altra de l'atmosfera, on forma una capa protectora que cobreix els éssers vius dels raigs ultraviolats perjudicials que emet el sol. Aquest ozó bo ha sigut parcialment destruït per químics de procedència antropogènica, causant el que és conegut com el forat d'ozó, però actualment, s'està recuperant aquest ozó bo.

L'Ozó en l'àmbit superficial és un gas contaminant perillós per a la salut i l'entorn i és un dels components principals del "smog". Aquest ozó no és emès directament a l'aire, sinó que és creat per reaccions químiques entre els òxids de nitrogen ( $\text{NO}_x$ ) i els compostos orgànics volàtils (COV). Això ocorre quan els gasos contaminants emesos pels vehicles, plantes elèctriques, calderes industrials, refineries, indústries químiques, i altres fonts de químics reaccionen amb la presència de llum solar, tal i com mostra l'esquema visual de la figura 7.

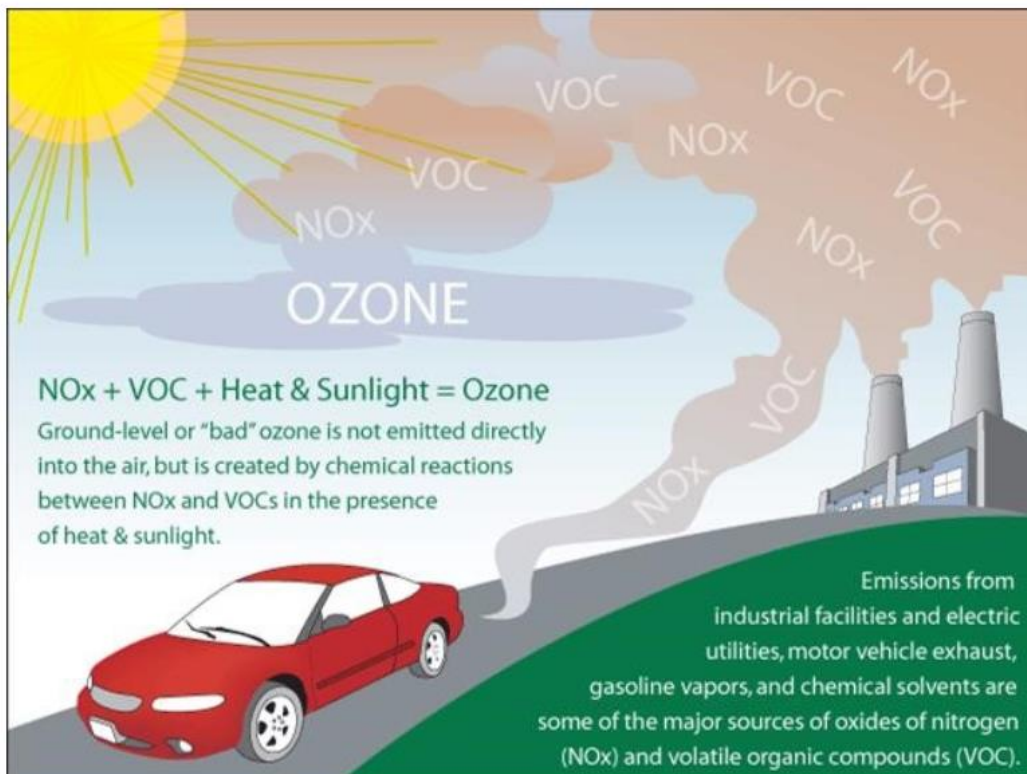


Figura 7: Esquema de la formació d'ozó  
Font: EPA, 2021



## Efectes en la salut dels éssers humans

L'O<sub>3</sub> i altres oxidants causen una sèrie d'efectes aguts, com ara irritació d'ulls, nas i gola, molèsties al pit, tos i mal de cap. Aquests s'han associat amb nivells d'oxidants per hora d'uns 200 µg/m<sup>3</sup>.

També, s'ha observat un augment de la incidència d'atacs asmàtics i símptomes respiratoris en asmàtics exposats a nivells de 160-300 µg/m<sup>3</sup> d'O<sub>3</sub>. (European Environment Agency, 2016)

Els efectes de respirar ozó a nivell del sol en la majoria de la població serien els següents:

- Inducció de símptomes respiratoris
- Disminució de la funció pulmonar (160-300 µg/m<sup>3</sup> d'O<sub>3</sub>)
- Inflamació de les vies respiratòries

L'efecte fisiològic predominant de l'exposició a l'ozó a curt termini és no poder inhalar fins a la capacitat pulmonar total. Els estudis d'exposició controlada en humans han demostrat que l'exposició a curt termini, fins a 8 hores, provoca disminucions de la funció pulmonar, com ara reduccions del volum respiratori forçat en un segon (FEV<sub>1</sub><sup>1</sup>) i els següents símptomes respiratoris:

- Tos
- Irritació de la gola
- Dolor, ardor o molèsties al pit en respirar profundament
- Opressió al pit, sibilàncies<sup>2</sup> o dificultat per respirar

Els efectes són reversibles, amb una millora i recuperació que varia d'unes poques hores a 48 hores després d'una exposició elevada d'ozó.

A més d'aquests efectes, les concentracions diàries d'ozó més altes s'associen amb un augment dels atacs d'asma, un augment dels ingressos als hospitals, un augment de la mortalitat diària i altres marcadors de morbiditat. La consistència i la coherència de l'evidència dels efectes sobre els asmàtics suggereix que l'ozó pot empitjorar els símptomes de l'asma i augmentar la sensibilitat a tindre l'asma.

En la figura 8 es poden apreciar una piràmide dels efectes del ozó més aguts, passant per asma i ingrés hospitalari, fins a la mort en concentracions molt altes.

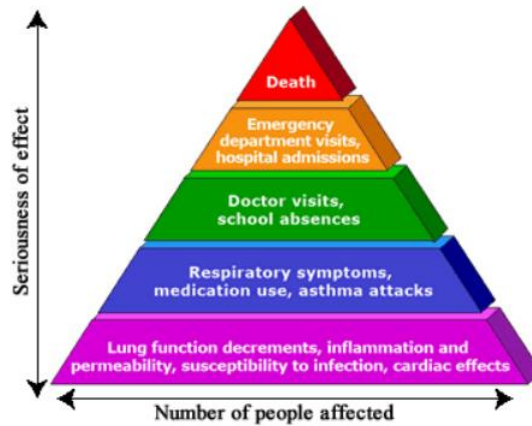


Figura 8: Piràmide dels efectes causats per l'Ozó  
Font: EPA,2021

Hi existeix una gran variabilitat a la resposta dels individus a l'exposició d'ozó a curt termini: Per exemple, per a una exposició de 2 hores a 400 ppb ( $790 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) d'ozó que inclou 1 hora d'exercici intens, una persona poc sensible pot experimentar cap símptoma o canvis en la funció pulmonar mentre que una persona més sensible pot experimentar una disminució del 50% del FEV1 i tenir tos severa, dificultat per respirar o dolor a l'hora d'inspirar profundament. Un rang similar de resposta és evident per a una exposició de 6,6 hores a 80 ppb ( $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) amb 5 hores d'activitat moderada.

Altres respostes individuals porten al que sembla ser una distribució unimodal entre aquests dos extrems. Els que solen desenvolupar símptomes després d'un dia d'exposició, també tornaran a desenvolupar símptomes després de la reexposició. De la mateixa manera, aquells amb símptomes aguts després d'un dia d'exposició, tendeixen a tenir símptomes aguts després de la reexposició.

Una petita fracció de la variabilitat observada en la funció pulmonar i la resposta dels símptomes es pot explicar per les diferències en l'edat i en l'índex de massa corporal (IMC<sup>3</sup>) amb adults joves (d'adolescents, fins a trenta anys) i aquells amb un IMC alt que són molt més sensibles que els adults més grans (dels 50 als 80 anys) i aquells amb un IMC baix. També es troben resultats similars als de la figura 9 amb exposicions de llarga durada a concentracions més importants per als nivells ambientals (per exemple, en un rang de 60 a 120 ppb ( $118 \mu\text{g}/\text{m}^3$  a  $237 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )).

També existeixen diferències individuals en la intensitat de la resposta inflamatòria, i sembla que aquestes diferències també són constants al llarg del temps. Les diferències poden ser resultat dels factors genètics o de l'entorn.

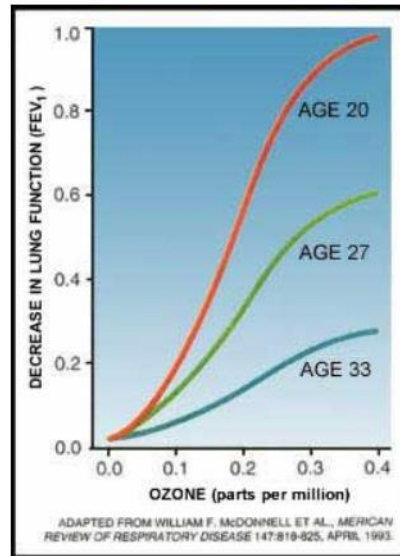


Figura 9: Sensitivitat a l'ozó dependent de l'edat  
Font: EPA,2021

Els estudis sobre els efectes de l'ozó en la mortalitat mostren:

- L'ozó s'associa a un augment de la mortalitat
- L'efecte absolut de l'ozó sobre la mortalitat és considerablement més gran en la gent gran
- La relació ozó-mortalitat és més destacada durant dies càlids

La investigació epidemiològica ha demostrat que tant les exposicions a curt termini com a llarg termini a baixes concentracions de contaminació per partícules, un contaminant de l'aire comú, s'associen a un augment de la mortalitat. La reavaluació de les dades en què es basen aquestes troballes, així com els nous estudis, indiquen que l'exposició a curt termini a l'ozó també s'associa amb un augment de la mortalitat diària.

L'estudi més representatiu de la població dels EUA (Bell et al 2004) va avaluar les relacions entre els recomptes diaris de mortalitat i la concentració d'ozó ambiental per a 95 comunitats dels EUA durant els anys 1987-2000. Tot i que hi va haver una heterogeneïtat considerable en la magnitud de l'efecte entre les diferents comunitats, es va observar un excés de risc global del 0,5% en la mortalitat diària no accidental per cada augment de 20 ppb (40 µg/m<sup>3</sup>) en la concentració mitjana d'ozó de 24 hores (aproximadament igual a un augment de 30 ppb (60 µg/m<sup>3</sup>)). en la mitjana de 8 hores en el mateix dia. Hi va haver evidència que l'efecte va ser més gran el dia de l'exposició, amb efectes residuals més petits que van ser evidents durant diversos dies. Es va observar un excés de risc acumulat de l'1,04% per cada augment de 20 ppb (40 µg/m<sup>3</sup>) de la concentració mitjana de 24 hores durant la setmana anterior. La relació ozó-mortalitat va ser ferma fins i tot després de controlar els possibles efectes de les partícules i altres contaminants de l'aire.

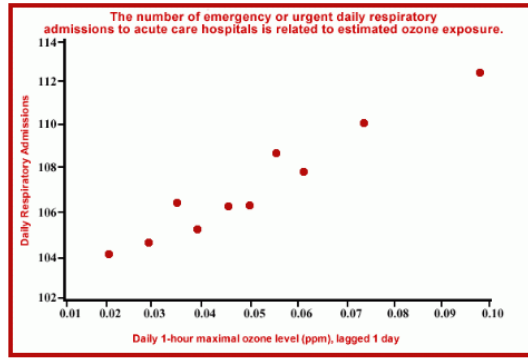
Tot i que les estimacions del risc de la mortalitat per ozó tendeixen a ser només lleugerament més altes per a la població més gran en comparació amb la població més jove (basades principalment en estudis de Medicare de persones de 65 anys o més), l'efecte absolut de l'ozó sobre la mortalitat és considerablement més gran en les persones de la tercera edat a causa de les seves majors taxes de mortalitat de referència. Fins i tot per a la gent de la tercera edat, el risc de morir un determinat dia com a resultat de l'exposició a l'ozó és bastant petit.

Altres observacions fetes en aquests estudis inclouen la constatació que la relació ozó-mortalitat és més destacada durant l'estiu, amb pocs o menors efectes a l'hivern. Això pot ser degut a que, com s'ha vist abans, per a formar  $O_3$ , es necessita llum solar, llavors com que a l'hivern la incidència del sol és menor que a l'estiu, això pot afectar d'alguna manera a la taxa de mortalitat. També sembla que l'associació ozó-mortalitat persisteix quan les morts es limiten a les causades per malalties cardíaques o pulmonars o a aquelles causades únicament per malalties cardiovasculars. Hi existeix una relació entre l'ozó i altres aspectes de la fisiopatologia cardiovascular, com ara la variabilitat de la freqüència cardíaca, l'infart agut de miocardi i les taquiarrítmies<sup>4</sup> en aquells amb dispositius cardíacs implantats.

Hi ha proves epidemiològiques consistents que els nivells d'ozó ambiental estan associats amb altres marcadors de morbiditat respiratòria, especialment durant l'estiu. En general, els estudis han informat de relacions positives entre les concentracions d'ozó a curt termini i els ingressos hospitalaris i les visites a urgències per causes respiratòries. Tot i que no tots els estudis han trobat efectes significatius, les estimacions de risc per a la majoria d'estudis són positives. És probable que els que tenen més risc de patir una morbiditat respiratòria greu siguin aquells amb malaltia respiratòria subjacent, ja que tenen més probabilitats de que la malaltia que tenen es desenvolupi encara més. L'evidència indica que part de l'augment de les visites hospitalàries per morbiditat respiratòria es deu a exacerbacions de l'asma i possiblement a la malaltia pulmonar obstructiva crònica (MPOC<sup>5</sup>). A causa del petit nombre d'ingressos hospitalaris diaris, els efectes de l'ozó en altres subcategories de malalties respiratòries no estan clars. (EPA, 2021)

En la figura 10 es poden veure les tasses d'ingressos per causes respiratòries a 168 hospitals a Ontario, Canadà del 1983 al 1988. L'eix de les x, són els nivells d'ozó diari en 1 hora. Les tasses d'admissió van ser ajustades per patrons estacionals, efectes del dies de la setmana i efectes hospitalaris. Es pot observar una clara relació entre l'augment dels nivells d'ozó amb les admissions hospitalàries.

*Efectes dels gasos contaminants sobre la salut humana i la biodiversitat en nuclis urbans i morbiditat de l'aparell respiratori causada per l'O3 a Barcelona*



*Figura 10: Relació entre els ingressos hospitalaris diaris per causes respiratoris amb el nivell d'ozó*  
*Font: EPA, 2022*

## 2.5.2 PM

PM o partícules en suspensió, és una barreja de partícules sòlides i gotes líquides que es troben a l'aire. Algunes partícules, com la pols, la brutícia, el sutge o el fum, són prou grans o fosques per ser vistes a simple vista. Altres són tan petites que només es poden detectar mitjançant un microscopi electrònic.

La mida de les partícules està directament relacionada amb el seu potencial per causar problemes de salut. Les partícules de 10 micròmetres de diàmetre o més petites són les partícules que generalment passen per la gola i el nas i entren als pulmons. Un cop inhalades, aquestes partícules poden afectar el cor i els pulmons i causar greus efectes sobre la salut.

Aquestes partícules tenen moltes mides i formes i poden estar formades per centenars de productes químics diferents. Alguns s'emeten directament d'una font, com ara les obres, les carreteres sense asfaltar, els camps, les xemeneies o els incendis.

La majoria de partícules es formen a l'atmosfera com a resultat de reaccions complexes de productes químics com el diòxid de sofre i els òxids de nitrogen, que són contaminants emesos per les centrals elèctriques, les indústries i els automòbils (Figura 11).

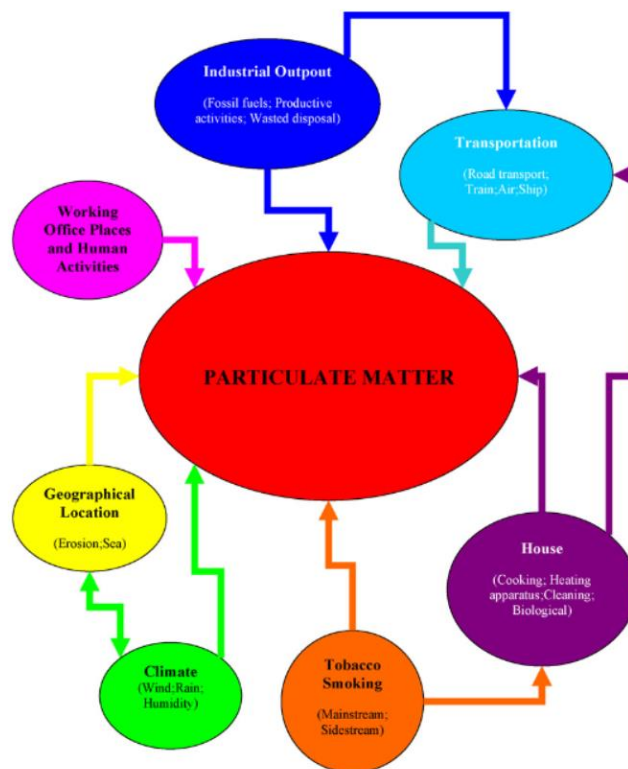


Figura 11: Possibles fonts de PM  
Font: Polichetti, 2009

Podem agrupar en dues categories les partícules en suspensió (EPA, 2021):

- PM<sub>10</sub>: partícules inhalables, amb diàmetres d'entre 2,5 i 10 micròmetres. Es poden trobar a prop de carreteres.
- PM<sub>2,5</sub>: partícules fines inhalables, amb diàmetres generalment de 2,5 micròmetres o menors que són emeses d'incendis forestals o es poden formar quan els gasos emesos per les indústries o vehicles reaccionen amb l'aire.

En la figura 12, es pot apreciar la mida de les partícules en suspensió respecte un cabell humà, que és un dels objectes més petits que la nostra vista pot apreciar. En un cabell humà té el gruix de 5 partícules de 10 micròmetres i de 20 partícules de 2,5 micròmetres.

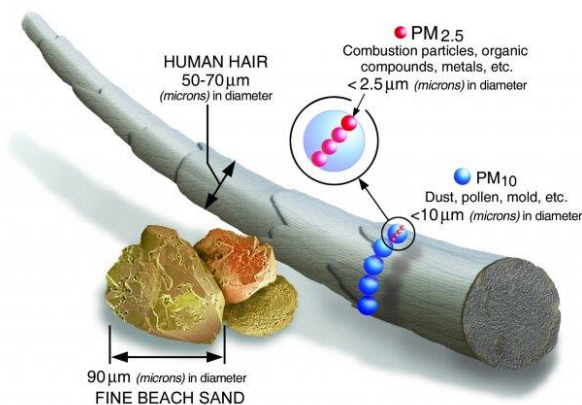


Figura 12: Comparació del PM respecte altres objectes  
Font: EPA, 2021

En la figures 13 es pot veure diferents composicions de les partícules en suspensió, on es pot veure que les partícules més fines (< 2,5 micròmetres) solen ser d'origen antropogènic mentre que les més grosses (7,5 micròmetres) tenen una procedència natural.

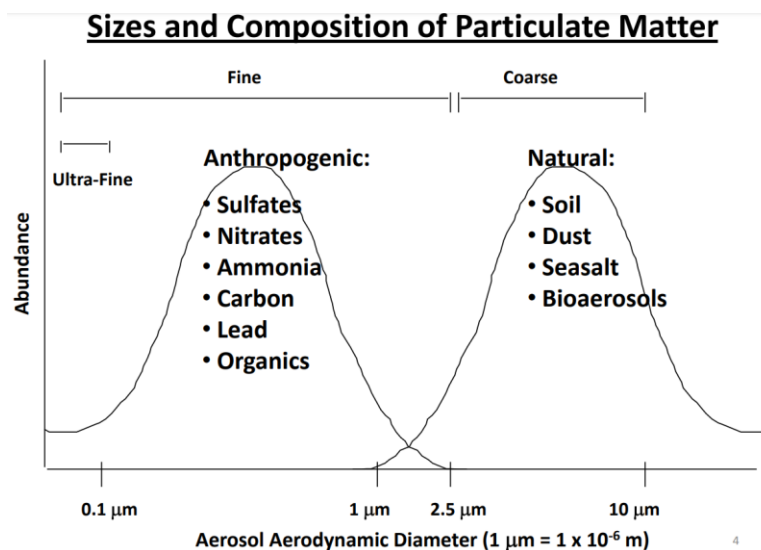


Figura 13: Mida i composició del PM  
Font: EPA Air Quality Communication Workshop, 2012

També podem trobar contaminació de PM en interiors, on part de les partícules provenen de l'exterior, especialment PM<sub>2,5</sub>. Aquestes partícules entren als espais interiors a través de portes, finestres i "fuites" a les estructures d'edificis. Les partícules també poden originar-se de fonts interiors. Les partícules d'origen interior inclouen components derivats de fonts biològiques, molts dels quals són al·lèrgens coneguts, com ara pò·l·lens, espores de floridura, àcars de pols i paneroles. Les activitats a l'interior també generen partícules, com ara fumar tabac, cuinar i cremar llenya, espelmes o encens. Les partícules també es poden formar a l'interior a partir de reaccions complexes de gasosos contaminants emesos per fonts com podrien ser productes de neteja per a la llar i ambientadors.

## Efectes en la salut dels éssers humans

La mida de les partícules està directament relacionada amb el seu potencial per causar problemes de salut. Les partícules petites de menys de 10 micròmetres de diàmetre representen els problemes més grans, perquè poden entrar profundament als pulmons i algunes fins i tot poden entrar al corrent sanguini.

Els efectes sobre la salut poden incloure efectes cardiovasculars com arrítmies cardíques i atacs cardíacs, i efectes respiratoris com atacs d'asma i bronquitis. L'exposició a la contaminació per partícules pot provocar un augment dels ingressos hospitalaris, visites a urgències, les absències a l'escola o la feina i els dies d'activitat restringides, especialment per a aquells amb malalties cardíques o pulmonars preexistents, persones grans i nens. Nombrosos estudis científics han relacionat exposició a la contaminació per partícules a una varietat de problemes, com ara (EPA, 2012):

- Mort prematura en persones amb malaltia cardíaca o pulmonar
- Atacs cardíacs no mortals
- Batec cardíac irregular
- Engravament de l'asma
- Disminució de la funció pulmonar
- Augment dels símptomes respiratoris, com ara irritació de les vies respiratòries, tos o dificultat per respirar. Pot produir bronquitis crònica en exposicions de llarga durada
- Les partícules gruixudes (PM 10-2,5) són menys preocupants, tot i que poden irritar els ulls, el nas i la gola d'una persona.
- Irritació ocular
- Irritació pulmonar i de gola
- Càncer de pulmó
- Problemes amb els nadons en néixer (per exemple, baix pes en néixer)



Com s'acaba de comentar, les PM són un risc per a la salut cardiovascular i existeixen les següents hipòtesis que explicarien com aquestes són un perill per al sistema cardiovascular (Polichetti, 2009):

1. Les partícules inhalades, dipositades als pulmons, provoquen un grau baix d'inflamació que, posteriorment, provoquen inflamacions alveolars. Condició que eventualment porta a danys als teixits de persones amb problemes cardiovasculars previs (Seaton et al., 1995).
2. El curt període de temps que transcorre entre l'exposició a PM i els primers símptomes cardiovasculars han estat explicats per l'evidència que les partícules de mida més petita, és a dir, les partícules ultrafines, s'absorbeixen ràpidament i passen directament al sistema circulatori, creant així un perill directe al sistema mateix (Godleski et al., 2000).
3. Donat el vincle rellevant entre l'exposició a PM i l'activitat del sistema nerviós, s'ha postulat que l'impacte PM del sistema nerviós pot provocar taquiarrítmies o alteració del to vascular<sup>6</sup> coronari (Godleski et al., 2000, Donaldson et al., 2005)

Els grups d'individus amb més risc quan estan exposats a contaminació per partícules en suspensió serien els següents:

- Menors d'edat: Els seus pulmons encara estan en un procés de desenvolupament i passen temps a l'aire lliure amb una activitat física elevada
- Persones de la tercera edat: Poden tindre problemes cardíacs o pulmonars que no han sigut diagnosticats
- Persones amb problemes cardiovasculars o pulmonars: La contaminació de PM agreuja aquests problemes
- Persones que treballen o fan esport a l'aire lliure: Els quals respiren amb més freqüència que les persones sedentàries

Atès que la major part de la població mundial està potencialment exposada a PM en totes les seves possibles fraccions, l'Organització Mundial de la Salut (OMS) ha estimat 800.000 morts cada any causades per PM (OMS, 2002).

