

# Gestión de Calidad Ambiental

---

Módulo  
Calidad del Aire

2024



FACULTAD DE  
INGENIERÍA



UNIVERSIDAD  
DE LA REPÚBLICA  
URUGUAY

# Contenido

- Organización del módulo
- Planteo del problema
- Contaminantes atmosféricos
- Episodios históricos de contaminación atmosférica
- Análisis de un episodio de contaminación atmosférica en Montevideo
- Herramientas de gestión de la calidad del aire

# Contenido

- Organización del módulo
- Planteo del problema
- Contaminantes atmosféricos
- Episodios históricos de contaminación atmosférica
- Análisis de un episodio de contaminación atmosférica en Montevideo
- Herramientas de gestión de la calidad del aire

CRONOGRAMA GECA 2024					EQUIPO DOCENTE
Clase No	Día	Mes	Tema		
1	lunes	5	agosto	Contaminación sonora	Pablo Gianoli
2	miércoles	7	agosto	Contaminación sonora	
3	lunes	12	agosto	Contaminación sonora	
4	miércoles	14	agosto	Contaminación sonora	
5	lunes	19	agosto	Contaminación sonora	
6	miércoles	21	agosto	Contaminación sonora	
7	lunes	26	agosto	Contaminación sonora	
8	miércoles	28	agosto	Contaminación sonora	
9	lunes	2	setiembre	Gestión Residuos Sólidos Urbanos	Carolina Ramírez
10	miércoles	4	setiembre	Gestión Residuos Sólidos Urbanos	
11	lunes	9	setiembre	Gestión Residuos Sólidos Urbanos	
12	miércoles	11	setiembre	Gestión Residuos Sólidos Urbanos	
13	lunes	16	setiembre	Defensa: Contaminación sonora	Pablo Gianoli
14	miércoles	18	setiembre	Gestión Residuos Sólidos Urbanos	Carolina Ramírez
	lunes	23	Parciales		
	miércoles	25			
	lunes	30			
15	miércoles	2	octubre	Gestión Residuos Sólidos Urbanos	Carolina Ramírez
16	lunes	7	octubre	Gestión Residuos Sólidos Urbanos	
17	miércoles	9	octubre	Gestión Residuos Sólidos Urbanos	
18	lunes	14	octubre	Gestión Residuos Sólidos Urbanos	
19	miércoles	16	octubre	Gestión Residuos Sólidos Urbanos	
20	lunes	21	octubre	Gestión Residuos Sólidos Urbanos	
21	miércoles	23	octubre	Gestión Residuos Sólidos Urbanos	
22	lunes	28	octubre	Contaminación atmosférica	Mauro D'Angelo
23	miércoles	30	octubre	Contaminación atmosférica	
24	lunes	4	noviembre	Contaminación atmosférica	
25	miércoles	6	noviembre	Contaminación atmosférica	
26	lunes	11	noviembre	Contaminación atmosférica	
27	miércoles	13	noviembre	Contaminación atmosférica	
28	lunes	18	noviembre	Contaminación atmosférica	
29	miércoles	20	noviembre	Contaminación atmosférica	

- Cronograma del módulo:

Nº de clase	Fecha	Horario	Salón	Tema
1	28-oct	10 h -12 h	722 Naranja	Organización/Introducción/Contaminantes
2	30-oct	10 h -12 h	315	Normativa
3	04-nov	10 h -12 h	722 Naranja	Emisiones
4	06-nov	10 h -12 h	315	Emisiones
5	11-nov	10 h -12 h	722 Naranja	Monitoreo
6	13-nov	10 h -12 h	315	Monitoreo
7	18-nov	10 h -12 h	722 Naranja	Modelación
8	20-nov	10 h -12 h	315	Modelación/Coordinación de trabajo final

- Modalidad:
  - Exposiciones teóricas
  - Realización de ejercicios prácticos sencillos

- Evaluación del módulo:

- Entrega y aprobación de un trabajo práctico (mismos grupos)
- Se distribuirán las propuestas y se definirá la fecha de entrega en la última clase

- Evaluación del curso:

- La nota de aprobación del módulo sólo se tiene en cuenta para la aprobación del curso
- Para salvar el examen, debe obtenerse al menos el 50 % de los puntos en cada módulo

# Contenido

- Organización del módulo
- Planteo del problema
- Contaminantes atmosféricos
- Episodios históricos de contaminación atmosférica
- Análisis de un episodio de contaminación atmosférica en Montevideo
- Herramientas de gestión de la calidad del aire

# Contaminación atmosférica

Presencia en la atmósfera exterior de uno o más contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que puedan afectar la salud y comodidad humanas, de animales, de plantas, la calidad de bienes materiales, o interferir con el goce de la vida, de la propiedad o el ejercicio de actividades.

## Es un problema multicausal

Emisiones

Condiciones meteorológicas

Entorno urbano



# Emisión e Inmisión

Se entiende por **emisión** a la atmósfera a la descarga al aire de sustancias, cualquiera sea su estado físico o fuente, o de alguna forma de energía (acústica, térmica, etc.)

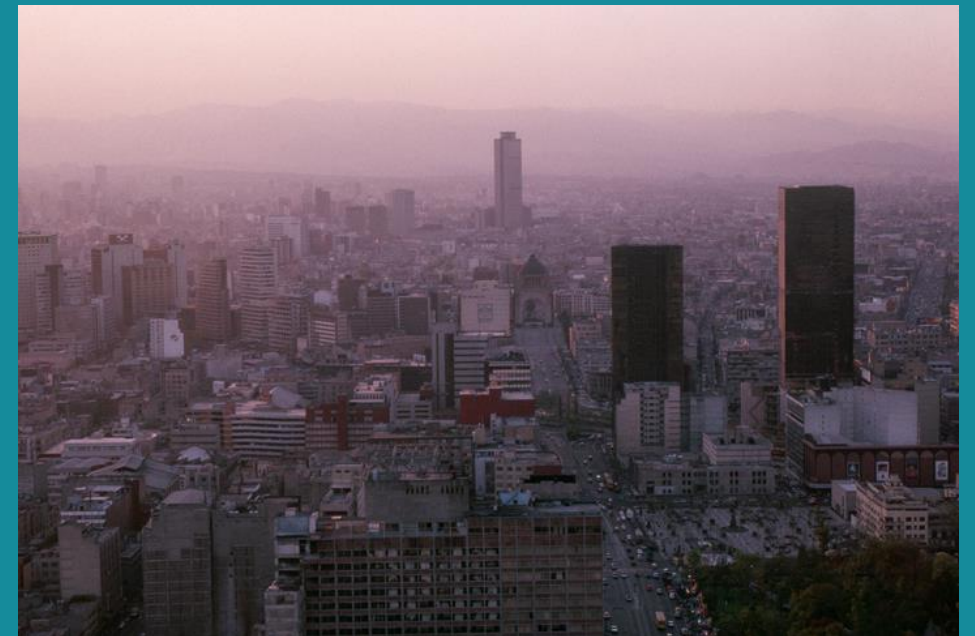
Se denomina **inmisión** al contenido de un cierto contaminante que presenta la atmósfera en un sitio dado

Para la **evaluación cuantitativa** de la inmisión comúnmente se emplean unidades de concentración tales como ppmV (partes por millón volumétricas) y