Un estudi realitzat a 19 ciutats europees ha estimat que una mera reducció de les concentracions de PM<sub>10</sub> en només 5 µg/m<sup>3</sup> evitaria entre 3300 i 7700 morts a l'any (Medina et al., 2004). A més, mentre que un estudi informa que un augment de l'exposició a PM<sub>2,5</sub> de 10 µg/m<sup>3</sup> s'associa amb un augment del risc de mortalitat que oscil·la entre el 8% i el 18% (Pope et al., 2004), altres evidències no revelen cap mena d'associació entre l'augment del risc de mortalitat per malalties cardiovasculars i les concentracions de PM<sub>10</sub> (Abbey et al., 1999). Un estudi recent ha indicat que la reducció

de la taxa de mortalitat associada a PM observada a la dècada de 1990, en contraposició a l'observada a mitjans de la dècada de 1970 i mitjans de la dècada de 1980, es va deure principalment a una disminució de les concentracions ambientals de  $PM_{2,5}$  (Laden et al., 2006). Aquests resultats suggereixen que l'efecte de les  $PM_{2,5}$  sobre la taxa de mortalitat podria ser degut a una exposició aguda en lloc de crònica. De manera consistent, altres estudis han confirmat que un augment dels nivells ambientals de  $PM_{10}$  augmenta les taxes de mortalitat per causes cardiovasculars (Ponka et al., 1998; Lee et al., 2000; Le Tertre et al., 2002; Zanobetti et al., 2002; 2003).

### 2.5.3 SO<sub>x</sub>

Els estàndards nacionals de qualitat de l'aire ambiental de l'EPA per al SO<sub>2</sub> estan dissenyats per protegir contra l'exposició a tot el grup d'òxids de sofre (SO<sub>x</sub>). El SO<sub>2</sub> és el component més preocupant i s'utilitza com a indicador del grup més gran d'òxids de sofre gasosos (SO<sub>x</sub>). Altres tipus de SO<sub>x</sub> (com el SO<sub>3</sub>) es poden trobar a l'atmosfera a concentracions molt inferiors al SO<sub>2</sub>.

Les mesures de control que fan reduir el SO<sub>2</sub>, no tant sol redueixen l'exposició de les persones a aquest gas, sinó a tots els gasos de la família dels SO<sub>x</sub>. Això pot tenir un important benefici a l'hora de reduir la formació de partícules contaminants de sofre, com ara partícules fines de sulfat.

Les emissions que condueixen a concentracions elevades de SO<sub>2</sub> en general també condueixen a la formació d'altres SO<sub>x</sub>. La font més gran de SO<sub>2</sub> a l'atmosfera és la combustió de combustibles fòssils per centrals elèctriques i altres instal·lacions industrials. Les fonts més petites d'emissions de SO<sub>2</sub> inclouen: processos industrials com extreure metall del mineral; fonts naturals com els volcans; i locomotores, vaixells i altres vehicles i equipament pesat que cremen combustible amb un alt contingut de sofre (Figura 14) (EPA, 2021).

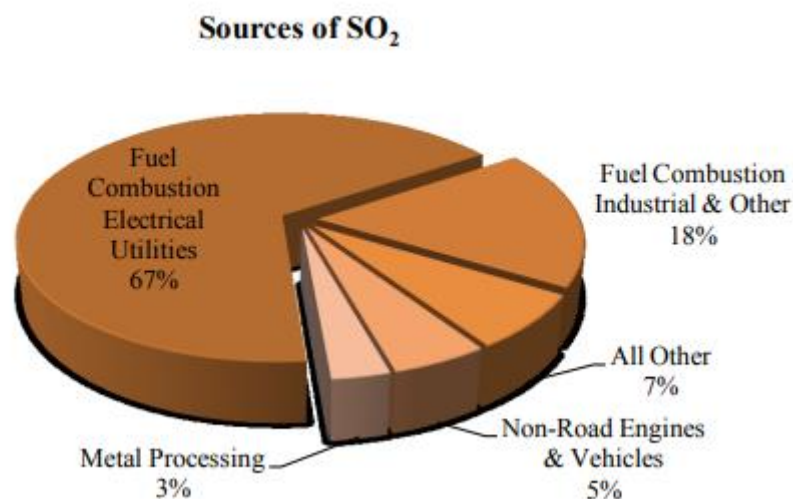


Figura 14: Gràfic de les principals fonts d'emissió de SO<sub>2</sub>  
Font: U.S. EPA

### Efectes en la salut dels éssers humans

El 95% dels SO<sub>x</sub> emesos per la combustió de combustibles fòssils és diòxid de sofre. El SO<sub>2</sub> és un gas tòxic, que és directament nociu per a la salut humana. És més pesat que l'aire i té una olor sufocant a una concentració atmosfèrica d'unes 500 ppb (1310 µg/m<sup>3</sup>),

nivell en el qual pot ser mortal. A nivells més baixos, es poden experimentar (EGCSA, 2021):

- Dolors al pit
- Problemes respiratoris
- Irritació dels ulls, gola i oïda
- Resistència reduïda a les malalties del cor i dels pulmons
- Sibilàncies
- Dissolució de la humitat de la mucosa

A 20 ppb ( $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) o menys no hi hauria d'haver efectes nocius per a una persona sana. La concentració de fons atmosfèrica normal de  $\text{SO}_2$  és generalment inferior a 10 ppb ( $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Un efecte secundari és la formació de sulfats (i nitrats), en forma d'aerosols o partícules molt fines en l'aire, que poden constituir una proporció important de les partícules i que s'han relacionat amb un augment dels atacs d'asma, malalties cardíaques i pulmonars i problemes respiratoris en grups de població susceptibles.

Un tercer efecte es pot produir més lluny de la font d'emissió on els òxids de sofre s'hauran convertit en àcids per reaccions en fase aquosa a l'atmosfera. Aquests aerosols àcids s'acaben precipitant en forma de pluja àcida, neu, nevis o boira, però només quan es troben amb les condicions meteorològiques adequades. En absència de contaminació provocada per l'home, l'aigua de pluja seria lleugerament àcida, al voltant de pH 5, a causa de la presència d'àcid carbònic de la interacció del vapor d'aigua i els nivells naturals de  $\text{CO}_2$ . La pluja àcida, en canvi, s'ha mesurat amb nivells de pH inferiors a 3 corresponents al vinagre.

Els grups de persones més susceptibles a la contaminació de  $\text{SO}_2$  són (National Park Service, 2018):

- Les persones amb malalties pulmonars, com l'asma, la bronquitis crònica i l'emfisema, generalment tindran efectes sobre la salut més greus a nivells més alts de  $\text{SO}_2$ .
- Els nens tenen un risc més elevat d'exposició al  $\text{SO}_2$  perquè els seus pulmons encara es desenvolupen. També tenen més probabilitats de tenir asma, que pot empitjorar amb l'exposició al  $\text{SO}_2$ .
- La gent de la tercera edat poden veure's més afectats per l'exposició al  $\text{SO}_2$ , possiblement perquè tenen més probabilitats de tenir una malaltia pulmonar o cardiovascular preexistent.

- Les persones actives de totes les edats que fan exercici o treballen a l'aire lliure tenen una exposició més alta al diòxid de sofre que les persones que són menys actives.

La relació causal entre la morbiditat respiratòria i l'exposició a curt termini de SO<sub>2</sub> es basa en gran part en els resultats d'estudis controlats d'exposició humana amb asmàtics fent exercici. Aquests estudis mostren que els individus asmàtics exposats a concentracions de SO<sub>2</sub> tan baixes com 200-300 ppb (524-786 µg/m<sup>3</sup>) durant 5-10 minuts mostra una broncoconstricció moderada o més gran, mesurada com una disminució en FEV1 ≥ 15% o un augment de la sRaw<sup>7</sup> ≥ 100% després d'una correcció per respostes induïdes per l'exercici en aire net. Entre els asmàtics, tant el percentatge d'individus afectats, com la severitat de la resposta, augmenta amb l'augment de les concentracions de SO<sub>2</sub>. En general, s'observa associacions positives entre les concentracions de SO<sub>2</sub> ambient i símptomes respiratòries, així com les hospitalitzacions per totes les causes respiratòries (particularment entre els nens i els adults grans) i asma.

L'efecte del SO<sub>2</sub> sembla independent de la presència simultània d'altres contaminants gasosos, incloent-hi NO<sub>2</sub> i O<sub>3</sub>, però pel que fa a PM<sub>10</sub>, l'evidència sobre un efecte de SO<sub>2</sub> independent en la salut respiratòria, és menys consistent (Centro nacional del medio ambiente de Chile, 2015).

## 2.5.4 CO

El CO és un gas incolor i inodor que pot ser nociu quan s'inhala en grans quantitats. S'allibera CO quan es crema algun producte i les emissions de CO són més altes durant les estacions més fredes. Les principals fonts de CO a l'aire exterior són els cotxes, camions i altres vehicles o maquinària que cremen combustibles fòssils. Molts productes que hi ha a les llars, com ara querosè i escalfadors de gas sense ventilació, xemeneies i forns amb fuites i estufes de gas també alliberen CO i poden afectar la qualitat de l'aire a l'interior.

Les principals fonts de CO bàsicament serien (Figura 15)(EPA, 2021):

- Escalfadors de gas i querosè sense ventilació
- Fuites de xemeneies i forns
- Forns de contracorrent , escalfadors d'aigua de gas, estufes de llenya i xemeneies
- Estufes de gas
- Generadors i altres equips que funcionen amb gasolina
- El fum del tabac
- Tub d'escap d'automòbils, camions o autobusos des de garatges annexes, carreteres properes o zones d'aparcament
- Oxidació incompleta durant la combustió a les cuines de gas, i escalfadors de gas o querosè sense ventilació
- Elements de combustió desgastats o mal ajustats i mantinguts (per exemple, calderes, forns); o si el tub del fum està mal dimensionat, bloquejat o desconnectat; o si el tub del fum té fuites

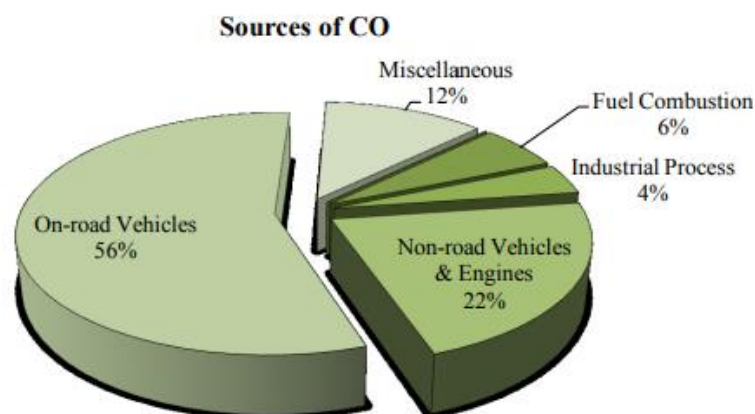


Figura 15: Gràfic de les principals fonts d'emissió de CO  
Font: U.S. EPA

## Efectes en la salut dels éssers humans

El CO és tòxic per la seva capacitat d'interferir amb el lliurament d'oxigen a concentracions elevades. El CO s'inhala des dels pulmons al torrent sanguini. Com que l'afinitat del CO per l'hemoglobina (Hb) és de 230 a 270 vegades més gran que la de l'oxigen, la COHb es forma als eritròcits<sup>8</sup>:  $\text{CO} + \text{Hb} \rightarrow \text{COHb}$

La formació de COHb a la sang depèn de diversos factors, com ara la concentració de CO inhalat, la durada de l'exposició, la ventilació pulmonar, l'exercici i de la salut de l'individu (Kinoshita et al., 2020). La hipòxia tissular<sup>9</sup> és el principal efecte tòxic de la intoxicació aguda per CO a causa de la formació de COHb. Provoca una disminució de la capacitat de transport d'oxigen, donant lloc a una oxigenació insuficient a escala dels teixits. Els símptomes típics de la intoxicació per CO són:

A concentracions baixes (4,5-12,4 ppm (5,5 mg/m<sup>3</sup>-14,2 mg/m<sup>3</sup>)):

- Fatiga en persones sanes
- Dolor de pit en persones amb cardiopaties

A concentracions moderades (12,5-20 ppm (14,2 mg/m<sup>3</sup>-22,9 mg/m<sup>3</sup>)):

- Angina de pit
- Deteriorament de la visió
- Reducció de la funció cerebral

A concentracions més altes (a partir de 20,1 ppm (23 mg/m<sup>3</sup>)):

- Problemes de visió i coordinació
- Mal de cap
- Mareig
- Confusió
- Nàusees
- Síntomes semblants a la grip que desapareixen després de sortir de casa

L'exposició prolongada provoca danys cerebrals i la mort (Adach et al., 2020). En la figura 16 es pot apreciar els nivells en % de saturació de COHb amb els corresponents símptomes.

COHb (%)	Clinical symptom
<1	normal range (due to endogenous production)
<10	smoker's blood (no symptom)
10–20	headache, fatigue, ear ringing
20–30	headache, weakness, nausea, vomiting
30–40	severe headache, dizziness, nausea, vomiting
40–50	syncope, confusion, increased respiration, and heart rate
50–60	coma, convulsions, depressed respiration
60–70	coma, convulsions, cardiopulmonary depression, often fatal
70<	respiratory failure, death

Figura 16: Nivells de la saturació (%) de COHb i els seus símptomes  
 Font: (Kinoshita et al., 2020)

En les zones urbanes, les altes concentracions de CO inhalat poden tenir un impacte negatiu en la salut humana. Com s'ha vist abans, el CO es forma sovint a causa de la combustió incompleta de compostos que contenen carboni, principalment en motors de combustió interna. Els estudis de Mandal et al., 2011 mostren que entre el 6 i el 20% de les llars de Londres tenen nivells de CO per sobre dels límits superiors de l'Organització Mundial de la Salut (OMS). La incidència mundial d'intoxicació per CO s'ha mantingut estable durant els darrers 25 anys (Kinoshita et al., 2020). A més, els resultats de la Xina mostren que un augment d'1 mg/m<sup>3</sup> de les concentracions de CO es va associar amb un increment d'entre el 2-3% en els anys de vida perduts per causes no accidentals, malalties cardiovasculars, malalties respiratòries, malalties coronàries, ictus i malaltia pulmonar obstructiva crònica, respectivament (Wang et al., 2021). Les associacions eren més sòlides en la gent gran (≥65 anys), les dones, les poblacions amb un baix nivell d'educació i les poblacions que vivien a les regions del sud.

A més, els estudis més recents mostren una forta correlació entre la concentració de contaminants atmosfèrics com el CO i el nombre de casos de SARS-CoV-2. Un informe de (Meo et al., 2021) mostra que la concentració de PM<sub>2,5</sub> va augmentar un 221%, l'O<sub>3</sub> un 20% i la concentració de CO va augmentar un 151% després d'un incendi forestal de Califòrnia. Es va comparar amb el nombre de casos, i les morts per COVID-19 van augmentar un 56,9% i un 148,2%. Un augment de les concentracions ambientals de contaminants tòxics, que es van associar temporalment amb un augment de la incidència i la mortalitat de COVID-19, també podria dependre d'altres motius, com ara la temperatura, la humitat, els canvis en els patrons socials de distanciament social i les reunions massives o l'adhesió a l'ús de mascaretes. No obstant això, els investigadors obtenen resultats similars de Londres (Meo et al., 2021). Una unitat d'AQI (Annex 1) en l'augment del nivell de CO va augmentar significativament el nombre de casos i morts



en un 21,3 i un 21,8%, respectivament. Els contaminants de l'aire, com el PM<sub>2,5</sub>, el CO i l'O<sub>3</sub>, s'associen positivament amb l'augment dels casos de SARS-CoV-2 i les morts diàries a Londres, Regne Unit, però el CO influeix més en els casos nous. (Sobieraj, Stegenta-Dąbrowska, Luo, Koziel, Białowiec, 2022)

### 2.5.5 COV

Els compostos orgànics volàtils (COV) s'emeten com a gasos de determinats sòlids o líquids. No hi ha una definició mundial per als COV, però normalment es refereix a COVs a aquells compostos orgànics que les seves temperatures d'ebullició són de menys de 50-260°C a pressió estàndard atmosfèrica i tenen punts de fusió per sota de la temperatura ambient. Els COV inclouen una varietat de productes químics (alcans, alquens, alquins, aromàtics, alcohols, aldehids, èters, cetones, èsters, hidrocarburs halogenats, ...), alguns dels quals poden tenir efectes adversos per a la salut a curt i llarg termini. Les concentracions de molts COV són normalment més altes als interiors (fins a deu vegades més altes) que als exteriors.

Els COV poden tindre procedència artificial com natural. Els diferents contaminants dels COV es classifiquen com a contaminants tòxics per al medi ambient i la salut humana segons l'Agència de Protecció del Medi Ambient (EPA): compost carbonílic (aldehids i cetones), hidrocarburs aromàtics policíclics (HAP), hidrocarburs monoaromàtics (HAM), nitro-HAP, oxi-HAP, butadiè, aldehids (formaldehid, acetaldehid), acroleïna, aromàtics (benzè, toluè, etilbenzè, xilè, estirè) n-hexà, naftalè, etc.

Com s'ha vit en l'apartat del O<sub>3</sub>, Els compostos orgànics volàtils (COV) són ingredients coneguts en la producció fotoquímica d'ozó troposfèric (O<sub>3</sub>) amb la presència d'òxids de nitrogen (NO<sub>x</sub>) i llum solar. (Figura 7). Però els COV destrueixen l'ozó estratosfèric.

Els compostos orgànics volàtils són també precursors del smog, el qual es parla més endavant, llavors no tant sols els COV són perillosos per a la salut humana per si mateixos, sinó que també en combinació d'altres gasos poden crear aquesta boirina que és poc agradable visualment per a les ciutats i alhora és perjudicial per als éssers humans i medi ambient.

Els productes químics orgànics s'utilitzen àmpliament com a ingredients en productes per a la llar. Les pintures, vernissos i ceres contenen dissolvents orgànics, igual que molts productes de neteja, desinfecció, cosmètica i desgreixatge. També, els combustibles estan formats per productes químics orgànics. Tots aquests productes poden alliberar compostos orgànics mentre són fets servir i, fins a cert punt, quan s'emmagatzemen (Figura 17). (EPA, 2021)



*Figura 17: Fonts i efectes dels COV  
Font: Greenteach, 2022*

## Efectes en la salut dels éssers humans

D'entre tots els contaminants de l'aire, l'emissió de compostos carbonílics i aromàtics a l'aire condueix a diverses malalties a curt i llarg termini en funció del nivell de concentració a l'aire. Alguns carbonils i aromàtics també porten problemes de salut a llarg termini.

Alguns compostos carbonílics i aromàtics com HCHO, CH<sub>3</sub>CHO, benzè, toluè i xilè tenen tendència a produir càncer al cos humà. Per tant, aquests compostos es coneixen com a carcinògens humans. També causen irritació al nas, als ulls, a la pell, etc.

Aquests compostos carbonílics i compostos aromàtics participen en la formació de smog a causa del procés fotoquímic. Alguns compostos carbonílics com CH<sub>3</sub>CHO, HCHO i acroleïna es consideren perillosos per a la salut humana. Diversos hidrocarburs aromàtics (HAP) i compostos aromàtics a l'aire, com s'ha dit anteriorment, s'han considerat una gran preocupació per a la salut dels éssers humans. A causa de la inhalació a llarg termini i alta concentració de COVs, les funcions pulmonars es tornen lentes a causa de la irritació del nas, la gola, etc.

Per tant, el motiu principal és investigar biològicament aquests compostos i el seu efecte sobre la salut humana. Segons l'agència internacional per a la investigació del càncer, s'ha trobat que molts dels contaminants de l'aire són font de producció de càncer en humans. La respiració directa d'aquests compostos carbonílics i aromàtics pot provocar

càncer de pulmó en els éssers humans. L'exposició directa pot provocar problemes de salut molt mortals com el càncer, la teratologia<sup>10</sup> i la mutació genètica.

A curt termini, els problemes de salut reportats d'edificis de nova construcció són:

- Mals de cap
- Malestar general
- Dermatitis atòpica
- Marejos
- Somnolència
- Irritació de la pell i els ulls
- Síndrome de la casa malalta, és a dir, quan les persones es fiquen malaltes a causa dels productes químics fets servir per a les construccions.

Hi ha altres problemes relacionats amb els edificis, la sensibilitat química múltiple i la síndrome de la casa malalta. Aquests són els efectes a curt termini de l'aire interior contaminat. Altres efectes a curt termini d'aquests contaminants inclouen l'atac a la capa mucosa del nas i la irritació dels ulls.

El principal problema per a les persones que passen molt temps en interiors és l'asma (una infecció pulmonar important) a causa de la contaminació de l'aire interior. Hi ha molts informes d'augment de la taxa de morbiditat i mortalitat per malalties com l'asma al món. Per tant, s'ha vist que aquests problemes sorgeixen a causa de la contaminació de l'aire interior en l'era moderna. Les fonts d'asma en interiors són degudes a combustions en interiors, partícules de pols, recollida d'escombraries, etc., que a causa de l'alta volatilitat d'alguns compostos carbonílics i aromàtics poden viatjar fàcilment a través de l'aire.

També s'han observat diversos problemes de salut amb els fums de la cuina. Aquests fums de cuina tenen un excés de compostos aromàtics. Singh et al. va provar una mostra d'aire de la cuina. El resultat va demostrar que la presència de HAP a l'aire de la cuina té un fort impacte en el sistema respiratori de les persones que estan dintre la cuina. Aquestes emissions orgàniques són extremadament solubles en lípids i, finalment, són absorbides fàcilment al tracte gastrointestinal dels mamífers. Aquests compostos afecten instantàniament els teixits i alhora tenen efectes adversos sobre el greix corporal.

L'efecte advers dels compostos aromàtics i carbonílics sobre la salut humana depèn principalment de la durada del temps, la forma d'exposició, la quantitat de compostos en contacte amb l'ésser humà, la quantitat de compostos tòxics, etc. Hi ha molts altres factors com la salut dels humans exposats i la seva edat. Unwin et al. han enumerat

alguns efectes a curt termini sobre la salut humana a causa de l'alta exposició als HAP que són:

- Irritació ocular
- Confusió
- Nàusees
- Diarrea
- Vòmits

Malgrat això, no s'esmenta clarament quin compost és responsable d'aquests símptomes. El PISQ (Programa Internacional de Seguretat Química) ha dictat efectes del compost específic de HAP com el benzo(a)pirè, l'antracè i el naftalè. Aquestes mescles de HAP són inflamatòries i irritants. El benzo(a)pirè, l'antracè i el naftalè són els irritants directes de la pell.

L'efecte a llarg termini sobre la salut dels éssers humans d'aquests contaminants poden ser malalties que amenacen la vida com:

- Tumors nasals
- Leucèmia<sup>11</sup>
- Asma
- Càncer de nasofaringe
- Funció pulmonar reduïda

La reducció del sistema immunitari, els danys als ronyons i el fetge com la icterícia<sup>12</sup>, els problemes respiratoris greus i les irregularitats en el funcionament dels pulmons són els efectes de salut a llarg termini o de llarga durada a causa de la dispersió dels HAP.

L'exposició repetida a compostos carbonílics i aromàtics també pot tenir un problema intens de la pell com envermelliment i inflamació. Els HAP comuns com el naftalè tenen un impacte important en el nostre sistema sanguini. Implica en el procés de trencament dels glòbuls vermells si s'inhala una alta concentració d'aquest component.

Tot i que els HAP no metabolitzats poden tenir efectes tòxics, una de les principals preocupacions és la capacitat dels metabòlits reactius d'alguns HAP per unir-se a proteïnes cel·lulars i ADN. Aquests compostos carbonílics i aromàtics són els responsables de la desorganització de la bioquímica i el dany de la cèl·lula. La mutació, la generació de tumors i càncer i la disminució de la taxa de desenvolupament del cos són els majors impactes. Algunes altres malalties intenses de l'exposició a aquests compostos són el càncer gastrointestinal i de bufeta. (V. Soni et al. 2018)

## 2.5.6 NO<sub>x</sub>

Els NO<sub>x</sub> representen una barreja de gasos formats per nitrogen i oxigen: òxid nítric (NO), diòxid de nitrogen (NO<sub>2</sub>), triòxid de dinitrogen (N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), tetraòxid de dinitrogen (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) i pentaòxid de dinitrogen (N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) principalment sota la fórmula NO<sub>x</sub>.

En general, quan es parla de NO<sub>x</sub> des del punt de vista atmosfèric, s'entén que només és la barreja de NO i NO<sub>2</sub>, ja que aquests òxids s'emeten en forma de NO que ràpidament s'oxida a NO<sub>2</sub>, augmentant de manera secundària la seva concentració atmosfèrica. Aquest reaccionarà alhora amb altres compostos a través de reaccions químiques en l'atmosfera.

Els temps de formació difereixen en funció de la temperatura sent més ràpids a l'estiu (hores), que a l'hivern (dies). Totes aquestes espècies químiques constitueixen el principal poder oxidatiu de l'atmosfera.

Sobre les fonts d'emissió, aquestes són tant antropogèniques (les fonts més grans d'emissió) com naturals. Els processos de combustió a temperatures elevades són el principal mecanisme de formació, com els que ocorren als motors dièsel dels automòbils o les plantes productores d'energia elèctrica, que suposen les principals fonts d'origen humà. A això se suma la petita aportació de les fonts naturals: l'activitat microbiana als sòls (encara més als sòls fertilitzats), la crema de biomassa (principalment grans incendis) i les tempestes elèctriques. (Figura 18) (Fernández, 2015)

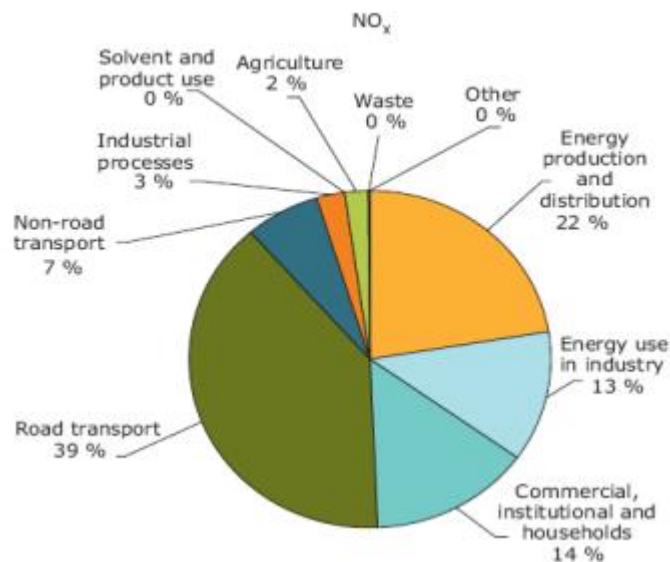


Figura 18: Gràfic de les principals fonts d'emissió de NO<sub>x</sub>  
Font: Fernández, 2015

## Efectes en la salut dels éssers humans

Els NO<sub>x</sub> són substàncies irritants i corrosives. La principal via d'exposició és inhalatòria, però també poden actuar a través del contacte amb la pell i mitjançant ingestió. Un cop a l'organisme poden transformar-se en àcid nítric o nítrics i danyar la funció i estructura cel·lular; oxiden proteïnes, peroxiden lípids i fan malbé la membrana cel·lular; o alteren macròfags<sup>13</sup> i la funció immune, disminuint la resposta a infeccions. A més, si assoleixen concentracions elevades en forma de NO, aquest oxidarà el ferro hemoglobínic, causant metahemoglobinèmia, la qual pot afectar el fetus en cas de dones embarassades. Per la seva banda, el NO<sub>2</sub> pot causar dany al ADN.

L'exposició habitual a aquests òxids no es produeix de forma individual, sinó que formen part d'un conjunt de compostos que constitueixen a la contaminació atmosfèrica, entre els quals els aerosols (constituents del material particulat) i ozó troposfèric, ambdós generats a partir de NO<sub>x</sub>. El NO<sub>2</sub> ha estat utilitzat com a indicador d'aquesta barreja, sobretot dels contaminants generats mitjançant combustió (com els emesos pel trànsit). És complicat destriar si és un contaminant concret o la barreja de tots ells la causa de les diferents patologies que s'han relacionat amb l'exposició a aquesta contaminació atmosfèrica, per la qual cosa als efectes associats al NO<sub>2</sub> individualment bé podrien haver contribuït altres contaminants relacionats com NO o el material particulat. No obstant això, la relació del NO<sub>2</sub> amb alguns efectes patològics a curt termini s'ha mantingut després de fer un ajust amb altres contaminants, cosa que sembla indicar que en aquest cas si hi ha un efecte propi. Això no passa amb els estudis a llarg termini, ja que la concentració de NO<sub>2</sub> en relació amb la resta de contaminants és molt baixa, per la qual cosa la seva evidència toxicològica en aquests casos és limitada. Tot i això, l'OMS ha establert un valor guia per al NO<sub>2</sub>, que és de 40 µg/m<sup>3</sup> com a mitjana anual i de 200 µg/m<sup>3</sup> com a mitjana d'una hora.

Tant els efectes associats de forma directa amb el NO<sub>2</sub> com els atribuïts a la contaminació de l'aire en general; dependran de la dosi de contaminants, el temps i el lloc d'exposició i de factors individuals com l'edat, l'estat nutricional, el nivell socioeconòmic i la predisposició o vulnerabilitat. Per tant, és important identificar els grups de població particularment vulnerables a la contaminació de l'aire. S'hi inclouen nens, embarassades, pacients amb malalties cròniques (diabetis, hipertensió), cardiovasculars, respiratòries o renals; els individus en edat avançada (funcions fisiològiques disminuïdes), els treballadors més exposats a la contaminació atmosfèrica i les persones amb baix nivell socioeconòmic. En aquest darrer cas es desconeix si és degut a una l'exposició més gran o a una pitjor qualitat de vida.

En general, la majoria dels estudis, tan epidemiològics com en animals, situen els sistemes respiratori i cardiovascular com els més afectats. Pel que fa al sistema respiratori, la majoria de  $\text{NO}_x$  són irritants i actuen a escala de les vies respiratòries. Teòricament, concentracions no massa elevades (com les presents a l'aire) causen dispnea<sup>14</sup> i tos i si l'exposició és continuada, poden causar broncoespasmes<sup>15</sup> i edema pulmonar<sup>16</sup>.

L'exposició al  $\text{NO}_2$  ha estat associada a la disminució de la funció pulmonar o del seu desenvolupament, augment de símptomes respiratoris, augment de la incidència i prevalença d'asma i de la incidència de càncer, morbiditat respiratòria i mortalitat. A més, una revisió realitzada per Khan, 2014 el relacionava, juntament amb el material particulat i diòxid de sofre, amb malalties com ara bronquitis, pneumònia, malaltia obstructiva crònica (MPOC) i donava suport a la seva associació amb el càncer de pulmó. La relació amb aquest tipus de càncer també es va demostrar en un altre estudi de Hamra, 2015, en què es va avaluar a més la distància a zones amb un elevat volum de trànsit, resultant una clara associació positiva entre exposició a  $\text{NO}_2$  i càncer de pulmó, amb més risc d'aparició en individus que habitaven prop de zones amb trànsit elevat. Pel que fa a l'asma, la mesura de l'impacte de l'associació entre exposició al trànsit i prevalença d'asma i sinusitis<sup>17</sup> crònica, fa que aquestes malalties augmentin només en els individus al·lèrgics, cosa que suggereix que la susceptibilitat és un factor veritablement important a l'hora del desenvolupament de malalties causades per la contaminació.

Cal destacar que els nens presenten una vulnerabilitat respiratòria als tòxics ambientals diferent. Si s'escau, s'ha suggerit que l'exposició a  $\text{NO}_2$  disminueix el desenvolupament de la funció pulmonar, encara que no massa, i causa infeccions respiratòries. Segons l'Organització Mundial de la Salut (OMS), el 50% de les morts infantils per pneumònia es deuen a la inhalació de contaminants. Alguns estudis fins i tot han associat aquesta exposició amb l'aparició d'asma. L'explicació rau en el fet que les vies aèries i alvèols es troben en desenvolupament, i a més a més, els nens passen més temps exposats als gasos contaminants.

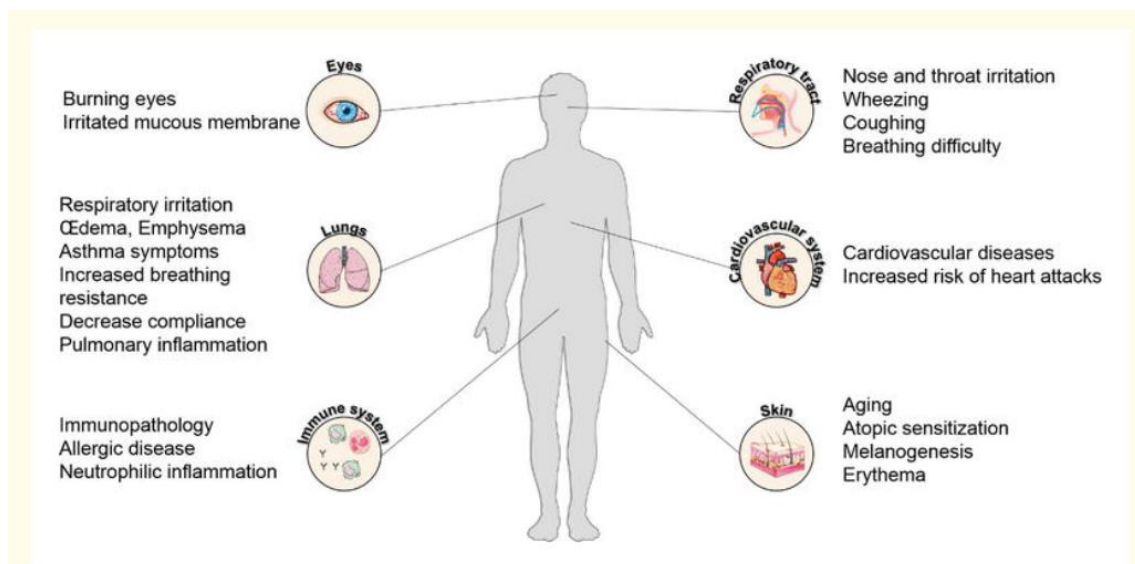
En el cas de l'aparell circulatori, els  $\text{NO}_x$  poden accelerar el pols lleument, engrandir el cor i provocar col·lapse del sistema circulatori. Moltes de les hospitalitzacions i les visites a urgències degudes a diagnòstics cardiovasculars o cardíacs estan relacionades amb l'exposició a curt termini al  $\text{NO}_2$ . L'exposició als  $\text{NO}_x$  augmenta la massa del ventricle dret, bé a través de la hipòxia que genera vasoconstricció pulmonar, la qual augmenta la resistència i el treball del cor, o bé a través de la sobreexpressió de gens i proteïnes inflamatòries en aquest ventricle. Addicionalment, l'exposició al fum dels tubs d'escapament provocava que els nivells de la proteïna PCR s'incrementessin fet relacionat amb el desenvolupament de malalties cardiovasculars.



Finalment, els NO<sub>x</sub> també poden produir danys dermatològics i oculars. En el cas de la pell són irritants, i a més la presència d'aigua pot donar lloc a la formació d'àcid nítric i provocar cremades de segon i tercer grau. Als ulls també causen irritació i cremades, podent arribar a provocar ceguesa si la concentració és molt elevada. Cal destacar que en el cas de les concentracions a què els NO<sub>x</sub> són presents a l'atmosfera només causarien irritacions en ambdós òrgans.

Tots aquests efectes nocius incideixen en la salut pública, encara que en aquest cas sí que definitivament es parla de contaminació atmosfèrica en general. Com ja s'ha comentat, entre els efectes de la contaminació en la salut es troben alteracions de la funció pulmonar, problemes cardíacs i altres símptomes i molèsties, però poden arribar fins i tot a incrementar les defuncions i els ingressos hospitalaris. (Fernández, 2015)

En la figura 19 es pot apreciar gran part dels efectes dels NO<sub>x</sub> que s'han comentat.



*Figura 19: Efecte del NO<sub>x</sub> en l'ésser humà  
Font: Depayras, S. et al., 2018*

## 2.6 Efectes dels gasos contaminants en la biodiversitat

La contaminació de l'aire pot afectar a la salut dels arbres. Alguns contaminants en altes concentracions poden danyar les fulles (per exemple, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>) (Figura 20), especialment d'espècies sensibles als contaminants.

Les espècies caducifolis orientals són lesionades per l'exposició a O<sub>3</sub> a 0,20–0,30 ppm (392 µg/m<sup>3</sup> – 589 µg/m<sup>3</sup>) durant 2–4 hores (Natl. Acad. of Sci. 1977b). El llindar de lesió visible del pi blanc oriental és d'aproximadament 0,15 ppm (294 µg/m<sup>3</sup>) durant 5 hores (Costonis 1976). L'absorció d'O<sub>3</sub> per les plàntules de bedoll blanc mostra un augment lineal de fins a 0,8 ppm (1570 µg/m<sup>3</sup>); per a les plàntules d'auró vermell l'augment és de fins a 0,5 ppm (981 µg/m<sup>3</sup>) (Townsend 1974). Els nivells d'O<sub>3</sub> a les zones urbanes poden superar els 0,3 ppm (589 µg/m<sup>3</sup>) (Off. Technol. Assess. 1989). Els efectes de les lesions poden incloure alteracions en la fotosíntesi, la respiració, el creixement i la funció estomàtica (Lefohn et al. 1988; Shafer i Heagle 1989; Smith 1990). (Romanelli,C, 2015)

Un altre conjunt d'experiments amb O<sub>3</sub> a SoyFACE<sup>18</sup> tenia com a objectiu quantificar la variació genètica en la sensibilitat de la soja a nivells elevats O<sub>3</sub> (2x O<sub>3</sub> ambient) i establir més llindars de matís d'exposició (ambient i vuit punts que van des de 40 ppb (78 µg/m<sup>3</sup>) a 200 ppb (392 µg/m<sup>3</sup>)) (Betzlberger et al., 2010, 2012). D'acord amb investigacions anteriors, Betzelberger et al. 2010 van informar diferències significatives sota 2 x ambient O<sub>3</sub> per a l'índex d'àrea foliar, fotosíntesi, conductivitat estomàtica<sup>19</sup> i contingut de clorofil·la en 10 varietats de soja, amb efectes més elevats d'O<sub>3</sub> observat durant el desenvolupament reproductiu. Les reduccions de rendiment van variar del 8% al 37% entre les diferents varietats. (M. Montes, 2021)

Els efectes de l'ozó sobre les plantes individuals poden tenir impactes negatius sobre els ecosistemes, com ara (EPA, 2021):

- Pèrdua de diversitat d'espècies (menys varietat de plantes, animals, insectes i peixos)
- Canvis en la varietat de plantes específiques presents en un bosc
- Canvis en la qualitat de l'hàbitat
- Canvis en els cicles de l'aigua i dels nutrients.



*Figura 20: Efecte de l'Ozó en una fulla  
Font: Ceballos, 2020*

Les partícules de metalls poden ser tòxiques per a les fulles de les plantes. L'acumulació de partícules a les fulles també pot reduir la fotosíntesi, reduint la quantitat de llum que arriba a la fulla. També es poden produir danys a les fulles de les plantes per la pluja àcida (pH <3,0). La pluja àcida i la contaminació de l'aire (NAPAP 1991) poden ser una font dels nutrients essencials de sofre i nitrogen per a les plantes, però també poden reduir la disponibilitat de nutrients del sòl mitjançant la lixiviació<sup>20</sup> o les reaccions tòxiques del sòl. Les partícules també poden afectar les plagues/malalties dels arbres. Atesa la concentració de contaminació a la majoria de ciutats, no s'espera que aquests contaminants causin danys visibles a les fulles, però sí a ciutats o zones amb concentracions elevades de contaminants. (Romanelli,C, 2015)

Hi ha dos tipus principals de lesions directes que la contaminació per PM pot causar a les plantes: lesions agudes i cròniques. La lesió aguda es produeix per l'exposició a una concentració elevada de gas durant un període relativament curt i es manifesta per símptomes clars visibles al fullatge, sovint en forma de lesions necròtiques<sup>21</sup>. Tot i que aquest tipus de lesions és molt fàcil de detectar (encara que no necessàriament de diagnosticar), la lesió crònica és molt més subtil: és el resultat d'una exposició prolongada a concentracions més baixes de gas i pren la forma de reduccions de creixement i/o rendiment, sovint sense clars símptomes visibles. Les plantes que estan constantment exposades a contaminants ambientals absorbeixen, acumulen i integren aquests contaminants als seus sistemes. Depenent del seu nivell de sensibilitat, les plantes mostren canvis visibles que inclourien alteracions en els processos bioquímics o acumulació de certs metabòlits<sup>22</sup> (Agbaire i Esiefarienne, 2009).

Les PM resultants de la pols de pedra a causa de les activitats d'extracció van causar anomalies foliars i símptomes de lesions com ara necrosi tissular<sup>23</sup>, taques marrons i grogues, taques negres i, en casos extrems, mort de fulles (Saha i Padhy, 2011). La presència d'excés de metalls pesants com el coure i el sofre a les plantes provoca diversos canvis fisiològics com ara símptomes de clorosi<sup>24</sup> (Bergman, 1983), envelliment

prematur i mort de les fulles (Rai, 2016). En la figura 21 es pot veure que el PM actua a nivell morfològic, fisiològic i bioquímic en les plantes

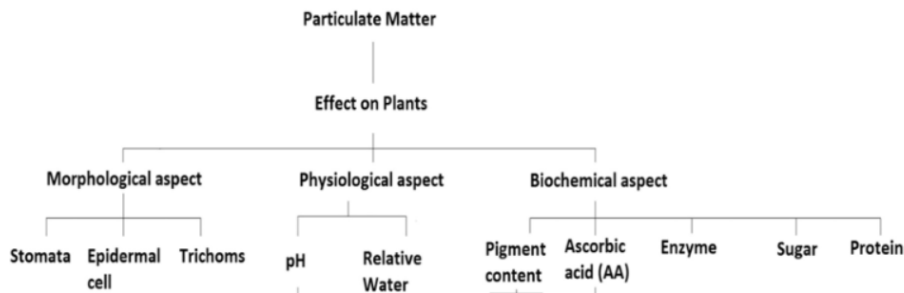


Figura 21: Esquema d'on actua la contaminació per PM en les plantes  
Font: Rai, 2016

Els efectes tòxics del SO<sub>2</sub> poden ser deguts a la seva influència acidificant i/o als ions sulfit (SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>) i sulfat (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) que són tòxics per a diversos processos bioquímics (Smith 1990). Els estomes<sup>25</sup> poden presentar augments de l'obertura o tancament estomàtic quan s'exposen al SO<sub>2</sub> (Smith 1984; Black 1985). La lesió aguda del SO<sub>2</sub> a la vegetació autòctona no es produeix per sota de 0,70 ppm (1834 µg/m<sup>3</sup>) durant 1 hora o 0,18 ppm (471 µg/m<sup>3</sup>) durant 8 hores (Linzon 1978). Una concentració de 0,25 ppm (655 µg/m<sup>3</sup>) durant diverses hores pot ferir algunes espècies (Smith 1990). Els efectes antropogènics indirectes poden alterar la composició de les espècies. Per exemple, en un parc natural de Tòquio, el pi roig japonès (*Pinus densiflora*) estava morint i sent reemplaçant successivament per espècies perennes<sup>26</sup> de fulla ampla (Numata 1977). Aquest canvi en la composició d'espècies s'ha atribuït a la contaminació de l'aire amb SO<sub>2</sub>, ja que les espècies de fulla ampla són més resistents a la contaminació de l'aire. (Romanelli, C, 2015)

Els òxids de sofre i de nitrogen a l'aire poden danyar les fulles de les plantes, disminuir la seva capacitat de produir aliments (fotosíntesi) i disminuir el seu creixement. A més, quan es dipositen a terra i en estuaris, llacs i rierols, els òxids de nitrogen i sofre poden acidificar i sobrefertilitzar ecosistemes sensibles, donant lloc a una sèrie d'efectes nocius relacionats amb la deposició sobre les plantes, els sòls, la qualitat de l'aigua i els peixos i la vida salvatge (per exemple, la pèrdua d'hàbitat), creixement reduït dels arbres, pèrdua d'espècies de peixos i floracions d'algues nocives) (Lee 1998; Bobbink i Lamers 2002). Això pot provocar una pèrdua general de biodiversitat i una reducció posterior dels serveis dels ecosistemes (per exemple, la qualitat de l'aigua i el sòl) (Aherne i Posch 2013). És probable que aquests impactes es produeixin quan l'acumulació de nitrogen i sofre passa un llindar conegut com a càrrega crítica. (Ontario Biodiversity Council. 2021).

(Nota: el 2- del SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> i SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> és un anió, és a dir, que s'han guanyat 2 electrons, d'aquí ve el -it i -at de sulfit i sulfat)

Els SO<sub>x</sub> (EPA, 2021):

- Acidifiquen les aigües superficials, reduint biodiversitat i matant peixos.
- Danyen els boscos a través d'impactes directes sobre les fulles i agulles, i per acidificació i esgotament del sòl i dels seus nutrients.
- Contribueixen a la disminució de la visibilitat (boirina regional/smog).

La preocupació per la "decadència dels boscos" a Alemanya als finals de la dècada de 1980 i principis de la dècada de 1990 van provocar l'interès per saber si els COV eren els responsables de l'aparent pèrdua de vitalitat dels arbres en una àmplia zona d'Europa central, i es van publicar diverses revisions dels efectes dels COV en les plantes (Schulze i Stix, 1990; Smidt, 1992, 1994). Aquest interès a Alemanya es va reflectir anys abans amb experiments a llarg termini sobre els efectes potencials dels COV sobre plantes en relació amb altres contaminants (van Haut i Prinz, 1979).

La revisió dels efectes del PAN (nitrat de peroxiacetil) va assenyalar que la majoria dels estudis s'han fet en espècies de plantes importants del sud de Califòrnia, més que al centre Europa. No es van fer experiments a llarg termini amb etilè, però les concentracions d'etilè en els tubs d'escapament dels vehicles poden arribar a 1000 ppm. Es van considerar els hidrocarburs clorats i "altres" contaminants orgànics de l'aire com el formaldehid i COVs generals com ara herbicides i hidrocarburs aromàtics policíclics (HAP). Es va assumir una concentració llindar de 12 µg/m<sup>3</sup> per a formaldehid, 3 mg/m<sup>3</sup> per a PAN i 2 µg/m<sup>3</sup> per a àcid acètic. A més d'un resum dels efectes dels hidrocarburs antropogènics, el paper fisiològic potencial dels hidrocarburs biogènics com l'isoprè o els terpens també van ser breument considerats, tan directament, com després de la reacció amb l'ozó per formar més tòxics radicals lliures<sup>27</sup> i peròxids<sup>28</sup> (Moller, 1988).

El principal efecte (indirecte) sobre les plantes d'aquests COV biogènics, són reconeguts en la seva contribució a la formació d'ozó fotoquímic. Smidt, 1994 va trobar que el paper del nitrat de peroxiacetil (PAN) es considerava relativament poc important en zones boscoses de l'Europa central, si les concentracions eren inferiors a 4 ppb (segons dades limitades), però la possibilitat de formació de compostos fitotòxics<sup>29</sup> a partir de la reacció del NO<sub>3</sub> amb els COV biogènics també va ser destacada. Aquesta possibilitat encara no ha estat explorada.

Es va arribar a les conclusions següents:

- Els COV són omnipresents a l'atmosfera
- Els efectes de l'absorció de diversos compostos es poden observar en agulles de coníferes<sup>30</sup>
- Diversos compostos s'enriqueixen en els òrgans foliars i el sòl

- Els efectes individuals de molts COV no són la causa probable dels danys vistos als boscos, però pot haver-hi efectes sinèrgics amb altres factors perjudicials, o efectes indirectes
- És més probable que els efectes indirectes siguin la causa del dany, més que els efectes directes
- En zones molt contaminades, les concentracions d'alguns compostos poden causar danys als arbres més sensibles

Aquestes revisions van abordar el problema percebut de "la decadència dels boscos", i per tant, es van concentrar en els efectes potencials dels COV en els boscos de regions llunyanes de les principals fonts puntuals i àrees urbanes. Tot i que ens pot servir d'ajuda per a àrees urbanes amb vegetació dins d'elles o que tenen boscos molt a prop (Cape, 2003).

Per al NO<sub>2</sub>, es veu una lesió foliar a concentracions al voltant d'1,6–2,6 ppm (3010 µg/m<sup>3</sup>- 4891 µg/m<sup>3</sup>) durant 48 hores, o una concentració d'1 ppm (1881 µg/m<sup>3</sup>) durant fins a 100 hores (Natl. Acad. of Sci. 1977a). Les concentracions que induïren a símptomes de fullatge es donarien en proximitats d'una font industrial molt contaminant (Smith 1990). (Romanelli,C, 2015).

Als boscos, la deposició de N pot millorar el creixement i la productivitat a través de la disponibilitat de N, però en una etapa posterior, pot provocar eutrofització<sup>31</sup> i acidificació, afectant negativament els balanços de nutrients i portant a un augment susceptible de la capacitat d'aguantar davant de sequera, malalties i plagues. En alguns ecosistemes, la millora del creixement és una amenaça, ja que provoca una disminució de la diversitat d'espècies vegetals (Figura 22). (Vries, 2021).

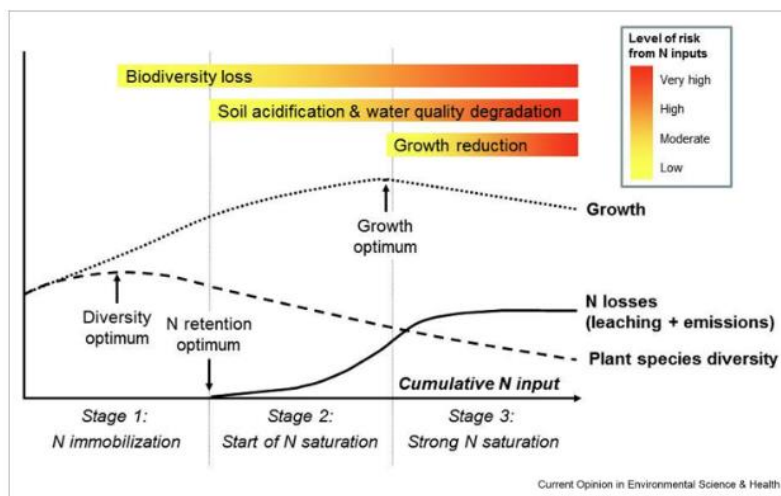


Figura 22: Relació entre la etapa de saturació d'N i els efectes en la biodiversitat  
Font: Vries, 2021

Els NOx (EPA,2021):

- Acidifiquen les aigües superficials, reduint biodiversitat i matant peixos.
- Danyen els boscos per impactes directes sobre les fulles i agulles, i per acidificació i l'esgotament dels nutrients del sòl
- Danyen els ecosistemes forestals, arbres, plantes decoratives i cultius a través de la formació d'ozó.
- Contribueixen a la eutrofització del litoral, matant peixos i marisc.
- Contribueixen a disminuir visibilitat (boirina regional, smog).

Observar indicis del medi ambient per avaluar la qualitat de l'aire és una ciència relativament antiga. Els líquens es van descriure per primera vegada com a "mesuradors de salut de l'aire" el 1866, quan un botànic finlandès va assenyalar que determinades espècies estaven restringides a un gran parc de la ciutat de París (Nylander 1866). Tot i que molts organismes presenten una resposta mesurable a la contaminació, els líquens i els briòfits (és a dir, les plantes terrestres no vasculares, com les molles i hepàtiques) són els bioindicadors més utilitzats tant en estudis ambientals com de salut humana. Els líquens i els briòfits no tenen estructures d'arrels i la capacitat d'emmagatzemar aigua, creant una dependència de la humitat i els nutrients eliminats de l'atmosfera. Al no tindre una cutícula<sup>32</sup> protectora, absorbeixen l'aigua i els contaminants com una esponja.

Els índexs basats en la biodiversitat, que inclouen la riquesa, l'abundància relativa o el domini d'espècies sensibles de líquens i briòfits, s'utilitzen habitualment per fer un mapa de la deposició de contaminants que contenen nitrogen (N) i sofre (S). La sensibilitat de les espècies a H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, deposició d'àcids, HNO<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub> i els aerosols que contenen N i S s'han establert mitjançant estudis de camp i experiments de fumigació controlada (Riddell et al. 2008; Riddell et al. 2012). Els índexs de biodiversitat solen correlacionar amb les mesures dels instruments que mesuren la deposició dels contaminants (Gadsdon et al. 2010; Jovan et al. 2012), tot i que alguns índexs són intencionadament inespecífics, és a dir, no estan calibrats per fer un seguiment de contaminants específics. En aquest cas, les mesures de biodiversitat s'interpreten com una resposta integrada a la "qualitat de l'aire" en general (Castro et al. 2014), que pot proporcionar una representació útil de l'exposició humana a mesura que el cos humà integra la contaminació de múltiples fonts.

El Nitrogen, Sulfats i els metalls (Wolterbeek 2002), radionúclids<sup>33</sup> (Seaward 2002) i contaminants orgànics persistents (COP) com hidrocarburs aromàtics policíclics (HAP), dioxines i furans (PCDD/F), policlorobifenils (PCB) i polibromats (PBDE) (Augusto et al. 2013; Harmens et al. 2013) s'acumulen al llarg del temps en teixits de líquens i briòfits, permetent el seu ús com a monitors de deposició passiva in situ. Els líquens i els briòfits

toleren l'exposició a molts contaminants que no són nutrients (per exemple, metalls pesants, radionúclids, COP) i, per tant, els índexs típics basats en la biodiversitat no es poden utilitzar per a aquest grup de contaminants. (Romanelli,C, 2015)

## Smog

L'smog és la contaminació de l'aire que redueix la visibilitat. El terme "smog" es va utilitzar per primera vegada a principis del 1900 per descriure una barreja de fum i boira. Normalment, el fum venia de la crema de carbó. L'smog era comú en les zones industrials i avui dia continua sent comú a les ciutats.

Actualment, la major part de l'smog que veiem és smog fotoquímic. L'smog fotoquímic es produeix quan la llum solar reacciona amb els òxids de nitrogen i almenys un compost orgànic volàtil (COV) a l'atmosfera. Els òxids de nitrogen provenen dels tubs d'escapament dels cotxes, les centrals elèctriques de carbó i les emissions de les fàbriques. Els COV s'alliberen de la gasolina, les pintures i molts dissolvents de neteja. Quan la llum solar arriba a aquests productes químics, formen partícules en l'aire i ozó a nivell del sòl, o smog.

L'smog no és saludable per als humans i els animals, i pot matar les plantes (Figura 23). L'smog també és lleig: fa que el cel sigui marró o gris. L'smog és comú a àrees urbanes amb molta indústria i trànsit. Les ciutats situades en conques envoltades de muntanyes poden tenir problemes d'smog perquè l'smog queda atrapat a la vall i no pot ser emportat pel vent. Los Angeles, Califòrnia, i Ciutat de Mèxic, Mèxic, tenen alts nivells d'smog, en gran part per culpa d'aquest tipus de paisatge. (National Geographic, 2022)

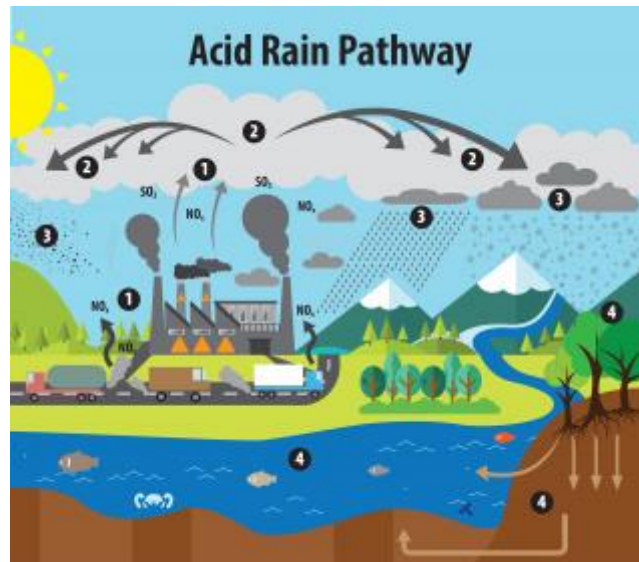


Figura 23: Plantes danyades per l'smog  
Font: Ceballos, 2020



## Pluja àcida

La pluja àcida, és un terme ampli que inclou qualsevol forma de precipitació amb components àcids, com l'àcid sulfúric o nítric que cau a terra des de l'atmosfera en formes humides o seques. Això pot incloure pluja, neu, boira, calamarsa o fins i tot pols àcida.



*Figura 24: Causes de la pluja àcida  
Font: EPA, 2022*

Aquesta imatge de la figura 24 il·lustra el camí de la pluja àcida al nostre entorn: (1) Les emissions de SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> s'alliberen a l'aire, on (2) els contaminants es transformen en partícules àcides que poden ser transportades a llargues distàncies. (3) Aquestes partícules àcides cauen a la terra com a deposició humida i seca (pols, pluja, neu, etc.) i (4) poden causar efectes nocius al sòl, boscos, rierols i llacs.

La pluja àcida es produeix quan el diòxid de sofre (SO<sub>2</sub>) i els òxids de nitrogen (NO<sub>x</sub>) són emesos a l'atmosfera i transportats pel vent i els corrents d'aire. El SO<sub>2</sub> i els NO<sub>x</sub> reaccionen amb l'aigua, l'oxigen i altres substàncies químiques per formar àcids sulfúric i nítric. Després es barregen amb aigua i altres materials abans de caure a terra.

Tot i que una petita part del SO<sub>2</sub> i els NO<sub>x</sub> que causen la pluja àcida provenen de fonts naturals com els volcans, la major part prové de la combustió de combustibles fòssils. Les principals fonts de SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> a l'atmosfera són:

- Crema de combustibles fòssils per generar electricitat. Dos terços del SO<sub>2</sub> i una quarta part dels NO<sub>x</sub> de l'atmosfera provenen de generadors d'energia elèctrica.
- Vehicles i equipament pesat.

- Manufactura, refineries de petroli i altres indústries.

El vent pot portar  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$  llargues distàncies, fent que la pluja àcida sigui un problema per a tothom i no només per a aquells que viuen a prop d'aquestes fonts.

Formes de deposició àcida:

- **Deposició humida:** La deposició humida és el que més comunament pensem com a pluja àcida. Els àcids sulfúric i nítric formats a l'atmosfera cauen a terra barrejats amb pluja, neu, boira o calamarsa.
- **Deposició seca:** Les partícules i els gasos àcids també es poden dipositar de l'atmosfera en absència d'humitat com a deposició seca. Les partícules i gasos àcids es poden dipositar a les superfícies (cossos d'aigua, vegetació, edificis) ràpidament o poden reaccionar durant el transport en l'atmosfera per formar partícules més grans que poden ser perjudicials per a la salut humana. Quan els àcids acumulats són rentats d'una superfície per la pluja, aquesta aigua àcida flueix per sobre de les superfícies i pel terra, i pot danyar les plantes i la vida salvatge, com ara insectes i peixos.

La quantitat d'acidesa de l'atmosfera que es diposita a terra a través de la deposició seca depèn de la quantitat de pluja que rep una zona. Per exemple, a les zones desèrtiques la proporció de deposició seca i humida és més alta que una zona que més pluges durant l'any.

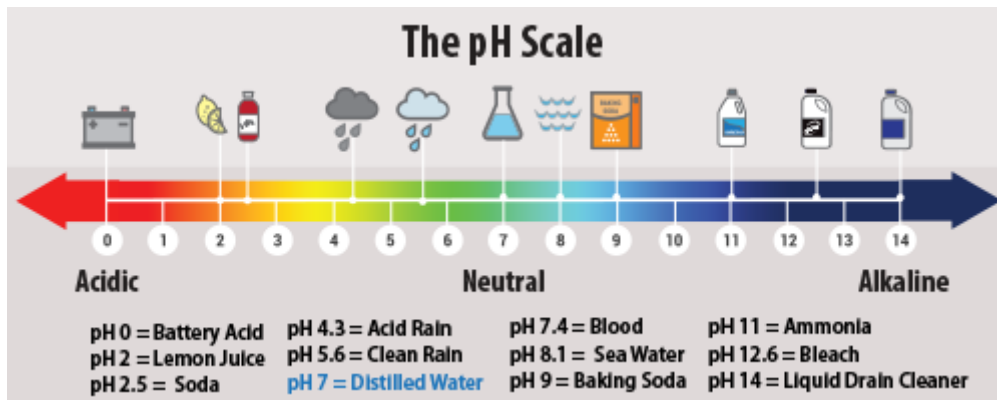
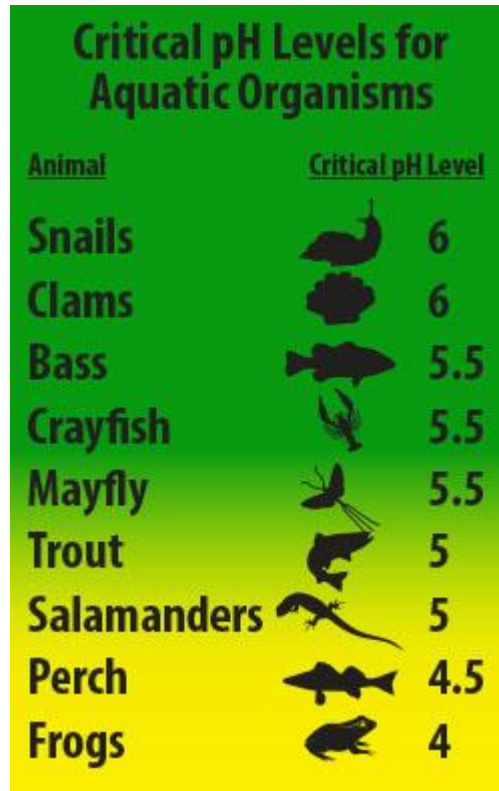


Figura 25: Escala de PH  
Font: EPA, 2022

L'acidesa i l'alcalinitat es mesuren mitjançant una escala de pH per a la qual 7,0 és neutre. Com més baix és el pH d'una substància (menys de 7), més àcida és; com més alt és el pH d'una substància (més de 7), més alcalí és. La pluja normal té un pH d'uns 5,6; és lleugerament àcid perquè el diòxid de carboni ( $\text{CO}_2$ ) s'hi dissol formant àcid carbònic feble. La pluja àcida sol tenir un pH entre 4,2 i 4,4 (Figura 25).



*Figura 26: Nivells de PH on certes espècies poden perdre el seu hàbitat  
Font: EPA, 2022*

La Figura 26 il·lustra el nivell de pH al qual es poden perdre organismes clau a mesura que el seu entorn es torna més àcid. No tots els peixos, mariscs o insectes poden tolerar la mateixa quantitat d'àcid.

Un ecosistema és una comunitat de plantes, animals i altres organismes juntament amb el seu entorn, inclosos l'aire, l'aigua i el sòl. Tot està connectat en un ecosistema. Si alguna cosa perjudica una part d'un ecosistema (una espècie de planta o animal, el sòl o l'aigua), pot tenir un impacte en tota la resta.

#### **Efectes de la pluja àcida sobre els peixos i la fauna**

Els efectes ecològics de la pluja àcida es veuen més clarament en ambients aquàtics, com rierols, llacs i aiguamolls, on pot ser perjudicial per als peixos i altres animals salvatges. A mesura que flueix a través del sòl, l'aigua de pluja àcida pot filtrar l'alumini de les partícules d'argila del sòl i després fluir a rierols i llacs. Com més àcid s'introdueix a l'ecosistema, més alumini s'allibera.

Alguns tipus de plantes i animals són capaços de tolerar aigües àcides i quantitats moderades d'alumini. Altres, però, són sensibles a l'àcid i es perdran a mesura que disminueixi el pH. En general, les cries de la majoria de les espècies són més sensibles a

les condicions ambientals que els adults. A pH 5, la majoria dels ous de peix no poden fer eclosió. A nivells de pH més baixos, alguns peixos adults moren. Alguns llacs àcids no tenen peixos. Fins i tot si una espècie de peix o animal pot tolerar aigua moderadament àcida, els animals o plantes que menja potser no. Per exemple, les granotes tenen un pH crític al voltant de 4, però els insectes que mengen són més sensibles i poden no sobreviure a un pH inferior a 5,5.

### Efectes de la pluja àcida sobre plantes i arbres

Els arbres morts o moribunds són habituals a les zones afectades per la pluja àcida. La pluja àcida lixiviat l'alumini del sòl. Aquest alumini pot ser perjudicial tant per a les plantes com per als animals. La pluja àcida també elimina els minerals i nutrients del sòl que necessiten els arbres per créixer.

A altes elevacions, la boira àcida i els núvols poden treure els nutrients del fullatge dels arbres (Figura 27), deixant-los amb fulles i agulles marrons o mortes. Llavors, els arbres són menys capaços d'absorbir la llum solar, la qual cosa els fa més febles i menys capaços de suportar les temperatures de congelació.

Molts boscos, rierols i llacs que experimenten pluja àcida no pateixen efectes perquè el sòl d'aquestes zones pot amortir la pluja àcida neutralitzant l'acidesa de l'aigua de pluja que hi flueix. Aquesta capacitat depèn del gruix i la composició del sòl i del tipus de roca base que hi ha sota. A zones com les zones muntanyoses del nord-est dels Estats Units, el sòl és prim i no té la capacitat de neutralitzar adequadament l'àcid de l'aigua de pluja. Com a resultat, aquestes zones són especialment vulnerables i l'àcid i l'alumini es poden acumular al sòl, rierols o llacs. (EPA, 2021)



Figura 27: Pèrdua de clorofil·la a causa de la pluja àcida  
Font: Ceballos, 2020

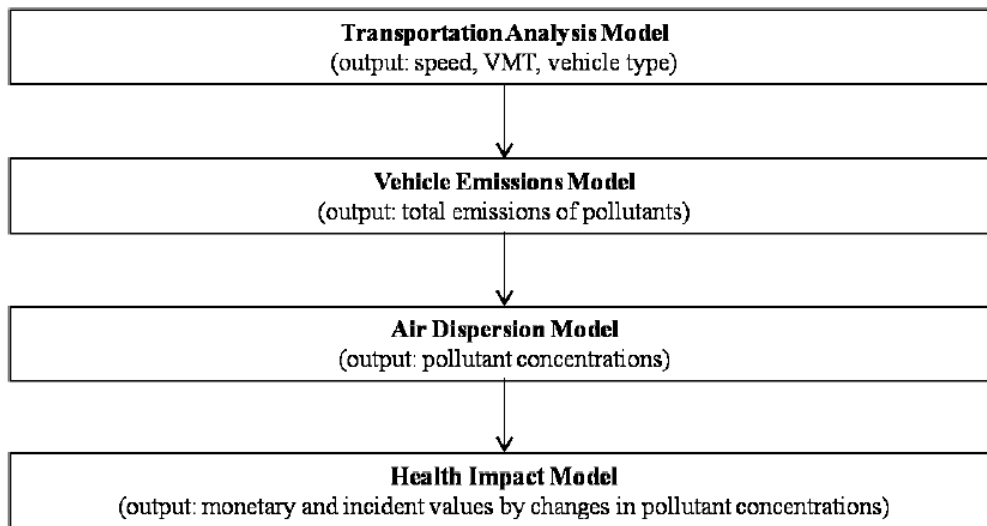
### 3 Segona part: El cas de Barcelona

#### 3.1 Metodologies d'estudi dels efectes principals relacionats amb les emissions de gasos contaminants

En aquest apartat es mostrarà quines són les fases per a estudiar l'impacte dels gasos contaminants en una ciutat sobre la salut humana, es veuran els tipus de models que es fan servir per a estudiar aquests efectes i finalment, s'exposarà una metodologia que ja s'ha fet servir a Barcelona

##### 3.1.1 Fases d'un estudi sobre l'impacte de gasos contaminants en la salut humana

L'estudi dels efectes dels gasos contaminants sobre la salut humana passa a través de diverses fases, on primer es fa una anàlisi dels models de transport, seguit d'un model d'emissions de vehicles i un model de dispersió dels gasos contaminants a l'aire. (Figura 28). En aquest treball s'ha agafat directament els valors de qualitat de l'aire que proporciona l'anuari estadístic de l'ajuntament de Barcelona, així que s'anirà directament al model d'impacte sobre la salut.



*Figura 28: Fases d'un estudi complet del impacte dels gasos contaminants sobre la salut humana  
Font: Lee, 2011*

### 3.1.2 Models per estimar l'impacte sobre la salut dels gasos contaminants

Els models d'impacte en la salut tenen com a objectiu estimar els efectes adversos sobre la salut pública associats als diversos contaminants de l'aire com a unitats monetàries, hospitalitzacions o morbiditat per a mostrar els efectes que tenen els gasos contaminants sobre els humans.

#### Estimació de l'exposició de gasos mitjançant una xarxa de cèl·lules (Grid-cells)

Diversos programes com el BenMAP utilitzen conceptes de "grid-cells" de població mitjançant la introducció de dades del cens. Com a resultat, aquests programes estimen l'exposició a la contaminació de l'aire per a cada cel·la de la xarxa suposant que les persones que viuen en una cel·la de xarxa estan exposades a la mateixa quantitat de contaminació de l'aire. Si hi ha dades que cobreixen una àrea d'estudi, llavors es pot fer servir aquestes dades d'exposició observada de la contaminació de l'aire per a les anàlisis d'impacte en la salut. Hi ha dos mètodes d'interpolació per modelar l'exposició a la contaminació de l'aire: CM (Closest monitor) i VNA (Voronoi neighbor averaging) (Lee, 2011):

- CM (closest monitor)

El mètode CM selecciona una única estació de mesura de la contaminació de l'aire que estigui més a prop (és a dir, la distància més propera) a la cèl·lula de la xarxa de població. Figura 29

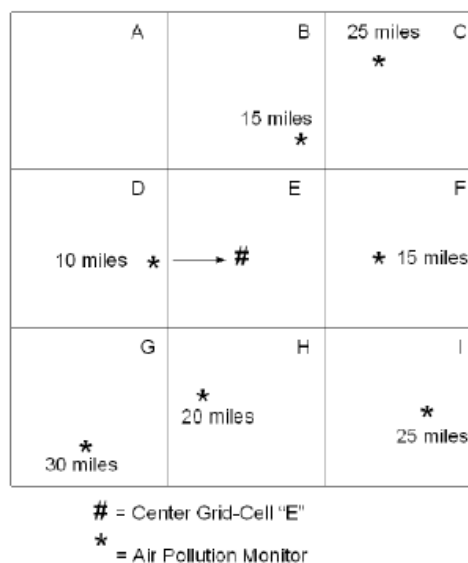


Figura 29: Mètode closest monitor  
Font: EPA, 2010

- VNA (Voronoi neighbor averaging)

VNA estima el nivell de contaminació de l'aire de cada cèl·lula de quadrícula de població tenint en compte múltiples estacions de mesura que envolten cada cèl·lula de quadrícula de població. (Figura 30)

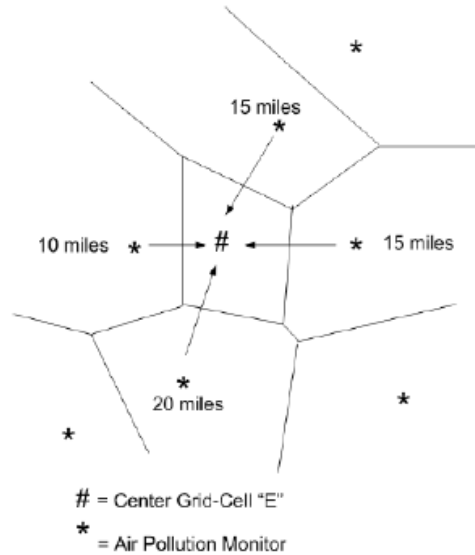


Figura 30: Mètode VNA  
Font: EPA, 2010

Com es mostra a la Figura 29 i 30, el mètode CM simplement considera les dades mesurades que estan situades a 10 milles del centre de la cel·la de la quadrícula, "E"; d'altra banda, VNA estima el nivell de contaminació de l'aire de la cel·la de graella, "E", utilitzant una mitjana ponderada a distància inversa de quatre mesures veïnes.

**Estimació de l'exposició de gasos mitjançant funcions de concentració-resposta (C-R)**

La majoria de les funcions C-R es deriven d'estudis d'epidemiologia (Lee, 2011). En aquest treball s'ha fet servir, com es veurà en els següents apartats, un model lineal.

- *Model Lineal*

Una relació lineal entre la taxa d'incidents o la taxa d'efectes adversos per a la salut i diverses variables explicatives es pot expressar per:

$$y = \alpha + \beta x \tag{1}$$

On  $\alpha$  i  $\beta$  són paràmetres estimats, 'y' és una taxa d'incidència d'efectes adversos per a la salut, i 'x' és un nivell de concentració d'un contaminant. Per estimar els beneficis per a la salut, hem de tenir en compte els canvis en el nivell de contaminació de l'aire entre els nivells de referència i de control associats a un contaminant (és a dir, PM2,5 i NOX).

$$\Delta y = y_0 - y_c = \beta(x_0 - x_c) = \beta * \Delta x \quad (2)$$

On  $\Delta y$  es refereix al canvi en la taxa d'incidències entre la taxa d'incidències de base ( $y_0$ ) i la de l'escenari de control ( $y_c$ ),  $\Delta x$  és el canvi (o millora) en el nivell de contaminació de l'aire entre els nivells de concentració base ( $x_0$ ) i de l'escenari de control ( $x_c$ ). Aleshores, el canvi en la incidència de l'efecte advers per a la salut associat a un contaminant es pot estimar mitjançant:

$$\Delta I = \Delta y * Pop = \beta \Delta x * P \quad (3)$$

On  $\Delta I$  és el canvi en la incidència dels efectes adversos per a la salut donat la població corresponent (P).

- *Model Log-lineal*

Els models log-lineals s'utilitzen àmpliament en estudis epidemiològics. Una relació logarítmica lineal entre la taxa d'incidència o la taxa d'efectes adversos per a la salut i diverses variables es pot definir com:

$$\ln(y) = \alpha + \beta x \quad (4)$$

O també:

$$y = e^{\alpha + \beta x} = B * e^{\beta x} \quad (5)$$

On B ( $e^\alpha$ ) és la taxa d'incidència de 'y' quan la concentració d'un contaminant és zero. El canvi en la taxa d'incidència ( $\Delta y$ ) entre la taxa d'incidència base ( $y_0$ ) i la de l'escenari de control ( $y_c$ ) es pot calcular:



$$\begin{aligned}\Delta y &= y_0 - y_c = B(e^{\beta x_0} - e^{\beta x_c}) = B e^{\beta x_0} \left(1 - \frac{e^{\beta x_c}}{e^{\beta x_0}}\right) = B e^{\beta x_0} (1 - e^{-\beta(x_0 - x_c)}) \\ &= y_0 (1 - e^{-\beta \Delta x})\end{aligned}\tag{6}$$

De fet,  $\beta$  pot ser extreta d'estudis epidemiològics i és sovint denominada com risc relatiu (RR) per a un donat canvi en la concentració ( $\Delta x$ ). RR pot ser expressat amb la següent fórmula:

$$RR = \frac{y_0}{y_c} = \frac{B e^{\beta x_0}}{B e^{\beta x_c}} = e^{\beta(x_0 - x_c)} = e^{\beta \Delta x}\tag{7}$$

RR és la relació dels dos riscos. Agafant el logaritme de les dues bandes,  $\beta$  pot ser obtinguda com:

$$\beta = \frac{\ln(RR)}{\Delta x}\tag{8}$$

L'error estàndard ( $\sigma_\beta$ ) del coeficient d'una funció C-R es pot derivar del límit inferior i superior del risc relatiu (RR) extret dels estudis d'epidemiologia que donen intervals de confiança. Per al límit superior:

$$\sigma_{\beta,high} = \frac{\beta_{high} - \beta}{1,96} = \frac{\frac{\ln(RR_{high})}{\Delta x} - \frac{\ln(RR)}{\Delta x}}{1,96}\tag{9}$$

Per al límit inferior:

$$\sigma_{\beta,low} = \frac{\beta - \beta_{low}}{1,96} = \frac{\frac{\ln(RR)}{\Delta x} - \frac{\ln(RR_{low})}{\Delta x}}{1,96}\tag{10}$$

Per tant, l'error estàndard ( $\sigma_\beta$ ) del coeficient de la funció C-R es calcula de la següent forma:

$$\sigma_\beta = \frac{\sigma_{\beta,high} - \sigma_{\beta,low}}{2}\tag{11}$$

- *Model logístic*

Una altra forma funcional utilitzada en estudis epidemiològics és el model logístic per estimar la probabilitat que aparegui un efecte advers per a la salut.

$$y = \Pr(\text{occurrence} | \beta * x) = \frac{e^{\beta * x}}{1 + e^{\beta * x}} \quad (12)$$

O també:

$$y = \frac{e^{\beta * x}}{1 + e^{\beta * x}} * \frac{e^{-\beta * x}}{e^{-\beta * x}} = \frac{1}{1 + e^{-\beta * x}} \quad (13)$$

On  $\Delta y$ , que és el canvi en la taxa d'incidències entre la taxa d'incidències base ( $y_0$ ) i la de l'escenari de control ( $y_c$ ), es pot calcular utilitzant la relació de probabilitats de dues taxes d'incidents,  $y_0$  i  $y_c$ .

$$\frac{\frac{y_0}{1 - y_0}}{\frac{y_c}{1 - y_c}} = \frac{\frac{1}{e^{-\beta * x_0}}}{\frac{1}{e^{-\beta * x_c}}} = e^{\beta(x_0 - x_c)} = e^{\beta \Delta x} \quad (14)$$

D'aquesta relació de dalt es pot obtenir  $y_c$  com:

$$y_c = (1 - y_c) \frac{y_0}{1 - y_0} e^{-\beta * \Delta x}$$

$$y_c = \frac{\frac{y_0}{1 - y_0} e^{-\beta * \Delta x}}{1 + \frac{y_0}{1 - y_0} e^{-\beta * \Delta x}} = \frac{y_0}{(1 - y_0)e^{\beta * \Delta x} + y_0} \quad (15)$$

On  $\Delta y$  pot ser calculat com:

$$\Delta y = y_0 - y_c$$

$$\Delta y = y_0 - \frac{y_0}{(1 - y_0)e^{\beta * \Delta x} + y_0} \quad (16)$$

$\Delta I$ , que és el canvi en els efectes de la indecència dels efectes adversos sobre la salut pot ser calculat donat una població ( $P$ ) com:

$$\Delta I = \Delta y * Pop = y_0 * \left( 1 - \frac{1}{(1 - y_0)e^{\beta \Delta x} + y_0} \right) * P \quad (17)$$

- *Model Cox*

El model de perill proporcional de Cox es basa en la funció de perill per capturar els temps de supervivència associats als impactes de mortalitat trobats en estudis epidemiològics. El model de perill Cox,  $h(t)$  que es pot considerar com la supervivència d'un individu fins al temps 't', es pot expressar com:

$$H(t) = \frac{f(t)}{S(t)} = \frac{f(t)}{1 - F(t)} \quad (18)$$

On t representa el temps de supervivència i es considera una variable aleatòria amb funció de distribució acumulada  $F(t) = Prob(T \leq t)$  i funció de densitat de probabilitat,  $f(t)$ . La funció de supervivència,  $S(t)$ , és  $Prob(T > t) = 1 - F(t)$ . Introduint un vector de variables explicatives, X, el model de Cox es pot representar per:

$$h(t, X) = \frac{f(t, X)}{S(t, X)} = \frac{f(t, X)}{1 - F(t, X)} = h_0(t) * e^{x\beta} \quad (19)$$

On  $h_0(t)$  és la taxa de risc de referència quan totes les covariables (X) s'estableixen a zero. El risc relatiu (RR) es pot obtenir com:

$$RR = \frac{h(t, X_0)}{h(t, X_c)} = \frac{h_0(t)e^{x_0\beta}}{h_0(t)e^{x_c\beta}} = e^{(x_0 - x_c)\beta} = e^{\beta * \Delta x} \quad (20)$$

RR és la relació dels dos riscos. Agafant el logaritme de les dues bandes,  $\beta$  pot ser extreta com:

$$\beta = \frac{\ln(RR)}{\Delta x} \quad (8)$$

- *Model de Poisson*

El model de Poisson és un model estadístic que descriu una sèrie d'esdeveniments aleatoris no correlacionats (arribades), pel que els acabats d'arribar són estadísticament independents de qualsevol arribada passada (Gyarmati-Szabó, 2011).

Estudis com el que va fer Samoli, 2016 a Londres fan servir la següent fórmula:

$$\log E[Y_t] = \beta_0 + b * Pol_t + s(time_t) + \sum_i s(X_{it}) \quad (21)$$

On  $E[Y_t]$  és el valor esperat de la variable distribuïda de Poisson  $Y_t$  que indica el recompte de resultats diaris el dia  $t$  amb  $\text{Var}(Y_t) = wE[Y_t]$ , sent  $w$  el paràmetre de sobredispersió, 'time<sub>t</sub>' la variable continua que indica l'hora (dia) de l'esdeveniment,  $Pol_t$  la concentració de contaminants el dia  $t$ ,  $X_{it}$  el valor del factor de confusió  $X_i$  el dia 't', i 's' denota funcions de suavització.

## 3.2 El cas de Barcelona

### 3.2.1 Interès principal

La contaminació de l'aire en les àrees urbanes és un problema molt greu que moltes ciutats s'han d'enfrontar. Com s'ha vist en apartats anteriors, els gasos contaminants són perjudicials per als éssers vius i el medi ambient, fent que viure en les ciutats suposi un risc per a la salut i, alhora, una despesa monetària en sanitat i pèrdua de treballadors a causa de baixes laborals. Aquests punts podrien ser mitigats amb la conscienciació dels ciutadans i amb mesures per part dels governs per a reduir la contaminació de l'aire causada per vehicles i indústries.

La ciutat de Barcelona ha adoptat en les últimes dècades polítiques per reduir el tràfic dins la ciutat i alhora prohibir l'entrada d'aquells vehicles més contaminants. Totes aquestes mesures no tan sols es poden quantificar en nombre de vehicles que ja no entren a la ciutat, sinó que també es poden quantificar amb aspectes de la salut en ment: com quants individus no agafaran una malaltia respiratòria si es baixa el nivell d'ozó a la ciutat un cert nivell o aspectes monetaris com quan s'estalvia la sanitat pública en atendre aquests pacients malalts. També, en aquesta part es quantifiquen les hores de treball perdudes, és a dir, que implica per a la societat que un adult hagi de parar la seva activitat laboral pel fet que han agafat una malaltia per contaminació de l'aire.

Tenint en compte tots aquests paràmetres que la contaminació de l'aire minva, es pot cridar l'atenció als dirigents perquè adoptin noves polítiques de reducció de la contaminació de l'aire o per a aquelles mesures ja vigents, tenir una forma de mesura, des d'un punt de vista enfocat en la salut i benestar de la societat, si aquestes mesures són exitoses i/o poden ser millorades.

S'ha escollit l'ozó com a gas que provoca morbiditat respiratòria perquè Barcelona és una ciutat on ja hi ha una contaminació de NO<sub>x</sub> i COV present que fa que juntament amb les seves temperatures majoritàriament càlides, hi hagi formació d'O<sub>3</sub>. Sumat a que la literatura recolza que l'ozó és un dels principals gasos contaminants que porta problemes respiratoris, especialment en dies càlids, fa que l'estudi d'aquest gas sigui interessant en el cas de Barcelona. Tot i que cal aclarir que en un entorn urbà, la morbiditat respiratòria serà un producte de la mescla de gasos contaminants.

### 3.2.2 Estudi fet anteriorment a Barcelona

Sunyer, 1996 va estudiar la relació que hi havia entre la contaminació de l'aire i la mortalitat. Va seguir la següent metodologia:

Sobre les dades relacionades amb la salut, les van obtenir de les defuncions diàries del període 1985-91 que van ser subministrades pel registre regional de mortalitat. La mortalitat total, mortalitat total per persones majors de 70 anys tant per causes cardiovasculars com causes respiratòries va ser valorada.

Sobre les dades de la contaminació de l'aire, els nivells mitjans de 24 hores (recollits de 8 del d'un dia a 8 del mati de l'endemà) es van calcular com a mitjana aritmètica de les mesures proporcionades per set mostres manuals col·locades per la ciutat.

Les dades dels mostrejos automàtics de l'any 1985 no es van considerar per problemes de qualitat al començament del seguiment. Cada estació representava un tipus diferent de contaminació urbana (industrial, residencial i residencial amb molt trànsit). L'agència meteorològica nacional va recopilar informació diària sobre la temperatura mitjana, la humitat relativa i la temperatura del punt de rosada des d'una estació al aeroport (a 8 km de la ciutat).

L'anàlisi sobre la relació entre els gasos contaminant i la mortalitat es va realitzar fent servir models de regressió per a cada gas contaminant i per a cada categoria de mortalitat diferent. Es van seguir tres passos:

1. La parametrització d'un model lineal sobre logaritme de mortalitat transformada, utilitzant el mètode de mínims quadrats per controlar les variacions temporals, la meteorologia i altres variables (per exemple, epidèmies de grip) per obtenir un gràfic residual sense cap patró temporal.
2. La introducció de gasos contaminants a diferents tires en els models anteriors millor ajustats.
3. L'estimació d'un model de Poisson autoregressiu utilitzant estimacions de màxima versemblança incloent totes les variables seleccionades als passos anteriors.

A més, les interaccions entre contaminants i la l'estació del any es van tindre en compte.

Un model per a cada indicador de mortalitat logarítmicament transformada va ser fet servir. Tots els models incloïen un terme lineal i un terme quadrat per a la tendència i a variable simulada per a cada any per controlar tendències a llarg termini, un terme

sinusoidal fins al quart ordre per controlar les variacions temporals, una variable simulada per a cada dia de la setmana i per a festius, una transformació lineal i quadràtica d'humitat i temperatura als valors del dia actual, una variable simulada per a les epidèmies de grip, i interaccions entre anys. Variables simulades per a humitat alta o per dies de molta calor o molt freds i la interacció entre aquests es va incloure als models, però van ser descartades al final, ja que no van millorar la bondat d'ajust dels models. Un total de 72 variables es van incloure als models.

Els gasos contaminants, la temperatura i la humitat es van avaluar. També es van avaluar transformacions logístiques i quadràtiques dels gasos contaminants, però per a tots ells la variable no transformada va mostrar la millor bondat d'ajust. Es van ajustar els models de regressió de Poisson finals que inclouen fins a quatre paràmetres autoregressius.

Finalment, es van avaluar les modificacions de l'efecte amb relació a l'estació de l'any mitjançant la inclusió en els models finals d'un paràmetre d'interacció entre el contaminant atmosfèric i una variable simulada per semestre (d'abril a setembre i d'octubre a març).

### 3.2.3 Fonts estadístiques

Per a aquest treball es faran servir les dades del 2019 de la Qualitat de l'aire, contactes i estada mitjana que proporciona l'anuari estadístic de la ciutat de Barcelona l'any 2020, el qual ha sigut obtingut de la web de l'ajuntament de Barcelona.

La qualitat de l'aire s'ha tret de la pàgina 25 i 26 de l'anuari i té en consideració els nivells de NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, O<sub>3</sub>, benzè, benzo(A)pirè, metalls pesants, plom, CO i SO<sub>2</sub> a: A. Eixample, B. Gràcia-Sant Gervasi, C. Plaça Universitat, D. Poblenou, E. Sants, F. Palau Reial, G. Ciutadella, H. Vall d'Hebron, I. IES Verdaguer, J. IES Goya i K. Zona Universitària. (Figura 31)

	Trànsit			Fons urbà								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
<b>Nivells de NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</b>												
Màxim anual (1)	50	44	-	37	31	28	32	29	-	-	-	
Màxim horari (2)	207	233	-	154	146	134	216	181	-	-	-	
Núm. hores que supera VLh (2)	2	3	-	0	0	0	1	0	-	-	-	
<b>Nivells de PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</b>												
Mitjana anual (3)	29	27	30	29	26	20	-	23	30	23	23	
Màxim diari (4)	90	96	107	82	87	-	-	95	99	94	100	
Núm. dies que supera VLD (4)	17	9	15	15	14	3	-	7	17	9	7	
<b>Nivells de PM<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</b>												
Mitjana anual (5)	21	16	21	21	-	-	-	15	-	15	16	
Màxim diari (6)	54	39	49	50	-	-	-	51	-	43	41	
Dies de superacions Màxim diari	63	21	64	70	-	-	-	22	-	16	16	
<b>Nivells d'O<sub>3</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</b>												
Mitjana anual	39	43	-	-	-	53	43	56	-	-	-	
Màxim 8-horari (7)	144	149	-	-	-	170	140	169	-	-	-	
Dies amb superacions màxim 8-horari (8)	1	1	-	-	-	6	2	7	-	-	-	
Màxim horari	211	176	-	-	-	229	190	196	-	-	-	
Superacions llindar horari d'informació (9)	2	0	-	-	-	1	2	2	-	-	-	
Superacions llindar horari d'alerta (10)	0	0	-	-	-	0	0	0	-	-	-	
<b>Nivells de benzè(µg/m<sup>3</sup>)</b>												
Mitjana anual (11)	2,9	2,6	-	2,0	-	-	-	1,3	-	-	-	
<b>Nivells de benzo(a)pirè(ng/m<sup>3</sup>)</b>												
Mitjana anual (12)	0,13	0,10	0,12	0,14	0,08	-	-	0,08	0,09	0,06	0,08	
<b>Nivells de metalls pesants (ng/m<sup>3</sup>)</b>												
Arsènic. Mitjana anual (13)	1,01	1,00	1,01	1,00	1,01	-	-	1,00	1,00	1,00	1,00	
Cadmi. Mitjana anual (14)	0,40	0,41	0,40	0,40	0,40	-	-	0,40	0,40	0,41	0,40	
Níquel. Mitjana anual (15)	4,26	3,65	4,42	3,59	3,21	-	-	2,90	4,23	2,87	3,10	



*Efectes dels gasos contaminants sobre la salut humana i la biodiversitat en nuclis urbans i morbiditat de l'aparell respiratori causada per l'O3 a Barcelona*

Nivells de Pb ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )											
Mitjana anual (16)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	0,01	0,01	0,01	0,01
Nivells de CO ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )											
Mitjana anual	0,4	0,4	-	-	-	0,3	-	0,3	-	-	-
Màxim 8-horari (17)	1,9	2,1	-	-	-	1,4	-	1,0	-	-	-
Màxim horari (18)	3,7	3,9	-	-	-	2,5	-	1,2	-	-	-
Nivells de SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )											
Mitjana anual	2	2	-	-	-	2	-	1	-	-	-
Màxim diari (19)	6	14	-	-	-	5	-	4	-	-	-
Dies amb superacions VLd (20)	0	0	-	-	-	0	-	0	-	-	-
Màxim horari (21)	54	26	-	-	-	15	-	13	-	-	-
Núm. superacions VLh (21)	0	0	-	-	-	0	-	0	-	-	-

Figura 31: Dades de la qualitat de l'aire a Barcelona del 2019  
Font: Anuari estadístic de Barcelona, 2020

El nombre d'hospitalitzacions i l'estada mitjana s'ha tret de la pàgina 79 del anuari d'on d'aquesta taula, la J representa les malalties de l'aparell respiratori. (Figura 32)

Grans grups de diagnòstic (1)	Contactes	Estada mitjana (dies)		
		Total	Dones	Homes
2010	219.253	4,9	4,5	5,5
2015	238.601	4,4	4,1	4,8
2016	241.885	4,0	3,9	4,6
2017	256.572	4,2	3,8	4,7
2018	185.015	4,5	4,1	5,0
<b>2019</b>	<b>202.344</b>	<b>4,2</b>	<b>3,8</b>	<b>4,6</b>
A	3.297	8,3	7,5	8,9
B	22.118	4,7	4,0	5,4
C	1.653	5,0	4,5	5,7
D	3.624	3,7	3,6	3,9
E	3.475	9,4	9,0	9,7
F	5.106	3,8	3,3	4,6
G	24.664	0,1	0,1	0,1
H	1.032	1,5	1,3	1,7
I	22.987	6,3	5,8	6,8
J	20.686	5,5	5,4	5,6
K	22.161	3,9	3,9	3,8
L	4.055	3,4	3,0	3,6
M	14.952	2,8	2,6	3,2
N	14.666	3,2	2,8	3,6
O	8.883	2,8	2,8	-
P	1.409	10,0	10,2	9,7
Q	1.621	4,0	3,1	4,5
R	6.365	3,4	3,3	3,5
S	15.564	6,9	6,9	6,9
T	3.857	2,8	2,1	3,6
U	169	3,5	4,9	10,9

A	Determinades malalties infeccioses i parasitàries	M	Malalties del sistema musculoesquelètic i el teixit connectiu
B	Neoplàsies	N	Malalties de l'aparell genitourinari
C	Malalties de la sang i els òrgans hematopoètics i determinats trastorns que afecten el mecanisme immunitari	O	Embaràs, part i puerperi
D	Malalties endocrines, nutricionals i metabòliques	P	Determinades afeccions originades en el període perinatal
E	Trastorns mentals, del comportament i del neurodesenvolupament	Q	Malformacions congènites, deformitats congènites i anomalies cromosòmiques congènites
F	Malalties del sistema nerviós	R	Signes, símptomes i resultats anòmals d'anàlisis no classificats a cap altre lloc
G	Malalties de l'ull i els annexos oculars	S	Lesions, intoxicacions i altres conseqüències de causes externes
H	Malalties de l'orella i l'apòfisi mastoide	T	Factors que influeixen en l'estat de salut i contacte amb els serveis sanitaris
I	Malalties de l'aparell circulatori	U	Altres i sense especificar
J	Malalties de l'aparell respiratori		
K	Malalties de l'aparell digestiu		
L	Malalties de la pell i el teixit subcutani		

Figura 32: Contactes i estada mitjana dels hospitals a Barcelona el 2019

Font: Anuari estadístic de Barcelona, 2020

Per a poder calcular el cost de les hospitalitzacions, s'ha tret el preu per estada d'hospitalització convencional del Diari oficial de la Generalitat de Catalunya del 2013, pàgina 10732, on es marquen els preus públics del Servei Català de Salut. (Figura 33)

	Grup 1-2	Grup 3	Grup 4
Estada mèdica: dies del 1r al 5è	378,00 €	536,00 €	630,00 €
Estada mèdica: dies a partir del 6è i següents	300,00 €	425,00 €	500,00 €
Estada quirúrgica: dies del 1r al 5è	480,00 €	680,00 €	800,00 €
Estada quirúrgica: dies a partir del 6è i següents	342,00 €	485,00 €	570,00 €
Estada de complexitat superior	510,00 €	723,00 €	850,00 €
Estada especial: UCI, cremats, etc.	1.105,00 €	1.105,00 €	1.300,00 €

Figura 33: Preu d'estada d'hospitalització convencional

Font: Diari oficial de la Generalitat de Catalunya, departament de salut, 2013

On Grup 1 correspon a hospitals generals bàsics aïllats i hospitals complementaris, Grup 2 són hospitals generals bàsics, grup 3 són hospitals de referència i grup 4 són hospitals d'alta tecnologia.

### 3.2.4 Dades del tràfic rodats i efectes principals

Per entendre la procedència dels gasos contaminants del tràfic rodats, cal tindre present la mitjana de vehicles que circulen per Barcelona en un dia. Per a això es fa servir l'IMD, la intensitat mitja diària, que s'obté dividint el volum de vehicles que passen per una carretera en un any entre 365 dies. Tot i que cal destacar que l'IMD no va correlacionat sempre a un major nombre de gasos contaminants, ja que també cal tindre present quin % d'aquests vehicles són de motor de combustió o si els gasos emesos per aquests vehicles es queden, a causa dels factors atmosfèrics, atrapats a la ciutat o pel contrari, es dispersen per l'atmosfera.

De les estadístiques de transport i mobilitat de Barcelona, s'ha pogut fer aquestes gràfiques de l'IMD dels anys 2014 al 2021 de les principals vies de Barcelona, on per a cada gràfica hi ha un mapa per poder saber la ubicació de les vies dins de la ciutat:

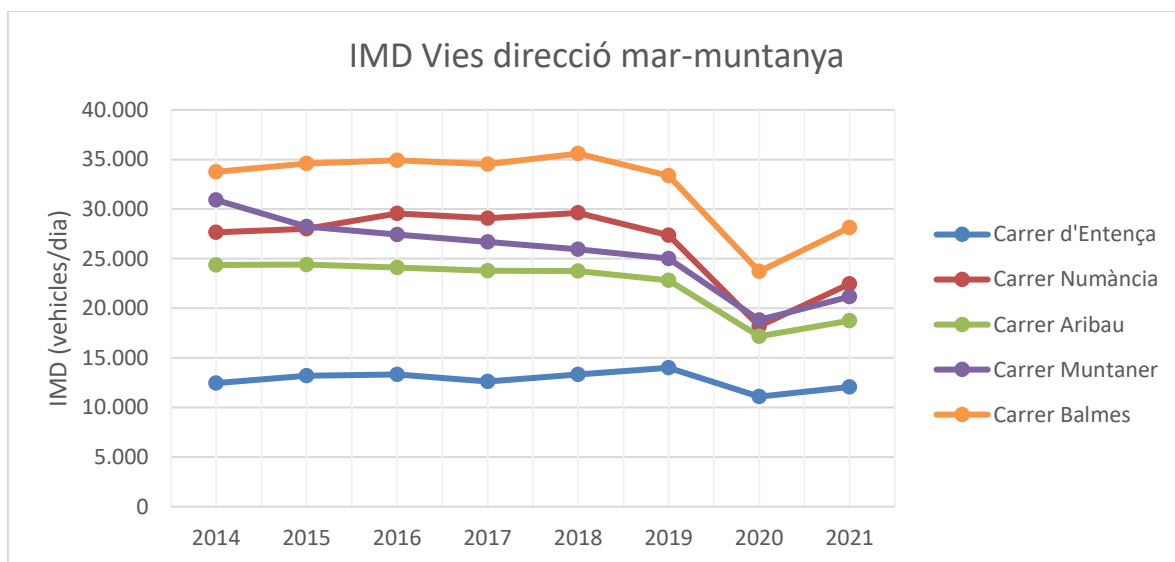


Figura 34: IMD Vies direcció mar-muntanya  
Font de les dades: Ajuntament de Barcelona, 2022



Figura 35: Situació Vies direcció mar-muntanya  
Font: Pròpia

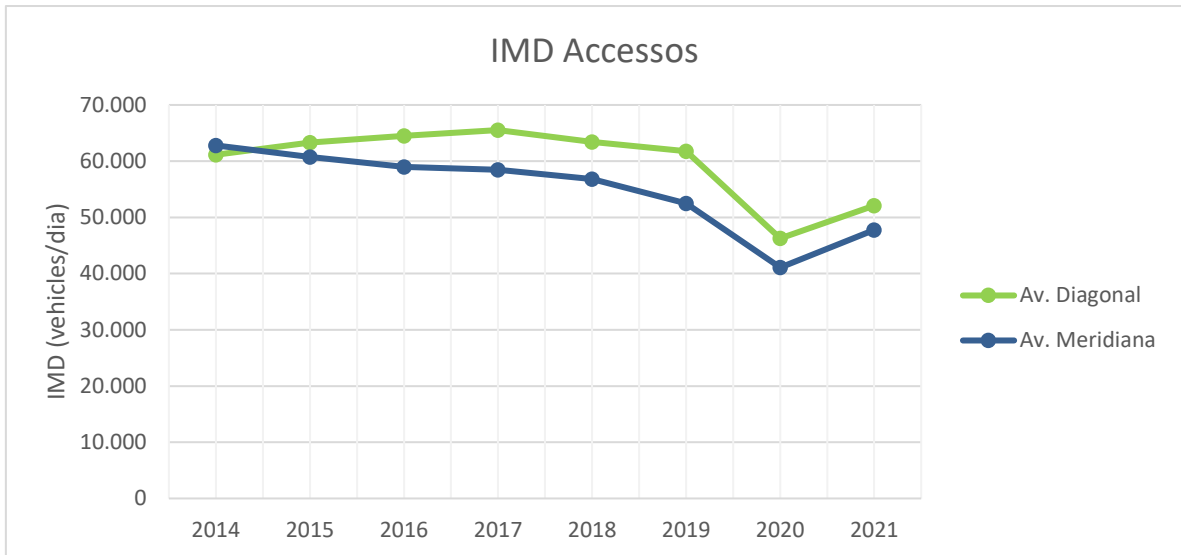
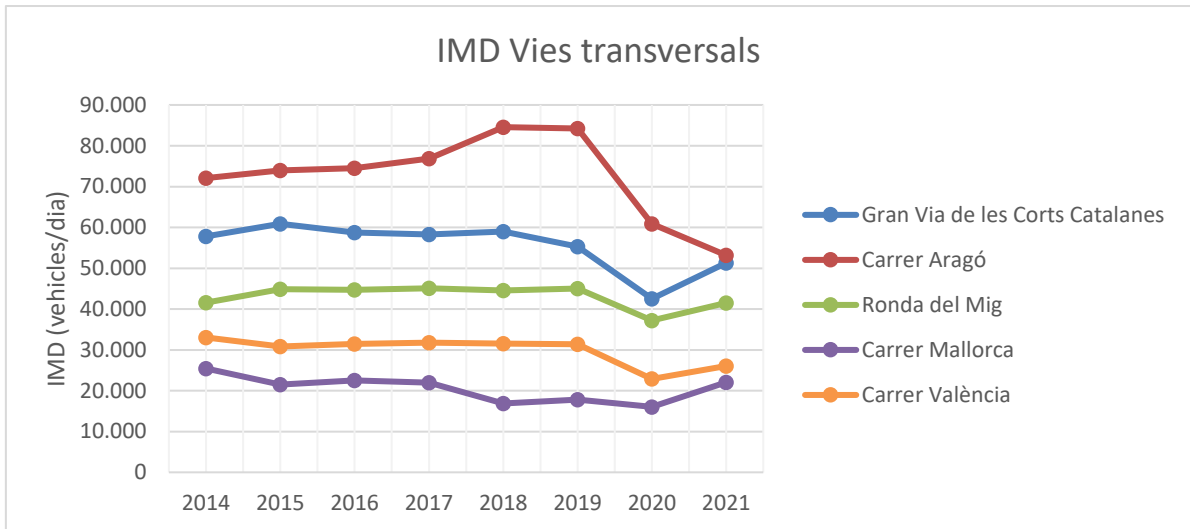


Figura 36: Accessos  
Font de les dades: Ajuntament de Barcelona, 2022



Figura 37: Situació del Accessos  
Font: Pròpia

*Efectes dels gasos contaminants sobre la salut humana i la biodiversitat en nuclis urbans i morbiditat de l'aparell respiratori causada per l'O3 a Barcelona*



*Figura 38: IMD Vies transversals*  
*Font de les dades: Ajuntament de Barcelona, 2022*



*Figura 39: Situació de les vies transversals*  
*Font: Pròpia*

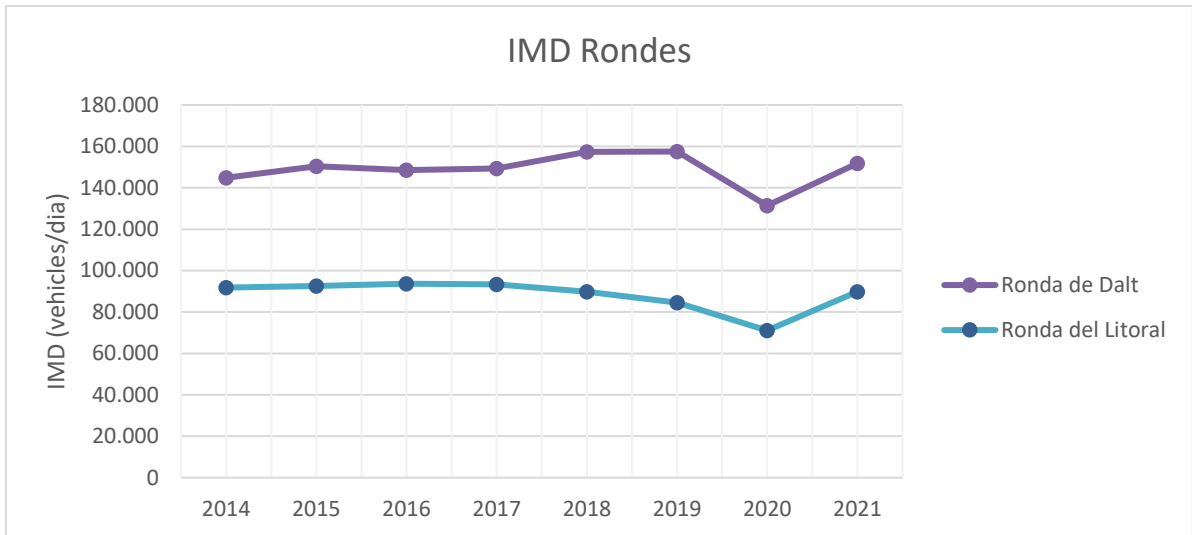


Figura 40: IMD Rondes  
Font de les dades: Ajuntament de Barcelona, 2022

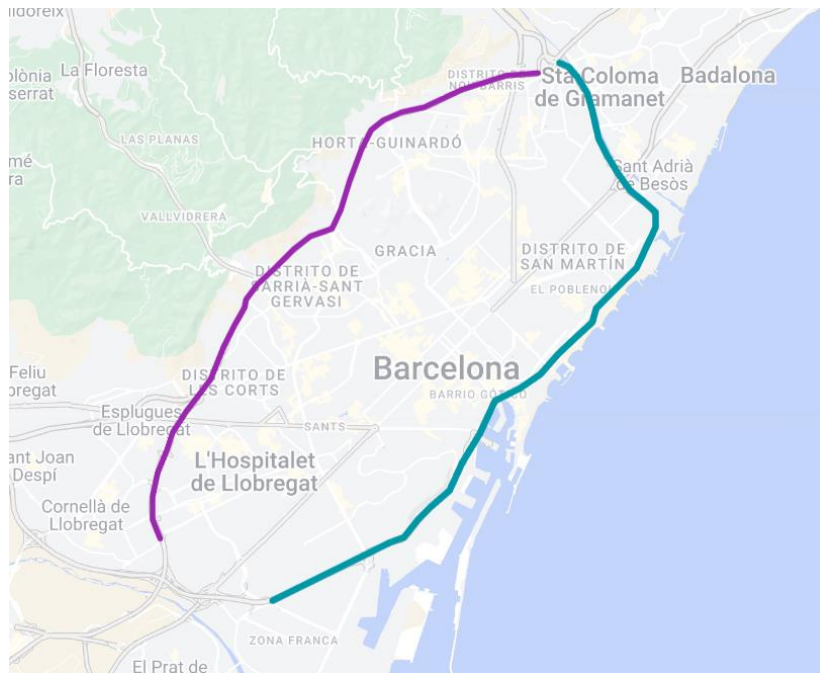


Figura 41: Situació de les vies transversals  
Font: Pròpia

Es pot apreciar en totes les gràfiques que del 2014 al 2019, en general, la variació de l'IMD no és molt gran, tot i que cal destacar la disminució del tràfic als Accessos i el dràstic increment del tràfic que el carrer Aragó va experimentar.

Això és preocupant, ja que el carrer Aragó passa pel mig de la ciutat (Figura 39) i que augmenti el tràfic de vehicles per allà pot ser problemàtic per la salut dels habitants de Barcelona.

Després, en totes les gràfiques es veu una gran disminució de l'IMD l'any 2020 (excepte el carrer Mallorca on la disminució no és tan pronunciada com a les altres vies). Això és degut a la COVID-19 i el confinament dels habitants.

L'any 2021, que ja pot ser considerat un any normal, es pot apreciar, respecte del 2019, un descens de l'IMD a les vies direcció mar-muntanya, als accessos, al carrer Aragó i en algunes vies transversals. Això pot ser degut a les polítiques que la ciutat va adoptar al 2020 i 2021 de reducció d'emissions amb mesures com la zona de baixes emissions i també a una remodelació dels carrers, traient carrils al vehicle privat (Figura 42).

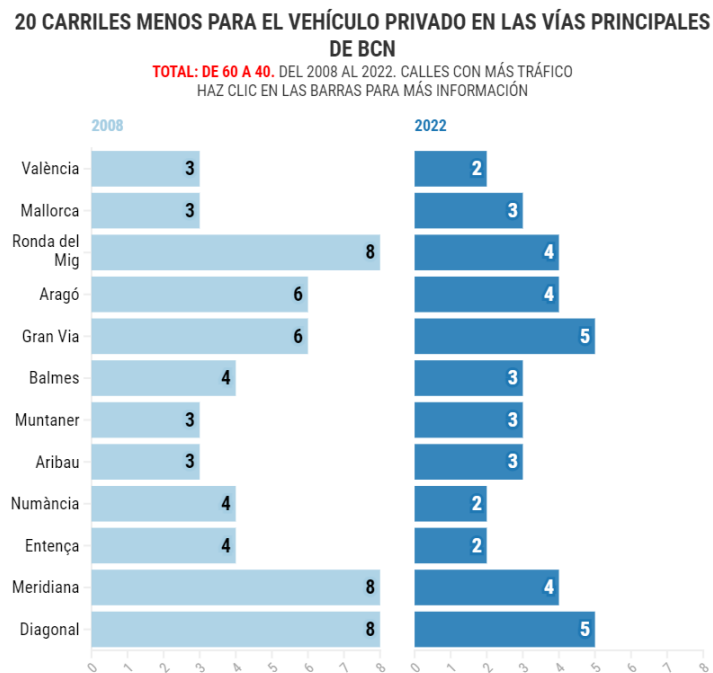


Figura 42: Diferència de carrils per al vehicle privat 2008-2022  
Font: diari EPE, 2022

A les rondes, no es pot apreciar aquesta tendència de disminució del IMD que tenen les altres vies, això pot ser degut a que les rondes són generalment fetes servir per a passar Barcelona d'una punta a l'altra d'una forma ràpida i sense haver-se d'endinsar a la ciutat. Llavors molts usuaris de les rondes poden no veure's beneficiats d'una millora de transport públic dins de la ciutat. Amés, la zona de baixes emissions implementada a la ciutat de Barcelona l'any 2020, no inclou les rondes, així que els vehicles més contaminants que per exemple, ja no poden circular per la diagonal, poden continuar circulant per les rondes.

### 3.3 O<sub>3</sub> i activitat econòmica

#### 3.3.1 Descripció estadística

Amb les dades mostrades anteriorment, s'ha fet un anàlisi de dades per a l'O<sub>3</sub> (Figura 43)

O <sub>3</sub>	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Max	Min	Mitjana aritmètica	Mediana	Rang	Desviació mitja	Variància	Desviació estandar	Coefficient de variació
Mitjana anual	39	43	-	-	-	53	43	56	-	-	-	56,00	39,00	46,80	43,00	17,00	6,16	53,20	7,29	0,16
màxim 8-horari	144	149	-	-	-	170	140	169	-	-	-	170,00	140,00	154,40	149,00	30,00	12,08	200,30	14,15	0,09
Dies amb superacions màxim 8-horari	1	1	-	-	-	6	2	7	-	-	-	7,00	1,00	3,40	2,00	6,00	2,48	8,30	2,88	0,85
Màxim horari	211	176	-	-	-	229	190	196	-	-	-	229,00	176,00	200,40	196,00	53,00	15,68	413,30	20,33	0,10
Superacions lílindars horari d'informació	2	0	-	-	-	1	2	2	-	-	-	2,00	0,00	1,40	2,00	2,00	0,72	0,80	0,89	0,64
Superacions lílindars horari alerta	0	0	-	-	-	0	0	0	-	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-

A. Eixample, B. Gràcia-Sant Gervasi, C. Plaça Universitat, D. Poblenou, E. Sants, F. Palau Reial, G. Ciutadella, H. Vall d'Hebron, I. IES Verdaguier, J. IES Goya i K. Zona Universitària

Figura 43: Anàlisi de dades O<sub>3</sub>  
 Font: Pròpia a partir de les dades del anuari estadístic de Barcelona

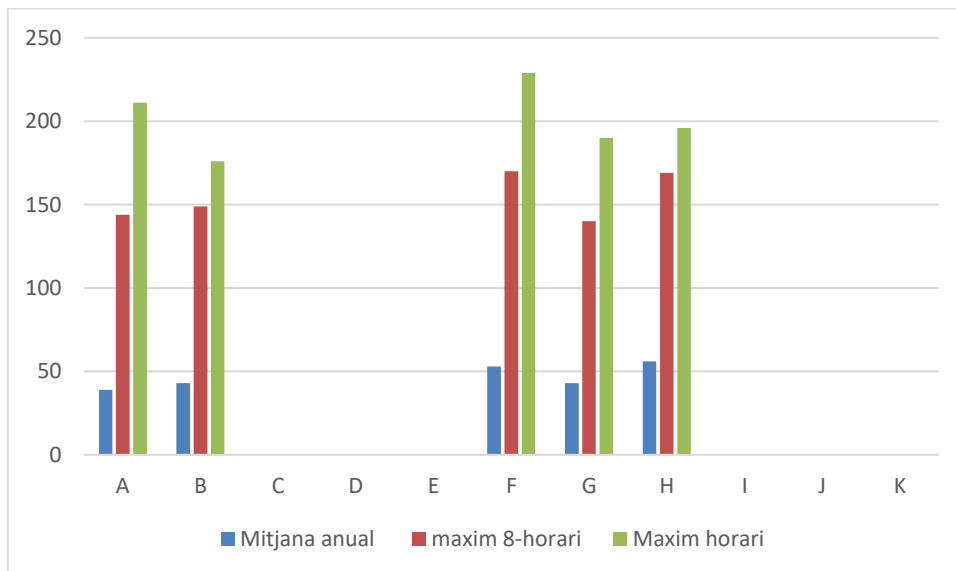


Figura 44: Nivells d'O<sub>3</sub> a cada estació  
 Font: Pròpia a partir de les dades del anuari estadístic de Barcelona

Es pot observar que sol es disposa de les dades de 5 estacions (Figura 44) però aquestes són homogènies, amb coeficients de variació del 16%, 9% i 10% per a la mitjana anual, màxim 8-horari i màxim horari respectivament (Figura 43).

Per als càlculs posteriors, es farà servir la mitjana aritmètica de la mitjana anual del O<sub>3</sub> com a concentració base i la mitjana aritmètica del màxim 8 horari com a concentració de contaminant de control. La raó per la que es farà servir el màxim 8 horari i no el màxim horari com a concertació de control és perquè el màxim 8 horari pot representar millor els nivells d'ozó que es queden atrapats a l'atmosfera baixa i que en definitiva, si l'ozó es queda atrapat a la ciutat, representa un problema per a la salut major. Amés, els estàndards del O<sub>3</sub> es solen donar amb la mitjana del màxim 8 horari perquè és la mesura que suposa més protecció per a la salut.



### 3.3.2 Gasos i salut: efectes sobre les hores de treball de les emissions de O<sub>3</sub>

Per a calcular els dies de treball perduts a causa de la contaminació de l'aire per O<sub>3</sub>, s'ha seguit una metodologia molt similar a la que va fer servir Ostro, 2004:

S'ha calculat Y<sub>0</sub>, que és la incidència de la població de l'efecte sobre la salut donat, és a dir la taxa d'hospitalitzacions per malalties respiratòries entre els habitants de Barcelona en un any.

$$Y_0 = \frac{\text{hospitalitzacions}}{\text{població}} \quad (22)$$

Després s'ha calculat el risc relatiu (RR) fent servir la fórmula que proposa Ostro en la taula de la figura 45 com el model Cox i log-lineal.

Outcome and exposure metric	Source	Relative risk function <sup>a</sup>	Suggested $\beta$ coefficient (95% CI)	Subgroup
All-cause mortality and short-term exposure to PM10 <sup>b</sup>	Meta-analysis and expert judgment (see text)	RR = exp[ $\beta$ (X - X <sub>0</sub> )]	0.0008 (0.0006 - 0.0010) <sup>c</sup>	All ages
Respiratory mortality and short-term exposure to PM10 (all-cause mortality for upper bound where applicable)	Meta-analysis (Table 2)	RR = exp[ $\beta$ (X - X <sub>0</sub> )]	0.00166 (0.00034, 0.0030)	Age <5 years
Cardiopulmonary mortality and long-term exposure to PM2.5	Pope et al. (2002); R Burnett <sup>d</sup>	RR = [(X+1)/(X <sub>0</sub> +1)] <sup>b</sup>	0.15515 (0.0562, 0.2541)	Age >30 years
Lung cancer and long-term exposure to PM2.5	Pope et al. (2002); R Burnett <sup>d</sup>	RR = [(X+1)/(X <sub>0</sub> +1)] <sup>b</sup>	0.23218 (0.08563, 0.37873)	Age >30 years

<sup>a</sup> X = current pollutant concentration ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) and X<sub>0</sub> = target or threshold concentration of pollutant ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

<sup>b</sup> Not used in DALY calculations and should not be added to the other mortality estimates.

<sup>c</sup> Presentation of a range rather than a point estimate is preferred.

<sup>d</sup> Personal communication.

Figura 45: Funcions de risc fetes servir depenent dels riscos per a la salut  
Font: Ostro, 2004

$$RR = e^{\beta \Delta x} \quad (8)$$

On seguint la recomanació d'Oslo,  $\beta$  pren el valor de 0,0008 i després es consideren els límits (0,0006 i 0,0010).  $\Delta x$  s'ha obtingut fent la diferència entre la mitjana dels nivells màxims 8-horaris d'O<sub>3</sub> i la mitjana anual d'O<sub>3</sub>.

Un cop determinats tots els riscos relatius, l'AF (Fracció atribuïble) dels efectes sobre la salut de la contaminació atmosfèrica del ozó per a la població exposada pot ser calculat per:

$$AF = \frac{RR - 1}{RR} \quad (23)$$

I amb AF,  $Y_0$  i la població es pot obtenir les hospitalitzacions/any per causes respiratòries per culpa d'un cert increment de l'O<sub>3</sub> respecte a la mitjana anual.

$$E = AF * Y_0 * P \quad (24)$$

Les hores de treball perdudes (HP) a causa d'una hospitalització per problemes respiratoris es calcula de la següent manera:

$$HP = DI * 8 \quad (25)$$

On el valor 8 és el nombre d'hores de treball en un dia i DI els dies d'ingrés.

Llavors es pot calcular les hores de treball perdudes anualment (HP<sub>1a</sub>).

$$HP_{1a} = E * HP \quad (26)$$

I finalment es pot obtenir els dies de treball perduts (DP<sub>1a</sub>) passant les hores a dies.

$$DP_{1a} = \frac{HP_{1a}}{24} \quad (27)$$

També amb les dades de l'ingrés mitjà per malalties respiratòries als hospitals i el preu que costa estar ingressat un dia (on s'ha fet la mitjana del preu d'estada mèdica del dia 1 al 5 dels 4 grups d'hospitals de la Figura 33), es pot obtenir el preu total d'ingrés a l'hospital (PI).

$$PI = DI * \frac{Preu}{dia} \quad (28)$$

Multiplicant el preu d'estada per les hospitalitzacions/any s'obté el cost anual (CA) per hospitalitzacions a causa d'un increment d'O<sub>3</sub>

$$CA = E * PI$$

(29)

## 4. Resultats

El que s'ha obtingut a la ciutat de Barcelona per una variació del màxim 8-horari d'O<sub>3</sub> respecte a la mitjana anual d'O<sub>3</sub> de 108 µg/m<sup>3</sup> per a una β de 0,0008 ha sigut el següent:

- RR= 1,090
- AF= 0,083
- E= 1712 hospitalitzacions/any
- HP= 44 hores
- HP<sub>1a</sub>= 75338,417 hores
- DP<sub>1a</sub>= 3139,101 dies
- PI= 2642,75 €
- CA= 4.525.013,69 €

En les següents gràfiques es pot apreciar com la variació els valors de E, HP<sub>1a</sub>, DP<sub>1a</sub>, i CA en els màxims i mínims (β=0,0006 i β=0,001).

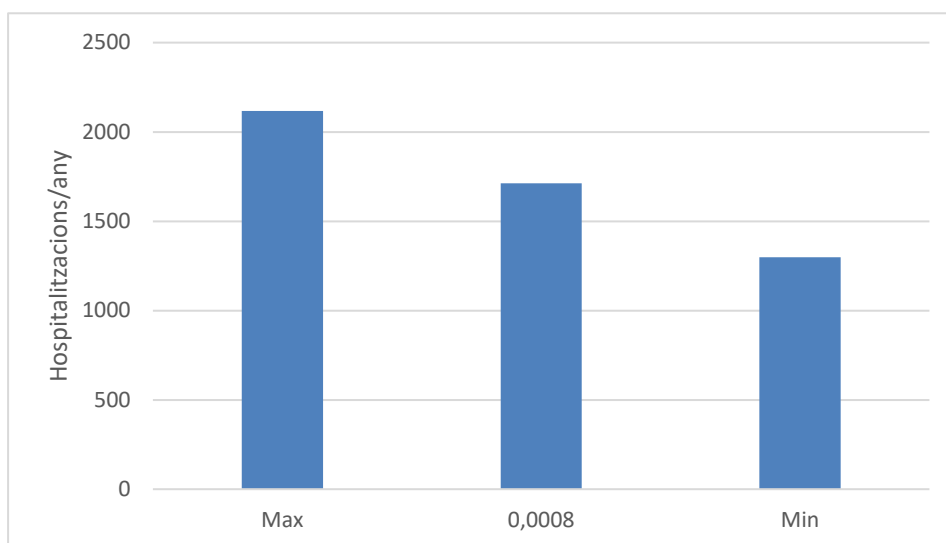
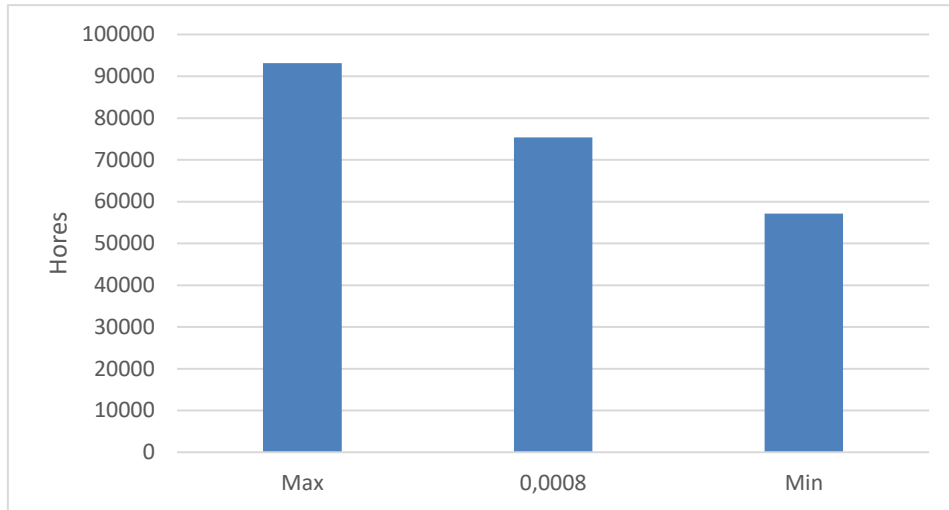
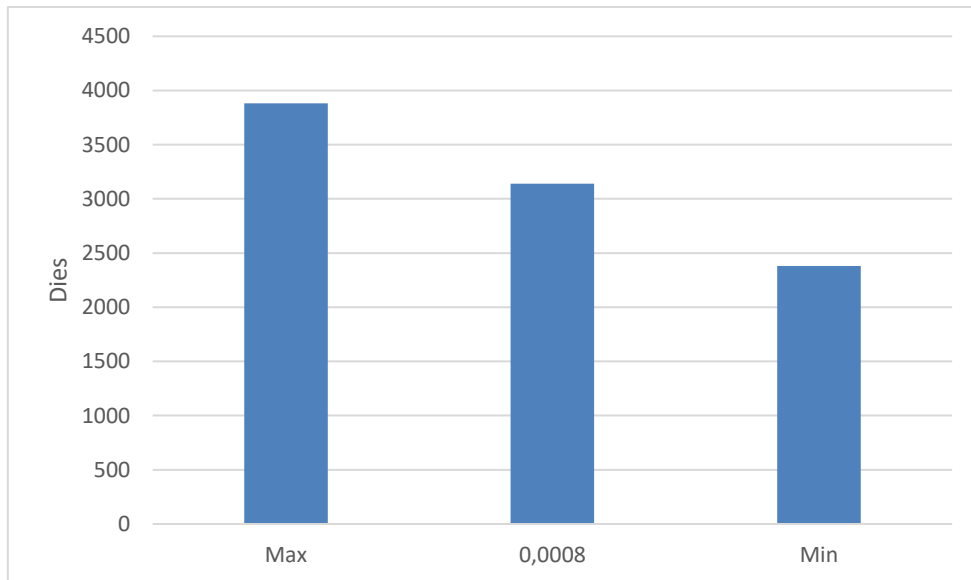


Figura 46: Hospitalitzacions anuals degudes a problemes respiratoris per O<sub>3</sub>  
Font: Pròpia

*Efectes dels gasos contaminants sobre la salut humana i la biodiversitat en nuclis urbans i morbiditat de l'aparell respiratori causada per l'O3 a Barcelona*



*Figura 47: Hores de treball perdudes en un any degut a problemes respiratoris per O3  
Font: Pròpia*



*Figura 48: Dies de treball perduts en un any degut a problemes respiratoris per O3  
Font: Pròpia*

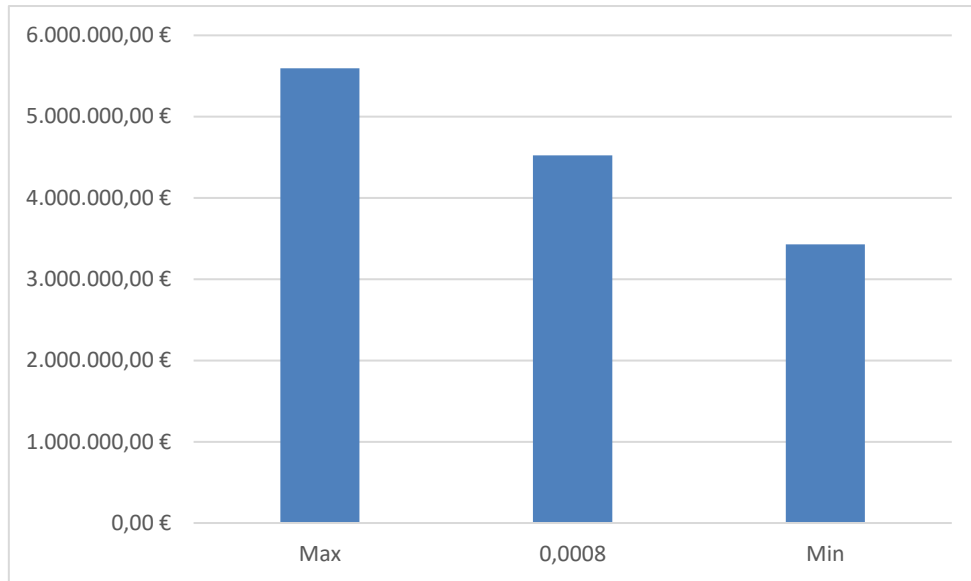


Figura 49: Cost anual per hospitalitzacions degudes a problemes respiratoris per O<sub>3</sub>  
Font: Pròpia

El nombre d'hospitalitzacions anuals degudes a un augment de 108 µg/m<sup>3</sup> d'O<sub>3</sub>, agafant el valor mig, representa un 8,28% de les hospitalitzacions totals a Barcelona per causes respiratòries l'any 2019 i suposa alhora un 0,84% de les hospitalitzacions totals l'any 2019 a Barcelona.

La despesa en sanitat pública l'any 2019 va ser de 12.241,2 milions d'euros. El cost anual per hospitalitzacions degudes a problemes respiratoris per O<sub>3</sub>, agafant el valor mig, suposaria un 0,037% del cost total de sanitat aquell any.

## 5. Conclusions

En aquest treball s'han vist quines són les principals fonts de contaminació urbana i parlat dels principals gasos contaminants que es poden trobar en un nucli urbà, descrivint el gas i explicant els principals efectes adversos que aquests suposen per a l'ésser humà i per a la biodiversitat. Tanmateix, la contaminació urbana no tan sols té efectes directes sobre la salut, sinó que també gasos com PM<sub>2,5</sub>, el CO i l'O<sub>3</sub> han estat relacionats a increments en el nombre de casos de COVID-19.

A més, s'han vist efectes negatius que la contaminació causa al medi ambient com la pluja àcida o l'smog i com aquests dos afecten la biodiversitat.

També s'ha detallat els grups de persones més sensibles a desenvolupar patologies a causa de la contaminació i s'ha desenvolupat el terme biodiversitat i vist com està avui en dia a Barcelona.

S'ha estudiat les fases d'un estudi sobre l'efecte dels gasos contaminants en els éssers humans, tot i que en aquest treball, no s'ha realitzat un estudi complet, sinó que s'ha aplicat una de les diverses metodologies exposades. S'ha explicat alguna d'aquesta metodologia ha sigut aplicada a Barcelona per a més endavant, mostrar les dades del tràfic rodat a Barcelona entre els anys 2014 i 2021.

Fent servir un mètode lineal, s'han calculat les hospitalitzacions, hores i dies de treballs perduts i cost anual sanitari que suposa l'O<sub>3</sub> al sistema respiratori dels habitants de Barcelona i s'ha trobat que per un augment de 108 µg/m<sup>3</sup>, la contaminació per O<sub>3</sub> representa un 8,28% de les hospitalitzacions totals a Barcelona per causes respiratòries al 2019 i un 0,84% de les hospitalitzacions totals a Barcelona al 2019. També s'ha obtingut que la contaminació per ozó representa un 0,037% de la despesa anual en sanitat l'any 2019.

Aquests percentatges no són molt grans, però cal recalcar que és una aproximació bàsica per a l'ozó en quant a morbiditat respiratòria i com s'ha vist, l'ozó també va relacionat amb altres problemes de salut i també, és complicat destriar si és un contaminant concret o la barreja de tots ells la causa de les diferents patologies que es relacionen amb l'exposició a la contaminació atmosfèrica. Pel que el percentatge d'hospitalitzacions i cost de la sanitat pública a causa dels gasos contaminants pot ser major. Malgrat això, aquests efectes negatius causats per la contaminació urbana antropogènica, poden ser mitigats amb petits canvis que poden ser molt beneficiosos per a la població, com ara una conscienciació dels ciutadans a fer servir transport públic o almenys vehicles elèctrics, restringir el pàrquing dins de les ciutats o restringir els vehicles més contaminants dins de les ciutats entre altres moltes mesures.

Alhora, s'ha fet servir una metodologia molt similar a la que va fer servir Oslo l'any 2004 per a estudiar els efectes del PM a Bangkok, fet que no es pot saber de ciència certa si la mateixa metodologia pot ser aplicada per a l'O<sub>3</sub> a Barcelona.

Després, el model lineal que s'ha fet servir és bastant bàsic i potser per a un estudi més avançat, un altre tipus de model pot ser més adequat per a estudiar els efectes sobre la salut de la contaminació de l'aire urbà.

També, s'ha agafat tota la població com igual, tot i que com ja s'ha parlat, cada individu té uns hàbits i una predisposició a desenvolupar malalties diferents, fent que un estudi de tal magnitud tingui molts més matisos.

Finalment, cal considerar que l'exposició a l'aire contaminat no és homogeni a tota la ciutat i el que s'ha fet en aquest treball és agafar la mitja. Potser un estudi per àrees d'estacions de mostreig, hauria donat un resultat més precís.



## Bibliografia

- Abbey, D. E., Nishino, N., McDonnell, W. F., Burchette, R. J., Knutsen, S. F., Lawrence Beeson, W., & Yang, J. X. (1999). Long-term inhalable particles and other air pollutants related to mortality in nonsmokers. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 159(2), 373–382. <https://doi.org/10.1164/airccm.159.2.9806020>
- Adach, W., Błaszczak, M., and Olas, B. (2020). Carbon Monoxide and its Donors - Chemical and Biological Properties. *Chemico-Biological Interactions* 318, 108973. doi:10.1016/j.cbi.2020.108973
- Agbaire, Patience & Esiefarienrhe, E.. (2010). Air Pollution Tolerance Indices (APTI) of some plants around Otorogun gas plant in Delta state, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management* (ISSN: 1119-8362) Vol 13 Num 1. 13. 10.4314/jasem.v13i1.55251.
- Aherne, J., and M. Posch. 2013. Impacts of nitrogen and sulphur deposition on forest ecosystem services in Canada. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 5:108-115.
- Airqoon. (Març / 2019). Urban Air Pollution: Sources and Pollutants. Recollit de <https://www.airqoon.com/urban-air-pollution-sources-and-pollutants.html>
- Ajuntament de Barcelona, 2022. Atlas de biodiversidad de Barcelona. Recollit de <https://ajuntament.barcelona.cat/ecologiaurbana/es/atlas-de-biodiversidad-de-barcelona>
- Ajuntament de Barcelona. 2020. Anuari Estadístic de la Ciutat de Barcelona 2020. Recollit de [https://ajuntament.barcelona.cat/estadistica/catala/Anuaris/Anuaris/anuari20/Anuari2020\\_AAF.pdf](https://ajuntament.barcelona.cat/estadistica/catala/Anuaris/Anuaris/anuari20/Anuari2020_AAF.pdf)
- Ajuntament de Barcelona. 2021. Volum de trànsit a les principals vies. Recollit de [https://ajuntament.barcelona.cat/estadistica/catala/Estadistiques\\_per\\_temes/Transport\\_i\\_mobilitat/Mobilitat/Circulacio/Volum\\_transit/v1.htm](https://ajuntament.barcelona.cat/estadistica/catala/Estadistiques_per_temes/Transport_i_mobilitat/Mobilitat/Circulacio/Volum_transit/v1.htm)
- Ajuntament de Barcelona. Setembre, 2021. Pla Natura Barcelona 2021-2030. Recollit de [https://ajbcn-decidim-barcelona.s3.amazonaws.com/decidim-barcelona/uploads/decidim/attachment/file/12162/Pla\\_Natura\\_Barcelona\\_2030\\_digital.pdf](https://ajbcn-decidim-barcelona.s3.amazonaws.com/decidim-barcelona/uploads/decidim/attachment/file/12162/Pla_Natura_Barcelona_2030_digital.pdf)
- American Museum of Natural History. (2021). What is Biodiversity? Recollit de <https://www.amnh.org/research/center-for-biodiversity-conservation/what-is-biodiversity>
- Augusto, S., C. Máguas, et al. (2013). "Guidelines for biomonitoring persistent organic pollutants (POPs), using lichens and aquatic mosses – A review." *Environmental Pollution* 180(0): 330–338
- Bell, M. L.; McDermott, A.; Zeger, S. L.; Samet, J. M.; Dominici, F. (2004) Ozone and short-term mortality in 95 US urban communities, 1987-2000. *JAMA J. Am. Med. Assoc.* 292: 2372-2378.
- BERGMAN, W. Farbatlas Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen für den Genbrauch in Feldbestand. *VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, Germany*, 1983.
- Betzlberger, A.M., Gillespie, K.M., McGrath, J.M., Koester, R.P., Nelson, R.L. & Ainsworth, E.A. (2010) Effects of chronic elevated ozone concentration on antioxidant capacity, photosynthesis and seed yield of 10 soybean cultivars. *Plant, Cell and Environment*, 33, 1569–1581.
- Betzlberger, A.M., Yendrek, C.R., Sun, J., Leisner, C.P., Nelson, R.L., Ort, D.R. et al. (2012) Ozone exposure response for U.S. soybean cultivars: linear reductions in photosynthetic potential, biomass, and yield. *Plant Physiology*, 160, 1827–1839.
- Black, V.J. (1985). SO2 effects on stomatal behavior. In: Winner W.E., Mooney, H.A. and Goldstein R.A. eds. *Sulfur dioxide and vegetation*. Stanford, CA: Stanford University Press: 96–117
- Bobbink, R., and L.P.M. Lamers. 2002. Effects of increased nitrogen deposition. In: Bell, J.N.D., and M. Treshow (eds). *Air pollution and plant life*, 2nd edition. John Wiley and Sons Ltd, Chichester, U.K.
- Ceballos, L. (2020). Efecto de la contaminación del aire sobre las plantas. Recollit de <http://arboretoluisceballos.blogspot.com/2020/06/efecto-de-la-contaminacion-del-aire.html>
- Cape, J.N. Effects of airborne volatile organic compounds on plants, *Environmental Pollution*, Volume 122, Issue 1, 2003, Pages 145-157, ISSN 0269-7491, [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00273-7](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00273-7).
- Castro Ribeiro, M., P. Pinho, et al. (2014). "Associations between outdoor air quality and birth weight: a geostatistical sequential simulation approach in Coastal Alentejo, Portugal." *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 28(3): 527–540.
- Centro nacional del medio ambiente de Chile. 2015. Efectos del SO2 en la salud de las personas. Recollit de [https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2015/proyectos/VI\\_Efectos\\_del\\_SO2\\_en\\_la\\_salud\\_de\\_las\\_personas.pdf](https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2015/proyectos/VI_Efectos_del_SO2_en_la_salud_de_las_personas.pdf)
- Costonis, A.C. (1976). Criteria for evaluating air pollution injury to forest trees. Oslo, Norway: IUFRO Congress.
- Departament de Salut. 2013. Preus públics catsalut. Recollit de <https://www.uch.cat/documents/preus-publics-catsalut.pdf>
- Depayras, S., Kondakova, T., Heipieper, H. J., Feuilloley, M. G., Orange, N., & Duclairoir-Poc, C. (2018). The Hidden Face of Nitrogen Oxides Species: From Toxic Effects to Potential Cure?. In S. Soloneski, & M. L. Larramendy (Eds.), *Emerging Pollutants - Some Strategies for the Quality Preservation of Our Environment*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75822>

- Donaldson, K., Mills, N., MacNee, W., Robinson, S., & Newby, D. (2005). Role of inflammation in cardiopulmonary health effects of PM. *Toxicology and applied pharmacology*, 207(2 Suppl), 483–488. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2005.02.020>
- Dulal Chandra Saha, Pratap Kumar Padhy, Effects of stone crushing industry on Shorea robusta and Madhuca indica foliage in Lalpahari forest, *Atmospheric Pollution Research*, Volume 2, Issue 4, 2011, Pages 463-476, ISSN 1309-1042, <https://doi.org/10.5094/APR.2011.053>.
- Environmental Protection Agency (EPA). 2021. Recol·lit de <https://www.epa.gov/>
- Environmental Protection Agency (EPA). Abril, 2012. Air Quality Communication Workshop. Recol·lit de <https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-05/documents/huff-particle.pdf>
- Environmental Protection Agency (EPA). Setembre, 2018. Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – the Air Quality Index (AQI). Recol·lit de <https://www.airnow.gov/sites/default/files/2020-05/aqi-technical-assistance-document-sept2018.pdf>
- European Commission Health & Consumer Protection. (2007). Opinion on risk assessment on indoor air quality. Scientific Committee on Health and Environmental Risks. Brussels.
- European Environment Agency (EEA). Abril, 2016. Ozone (O3). Recol·lit de <https://www.eea.europa.eu/publications/2-9167-057-X/page022.html>
- Exhaust gas cleaning Systems association (EGCSA). 2021. What are the effects of sulphur oxides on human health and ecosystems? Recol·lit de <https://www.egcsa.com/technical-reference/what-are-the-effects-of-sulphur-oxides-on-human-health-and-ecosystems/>
- Fernández, L. Juny, 2015. El papel de los óxidos de nitrógeno en el Cambio Climático. Efectos sobre la salud. Universidad complutense, facultad de farmàcia
- Gadsdon, S. R., J. R. Dagley, et al. (2010). "Relationships between lichen community composition and concentrations of NO2 and NH3." *Environmental Pollution* 158(8): 2553–2560.
- Giuliano Polichetti, Stefania Cocco, Alessandra Spinali, Valentina Trimarco, Alfredo Nunziata, Effects of particulate matter (PM10, PM2.5 and PM1) on the cardiovascular system, *Toxicology*, Volume 261, Issues 1–2, 2009, Pages 1-8, ISSN 0300-483X, <https://doi.org/10.1016/j.tox.2009.04.035>.
- Godleski, J. J., Verrier, R. L., Koutrakis, P., Catalano, P., Coull, B., Reinisch, U., Lovett, E. G., Lawrence, J., Murthy, G. G., Wolfson, J. M., Clarke, R. W., Nearing, B. D., & Killingsworth, C. (2000). Mechanisms of morbidity and mortality from exposure to ambient air particles. *Research report (Health Effects Institute)*, (91), 5–103.
- Green Facts. (2008). Calidad del aire interior [https://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/opinions\\_layman/es/contaminacion-aire-interior/index.htm#3](https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/es/contaminacion-aire-interior/index.htm#3)
- Greenteach (2022). Los COV o Compuestos Orgánicos Volátiles: qué son y cuáles son sus efectos.
- Gyarmati-Szabó János, Leonid V. Bogachev, Haibo Chen, Modelling threshold exceedances of air pollution concentrations via non-homogeneous Poisson process with multiple change-points, *Atmospheric Environment*, Volume 45, Issue 31, 2011, Pages 5493-5503, ISSN 1352-2310, <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.06.049>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231011006613>)
- Hamra G.B., Laden F., Cohen A.J., Raaschou-Nielsen O., Brauer M., Loomis D. Lung 2015. Cancer and Exposure to Nitrogen Dioxide and Traffic: A Systematic Review and MetaAnalysis. *Environmental Health Perspectives (EHP)*. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1408882>.
- Harmens, H., L. Foan, et al. (2013). "Terrestrial mosses as biomonitors of atmospheric POPs pollution: A review." *Environmental Pollution* 173(0): 245–254.
- van Haut, H., Prinz, B., 1979. Beurteilung der relativen Pflanzenschadlichkeit organischer Luftverunreinigungen im LIS-Kurzzeittest. *Staub—Reinhalung der Luft* 39, 408–414
- Jerrett, M., Burnett, R. T., Ma, R., Pope, C. A., 3rd, Krewski, D., Newbold, K. B., Thurston, G., Shi, Y., Finkelstein, N., Calle, E. E., & Thun, M. J. (2005). Spatial analysis of air pollution and mortality in Los Angeles. *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, 16(6), 727–736. <https://doi.org/10.1097/01.ede.0000181630.15826.7d>
- Jong-Tae Lee, Ho Kim, Yun-Chul Hong, Ho-Jang Kwon, Joel Schwartz, David C. Christiani, Air Pollution and Daily Mortality in Seven Major Cities of Korea, 1991–1997, *Environmental Research*, Volume 84, Issue 3, 2000, Pages 247-254, ISSN 0013-9351, <https://doi.org/10.1006/enrs.2000.4096>.
- Jovan, S., J. Riddell, et al. (2012). "Eutrophic lichens respond to multiple forms of N: implications for critical levels and critical loads research." *Ecological Applications* 22(7): 1910–1922.
- Khan RR., Siddiqui M.J.A. 2014. Review on effects of Particulates; Sulfur Dioxide and Nitrogen Dioxide on Human Health. *International Research Journal of Environment Sciences*. 2014. 3(4): 70-73.
- Kinoshita, H., Türkan, H., Vucinic, S., Naqvi, S., Bedair, R., Rezaee, R., et al. (2020). Carbon Monoxide Poisoning. *Toxicol. Rep.* 7, 169–173. doi:10.1016/j.toxrep.2020.01.005
- Kuznetsova, V. Setembre, 2017. Medio ambiente frente a la urbanización. Universitat politècnica de Catalunya, Escola tècnica superior d'arquitectura del Vallès.

*Efectes dels gasos contaminants sobre la salut humana i la biodiversitat en nuclis urbans i morbiditat de l'aparell respiratori causada per l'O<sub>3</sub> a Barcelona*

- Laden, F., Schwartz, J., Speizer, F. E., & Dockery, D. W. (2006). Reduction in fine particulate air pollution and mortality: Extended follow-up of the Harvard Six Cities study. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 173(6), 667–672. <https://doi.org/10.1164/rccm.200503-443OC>
- Le Tertre, A., Medina, S., Samoli, E., Forsberg, B., Michelozzi, P., Boumghar, A., Vonk, J. M., Bellini, A., Atkinson, R., Ayres, J. G., Sunyer, J., Schwartz, J., & Katsouyanni, K. (2002). Short-term effects of particulate air pollution on cardiovascular diseases in eight European cities. *Journal of epidemiology and community health*, 56(10), 773–779. <https://doi.org/10.1136/jech.56.10.773>
- Lee, Gunwoo. (2011). Integrated Modeling of Air Quality and Health Impacts of a Freight Transportation Corridor.
- Lee, Gunwoo. (2011). Integrated Modeling of Air Quality and Health Impacts of a Freight Transportation Corridor.
- Lee, J.A. 1998. Unintentional experiments with terrestrial ecosystems: ecological effects of sulphur and nitrogen pollutants. *Journal of Ecology* 86:1–12.
- Lefohn A.S., Lawrence J.A., et al, (1988). A comparison of indices that describe the relationship between exposure to ozone and reduction in the yield of agricultural crops. *Atmospheric Environment*. 22:1229–1240.
- Linzon, S.N. (1978). Effects of airborne sulfur pollutants on plants. In: Nriagu, J. O. ed. *Sulfur in the environment: Part II: ecological impacts*. New York: John Wiley and Sons:109–162
- Mandal, S., Ruggles, R., Leonardi, G., Goodfellow, F., Bradley, N., and Murray, V. (2011). Developing Best Practice Response to Carbon Monoxide Incidents: a Toolkit for Health protection Frontline Staff. *Public Health* 125, 148–156. doi:10.1016/j.puhe.2010.11.011
- Márquez, C. Abril, 2022. Barcelona estrangula el espacio al coche desde hace 15 años con la movilidad metropolitana sin resolver. *El Periodico de España (EPE)*. <https://www.epe.es/es/cataluna/20220407/barcelona-estrangula-espacio-coche-movilidad-13487971>
- Mata, E. V. (2010).. Calidad del aire y sus efectos en la salud humana no.149. CEGESTI Recollit de <https://trinumuguay.com.uy/wp-content/uploads/2021/05/calidad-del-aire-y-sus-efectos-en-la-salud-humana.pdf>
- Medina, S., Plasencia, A., Ballester, F., Mücke, H. G., Schwartz, J., & Apheis group (2004). Apheis: public health impact of PM10 in 19 European cities. *Journal of epidemiology and community health*, 58(10), 831–836. <https://doi.org/10.1136/jech.2003.016386>
- Meo, S. A., Abukhalaf, A. A., Alomar, A. A., Alessa, O. M., Sami, W., and Klonoff, D. C. (2021). Effect of Environmental Pollutants PM-2.5, Carbon Monoxide, and Ozone on the Incidence and Mortality of SARS-COV-2 Infection in Ten Wildfire Affected Counties in California. *Sci. Total Environ.* 757, 143948. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.143948
- Montes, C.M., Demler, H.J., Li, S., Martin, D.G. and Ainsworth, E.A. (2022), Approaches to investigate crop responses to ozone pollution: from O<sub>3</sub>-FACE to satellite-enabled modeling. *Plant J*, 109: 432-446. <https://doi.org/10.1111/tpi.15501>
- National Academy of Sciences. (1977a). Effects of nitrogen oxides on vegetation. In: *Nitrogen Oxides*. Washington, DC: National Academy of Sciences:147–158.
- National Academy of Sciences. (1977b). Ozone and other photochemical oxidants. Washington, DC: National Academy of Sciences. 789 pp
- National Acid Precipitation Assessment Program (NAPAP). (1991). 1990 integrated assessment report. Washington, DC: National Acid Precipitation Assessment Program. 520 pp.
- National Geographic, 2022. Smog. Recollit de <https://education.nationalgeographic.org/resource/smog>
- National Park Service. Setembre, 2018. Sulfur Dioxide Effects on Health. Recollit de <https://www.nps.gov/subjects/air/humanhealth-sulfur.htm>
- Numata, M. (1977). The impact of urbanization on vegetation in Japan. In: Miyawaki, A. & Tuxen, R. (eds.) *Vegetation Science and Environmental Protection*. Maruzen Co. Ltd. Tokyo.
- Nylander, W. (1866). Les lichens du jardin du Luxembourg *Bull. Soc. Bot. Fr.* 13: 364–371.
- Office of Technology Assessment. (1989). *Catching our breath: next steps for reducing urban ozone*. OTA-O-412. Washington, DC: Office of Technology Assessment
- Ontario Biodiversity Council. 2021. State of Ontario's Biodiversity [web application]. Ontario Biodiversity Council, Peterborough, Ontario. [Available at: <http://ontariobiodiversitycouncil.ca/sobr> (Updated: June 1, 2021)].
- Ostro B. *Outdoor air pollution: Assessing the environmental burden of disease at national and local levels*. Geneva, World Health Organization, 2004 (WHO Environmental Burden of Disease Series, No. 5).
- Pereira. C. Desembre, 2016. Biodiversitat urbana a la ciutat de Barcelona. *La Conca 5.1*. Recollit de <https://www.laconca51.cat/biodiversitat-urbana-ciutat-barcelona>
- Pönkä, A., Savela, M., & Virtanen, M. (1998). Mortality and air pollution in Helsinki. *Archives of environmental health*, 53(4), 281–286. <https://doi.org/10.1080/00039899809605709>
- Pope, C. A., 3rd, Burnett, R. T., Thurston, G. D., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., & Godleski, J. J. (2004). Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. *Circulation*, 109(1), 71–77. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000108927.80044.7F>

- Rai, Prabhat Kumar, Impacts of particulate matter pollution on plants: Implications for environmental biomonitoring, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Volume 129, 2016, Pages 120-136, ISSN 0147-6513, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.03.012>.
- Riddell, J., P. E. Padgett, et al. (2012). "Physiological responses of lichens to factorial fumigations with nitric acid and ozone." *Environmental Pollution* 170(0): 202–210.
- Riddell, J., T. H. Nash Iii, et al. (2008). "The effect of HNO<sub>3</sub> gas on the lichen *Ramalina menziesii*." *Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants* 203(1): 47–54.
- Romanelli, C.; Cooper, D.; Campbell-Lendrum, D.; Maiero, M.; Karesh, W.B.; Hunter, D.; Golden, C.D. (2015) Connecting global priorities: biodiversity and human health: a state of knowledge review. WHO/CBD 344p. ISBN 978 92 4 150853 7
- Samoli E, Atkinson RW, Analitis A, et al Associations of short-term exposure to traffic-related air pollution with cardiovascular and respiratory hospital admissions in London, UK *Occupational and Environmental Medicine* 2016;73:300-307.
- Schulze, E., Stix, E., 1990. Beurteilung phytotoxischer Immissionen, für die noch keine Luftqualitätskriterien festgelegt sind. *Angewandte Botanik* 64, 225–235.
- Seaton, A., MacNee, W., Donaldson, K., & Godden, D. (1995). Particulate air pollution and acute health effects. *Lancet* (London, England), 345(8943), 176–178. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(95\)90173-6](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(95)90173-6)
- Seaward, M.R.D. (2002). Lichens as Monitors of Radioelements. *Monitoring with Lichens – Monitoring Lichens*. P. Nimis, C. Scheidegger and P. Wolseley, Springer Netherlands. 7: 85–96.
- Singh A, Nair KC, Kamal R, Bihari V, Gupta MK, Mudiam MK, Satyanarayana GN, Raj A, Haq I, Shukla NK, Khan AH (2016) Assessing hazardous risks of indoor airborne polycyclic aromatic hydrocarbons in the kitchen and its association with lung functions and urinary PAH metabolites in kitchen workers. *Clin Chim Acta* 452:204–213
- Smidt, S., 1992. Überlegungen zur Bedeutung organischer Luftschadstoffe für Waldschäden. *Angewandte Botanik* 66, 180–186.
- Smidt, S., 1994. Gefährdung von Waldbäumen durch organische Luftschadstoffe. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz—Journal of Plant Diseases and Protection* 101, 423–445
- Smith, W.H. (1984). Pollutant uptake by plants. In: Treshow, M. ed. *Air pollution and plant life*. New York: John Wiley and Sons: 417–450
- Smith, W.H. (1990). *Air pollution and forests*. New York: Springer-Verlag. 618 p
- Sobieraj, Karolina & Stegenta-Dąbrowska, Sylwia & Luo, Gang & Koziel, Jacek & Białowiec, Andrzej. (2022). Carbon Monoxide Fate in the Environment as an Inspiration For Biorefinery Industry: A Review. *Frontiers in Environmental Science*. 10. 10.3389/fenvs.2022.822463.
- Soni, V., Singh, P. Shree, V. Goel, V. (2018). Effects of VOCs on Human Health, *Air Pollution and Control*, 119-142 <https://doi.org/10.1007/978-981-10-7185-0>
- Statista. (23 de Maig de 2022). Porcentaje de electricidad generada en el mundo por fuente energética en 2019. Recollit de <https://es.statista.com/estadisticas/600383/electricidad-generada-en-el-mundo-por-fuente-energetica/>
- Sunyer J, Castellsagué J, Sáez M, Tobias A, Antó JM. Air pollution and mortality in Barcelona. *J Epidemiol Community Health*. 1996 Apr;50 Suppl 1(Suppl 1):s76-80. doi: 10.1136/jech.50.suppl\_1.s76. PMID: 8758229; PMCID: PMC1060892.
- Townsend, A.M. (1974). Sorption of ozone by nine shade tree species. *Journal of American Horticultural Science*. 99(3): 206–208.
- U.S.EPA (2010) 'BenMAP: Environmental Benefits Mapping and Analysis Program; User's Manual', *Office of Air Quality Planning and Standards; U.S. Environmental Protection Agency*, August.
- Unwin J, Cocker J, Scobbie E, Chambers H (2006) An assessment of occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in the UK. *Ann Occup Hyg* 50:395–403
- Vries, Impacts of nitrogen emissions on ecosystems and human health: A mini review, *Current Opinion in Environmental Science & Health*, Volume 21, 2021, 100249, ISSN 2468-5844, <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100249>.
- Wang, Y., Li, J., Wang, L., Lin, Y., Zhou, M., Yin, P., et al. (2021). The Impact of Carbon Monoxide on Years of Life Lost and Modified Effect by Individual- and City-Level Characteristics: Evidence from a Nationwide Time-Series Study in China. *Ecotoxicology Environ. Saf.* 210, 111884. doi:10.1016/j.ecoenv.2020.111884
- Wolterbeek, B. (2002). "Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives." *Environmental Pollution* 120(1): 11–21.
- World Health Organization, 2002. *The World Health Report: Reducing Risk Promoting Healthy Life*. World Health Organization, Geneva, Switzerland. Available from: [www.who.int/whr/en/](http://www.who.int/whr/en/).
- WWF (2020) *Living Planet Report 2020 - Bending the curve of biodiversity loss*. Almond, R.E.A., Grooten M. and Petersen, T. (Eds). WWF, Gland, Switzerland.
- Zanobetti, A., Schwartz, J., Samoli, E., Gryparis, A., Touloumi, G., Peacock, J., Anderson, R. H., Le Tertre, A., Bobros, J., Celko, M., Goren, A., Forsberg, B., Michelozzi, P., Rabczenko, D., Hoyos, S. P., Wichmann, H. E., & Katsouyanni, K. (2003). The temporal pattern of respiratory and heart disease mortality in response to air pollution. *Environmental health perspectives*, 111(9), 1188–1193. <https://doi.org/10.1289/ehp.5712>

## Annexos

### Annex 1. Índex de qualitat del aire (ACI)

L'objectiu principal de l'índex de qualitat de l'aire és mesurar la qualitat de l'aire respecte als seus efectes en la salut humana i és un índex diari. És definit respecte dels cinc gasos contaminants més comuns: El monòxid de carboni (CO), el diòxid de nitrogen (NO<sub>2</sub>), l'ozó (O<sub>3</sub>), les partícules en suspensió (PM<sub>10</sub>) i el diòxid de sofre (SO<sub>2</sub>).

Les concentracions de contaminants són convertides a un índex numèric (AQI) amb la fórmula 30 el qual va d'un rang entre el 0 i 500 que és dividit en 6 subcategories de qualitat d'aire (figura 52). Cada subcategoria és representada per un color, el qual permet poder fer mapes molt visuals sobre la qualitat de l'aire. (figura 50).

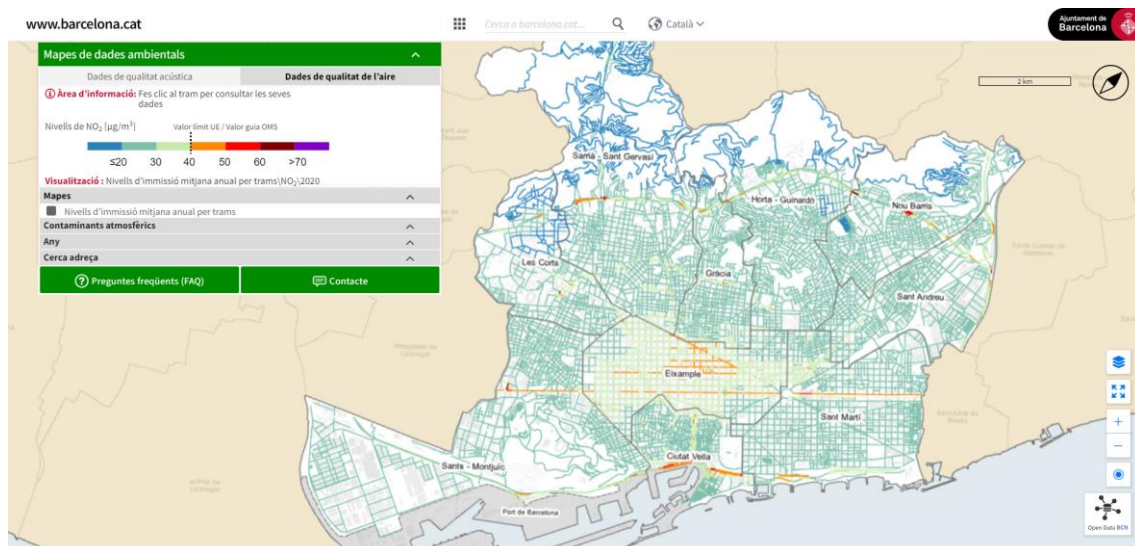


Figura 50: Qualitat de l'aire a Barcelona el 7-9-2022 a les 21:20  
Font: Ajuntament de Barcelona

Aquesta facilitat que dona l'índex AQI per a comunicar la qualitat del aire, es feta servir per governs, telenotícies i aplicacions. (figura 51)



Figura 51: Aplicació del temps d'iOS  
Font: Aplicació del temps iOS

Per a calcular el valor de l'AQI es fa servir el següent procediment (U.S. Environmental Protection Agency, 2018):

- 1- Es trunquen els decimals depenent del tipus de gas:
  - Ozó (ppm): Truncar a 3 decimals
  - PM<sub>2.5</sub> (µg/m<sup>3</sup>): Truncar a 1 decimal
  - PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>): Truncar al nombre enter
  - CO (ppm): Truncar a 1 decimal
  - SO<sub>2</sub> (ppb): Truncar al nombre enter
  - NO<sub>2</sub> (ppb): Truncar al nombre enter
- 2- Fent servir la taula de la figura 52, es busca el rang del AQI que es troba la concentració del gas
- 3- S'aplica la fórmula 30 per a calcular el valor de l'índex
- 4- S'arrodoneix al nombre enter més proper

$$I_p = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo} \quad (30)$$

On  $C_p$  és la concentració truncada del cas contaminant

$BP_{Hi}$  és la concentració del gas contaminant de la figura 52 que és major o igual a  $C_p$

$BP_{Lo}$  és la concentració del gas contaminant de la figura 52 que és menor o igual a  $C_p$

*Efectes dels gasos contaminants sobre la salut humana i la biodiversitat en nuclis urbans i morbiditat de l'aparell respiratori causada per l'O<sub>3</sub> a Barcelona*

$I_{HI}$  és el valor de l'AQI corresponent a  $BP_{HI}$

$I_{LO}$  és el valor de l'AQI corresponent a  $BP_{LO}$

Valors del Índex	O <sub>3</sub> (ppm)		PM (µg/m <sup>3</sup> )		CO (ppm)	SO <sub>2</sub> (ppb)	NO <sub>2</sub> (ppb)
	8 hores	1 hora	PM <sub>2,5</sub> (24 hores)	PM <sub>10</sub> ( 24 hores)	8 hores	1 hora	1 hora
Bona 0-50	0-0,054	-	0-12,0	0-54	0-4,4	0-35	0-53
Moderada 51-100	0,055-0,070	-	12,1-35,4	55-154	4,5-9,4	36-75	54-100
Risc per als grups sensibles 101-150	0,071-0,085	0,125-0,164	35,5-55,4	155-254	9,5-12,4	76-185	101-360
Risc per a la salut 151-200	0,086-0,105	0,165-0,204	55,5-150,4	255-354	12,5-15,4	186-305	361-649
Risc important per a la salut 201-300	0,106-200	0,205-0,404	150,5-250,4	355-424	15,5-30,4	305-604 (24 hores)	650-1249
Perillós 301-500	-	0,405-0,604	250,5-500,4	425-604	30,5-50,4	605-1004 (24 hores)	1250-2049

Figura 52: AQI

Font: U.S. Environmental Protection Agency

En la figura 52 es mostren els valors del O<sub>3</sub>, CO, SO<sub>2</sub> i NO<sub>2</sub> en ppm i ppb perquè així la presenta la EPA i els passos per a calcular l'AQI recomana aquestes unitats. Per a passar de ppb a µg/m<sup>3</sup>, es multiplica la concentració en ppb pel pes molecular del contaminant (figura 53) i es divideix per 24,45. (Aquest últim nombre surt de la llei de gasos ideals, per la temperatura estàndard a 20 graus centígrads).

Contaminant	Pes molecular
O <sub>3</sub>	48 g/mol
CO	28,01 g/mol
SO <sub>2</sub>	64,07 g/mol
NO <sub>2</sub>	46 g/mol

Figura 53: Pes molecular contaminants

Font: ChemicalAid

Depenent del valor de l'AQI de cada gas contaminant, es recomana el següent a la població (figura 54 ) (U.S. Environmental Protection Agency, 2018):

Valors del Índex	O3		PM		CO	SO2	NO2
	8 hores	1 hora	PM2,5 (24 hores)	PM10( 24 hores)	8 hores	1 hora	1 hora
Bona 0-50	-	-	-	-	-	-	-
Moderada 51-100	Les persones que rarament són sensibles a la contaminació haurien de considerar reduir l'esforç físic prolongat o intens a l'aire lliure		Les persones que rarament són sensibles a la contaminació haurien de considerar reduir l'esforç físic prolongat o intens		-	-	Les persones que a vegades són sensibles a la contaminació haurien de considerar limitar l'esforç físic prolongat especialment a prop de carreteres amb molt tràfic
Risc per als grups sensibles 101-150	Les persones amb malalties pulmonars (com l'asma), nens, persones de la tercera edat, persones que són actives a l'aire lliure (inclosos treballadors), persones amb certes variants genètiques, i gent amb dietes pobres en alguns nutrients haurien de reduir l'esforç físic a l'aire		Les persones amb problemes cardiovasculars o pulmonars, gent de la tercera edat, nens i persones de baix nivell socioeconòmic haurien de reduir l'esforç físic prolongat o intens		Les persones amb malalties cardiovasculars, com ara angina, haurien de limitar l'esforç físic intens i evitar fonts de CO com vies amb molt tràfic	Les persones amb asma haurien de considerar limitar l'esforç físic a l'aire lliure	La gent amb asma, nens i gent de la tercera edat haurien de considerar limitar l'esforç físic prolongat especialment a prop de carreteres amb molt tràfic
Risc per a la salut 151-200	Les persones amb malalties pulmonars (com l'asma), nens, persones de la tercera edat, persones que són actives a l'aire lliure (inclosos treballadors), persones amb certes variants genètiques, i gent amb dietes pobres en alguns nutrients haurien d'evitar l'esforç físic a l'aire lliure prolongat o intens; la resta de persones haurien de reduir l'esforç físic a l'aire lliure prolongat o intens		Les persones amb problemes cardiovasculars o pulmonars, gent de la tercera edat, nens i persones de baix nivell socioeconòmic haurien d'evitar l'esforç físic prolongat o intens; la resta de persones hauria de reduir l'esforç físic prolongat o intens		Les persones amb malalties cardiovasculars, com ara angina, haurien de limitar l'esforç físic moderat i evitar fonts de CO com vies amb molt tràfic	Nens, persones amb asma, o altres malalties pulmonars haurien de limitar l'esforç físic a l'aire lliure	La gent amb asma, nens i gent de la tercera edat haurien d'evitar l'esforç físic prolongat especialment a prop de carreteres; la resta de persones hauria de limitar l'exercici físic prolongat especialment a prop de carreteres transitades
Risc important per a la salut 201-300	Les persones amb malalties pulmonars (com l'asma), nens, persones de la tercera edat, persones que són actives a l'aire lliure (inclosos treballadors), persones amb certes variants genètiques, i gent amb dietes pobres en alguns nutrients haurien d'evitar qualsevol l'esforç físic a l'aire lliure; la resta de persones haurien d'evitar l'esforç físic a l'aire lliure		Les persones amb problemes cardiovasculars o pulmonars, gent de la tercera edat, nens i persones de baix nivell socioeconòmic haurien d'evitar tot esforç físic prolongat o intens a l'aire lliure; la resta de persones hauria de reduir l'esforç físic prolongat o intens		Les persones amb malalties cardiovasculars, com ara angina, haurien d'evitar l'esforç físic i fonts de CO com vies amb molt tràfic	Nens, persones amb asma o altres malalties pulmonars haurien d'evitar l'esforç físic a l'aire lliure, la resta hauria de reduir l'esforç físic a l'aire lliure	La gent amb asma, nens i gent de la tercera edat haurien d'evitar tot esforç físic a l'aire lliure; la resta de persones haurien d'evitar l'exercici físic prolongat especialment a prop de carreteres transitades
Perillós 301-500	Tothom hauria d'evitar l'esforç físic a l'aire lliure		Tothom hauria d'evitar qualsevol activitat física a l'aire lliure; la gent amb malalties cardiovasculars o pulmonars, les persones de la tercera edat, nens i persones de baix nivell socioeconòmic haurien de quedar-se en interiors i mantenir baixos nivells d'activitat		Les persones amb malalties cardiovasculars, com ara angina, haurien d'evitar l'esforç físic i fonts de CO com vies amb molt tràfic; la resta de persones haurien de limitar l'esforç físic intens	Nens, persones amb asma o altres malalties pulmonars haurien de quedar-se en interiors, la resta hauria d'evitar l'esforç físic a l'aire lliure	La gent amb asma, nens i gent de la tercera edat haurien de quedar-se en interiors; la resta de persones haurien d'evitar l'exercici físic al exterior

Figura 54: Recomanacions per a la població depenent de l'AQI  
Font: U.S. Environmental Protection Agency



## Annex 2. Glossari de termes

- 1- FEV1: Volum espirat màxim en el primer segon de la espiració forçada, s'expressa en volum (ml).
- 2- Sibilàncies: So xiulant durant la respiració que té lloc quan l'aire es mou a través dels conductes respiratoris estrets en els pulmons.
- 3- IMC: Índex de Massa Corporal. Es un nombre que es calcula en base al pes i la estatura de la persona. Marca en un valor si una persona està en un pes per sota del recomanable, un pes normal o si té sobrepès.
- 4- Taquirrítmia: Augment de la freqüència cardíaca produït per qualsevol motiu.
- 5- MPOC: La malaltia pulmonar obstructiva crònica es produeix perquè s'inflamen els bronquis i es destrueixen les parets dels alvèols.
- 6- To vascular: Dificultat que ofereix un vas sanguini a que passi la sang.
- 7- sRaw: Factors que limiten l'accés d'aire inspirat als pulmons, normalment per la fricció i es fa servir per a determinar el flux d'aire per les vies respiratòries.
- 8- Eritròcits: Glòbuls vermells
- 9- Hipòxia tissular: Falta de transport d'oxigen a una part del cos
- 10- Teratologia: Alteració en el desenvolupament d'un nadó en el sentit de defectes físics, psíquics o sensorials.
- 11- Leucèmia: Càncer dels teixits productors de sang
- 12- Icterícia: Coloració groga de la pell i mucosa
- 13- Macròfags: Tipus de glòbul blanc del sistema immunitari.
- 14- Dispnea: Dificultat respiratòria o falta d'aire
- 15- Broncospasmes: Estrenyiment dels músculs que recobreixen les vies respiratòries.

- 16- Edema pulmonar: Malaltia causada per un excés de líquid present dins dels pulmons
- 17- Sinusitis: Inflamació de la mucosa dels espais dins del nas i del cap
- 18- SoyFACE: Soy Bean Free Air Concentration Enrichment, experiment amb soja on s'enriqueix l'aire amb ozó i diòxid de carboni.
- 19- Conductivitat estomàtica: Transmissió del vapor d'aigua a través dels estomes<sup>25</sup> de les plantes.
- 20- Lixiviació: Quan un sòlid perd una substància seva a causa del contacte amb un líquid. Fenomen present per exemple quan el  $\text{Ca(OH)}_2$  del formigó es dissolt en aigua.
- 21- Lesions necròtiques: Alteració o dany que suposa la mort de cèl·lules en un organisme viu.
- 22- Metabòlits: Molècules que són presents en reaccions químiques metabòliques.
- 23- Necrosi tissular: Igual que les lesions necròtiques però en aquest cas en referència a la mort de teixits d'un organisme
- 24- Clorosi: Quan el fullatge d'una planta no produeix suficient clorofil·la
- 25- Estomes: Cèl·lules oclusives de les plantes per on aquestes treuen i absorbeixen oxigen, diòxid de carboni i aigua.
- 26- Espècies perennes: Plantes que viuen més de dos anys i té més facilitat que altres plantes d'absorbir aigua i nutrients del sòl.
- 27- Radicals lliures: Molècula o ió que té un electró lliure. Aquestes molècules són molt inestables i reactives.
- 28- Peròxids: Substàncies amb un enllaç molecular d'oxigen-oxigen.
- 29- Compostos fitotòxics: Productes que tenen un grau de toxicitat per al creixement de les plantes.
- 30- Coníferes: Grup de plantes amb llavors en forma de con, com ara el pi.

- 31- Eutrofització: Quan en un medi aquàtic hi ha un excés de nutrients.
  
- 32- Cutícula: Barrera exterior d'un organisme que proporciona protecció. En el cas de les plantes ajuda a reduir la pèrdua d'aigua i difusió de gasos i evita l'acumulació de pols i aigua.
  
- 33- Radionúclids: Isòtop inestable que guanya estabilitat a causa d'alliberar energia en forma de radiació.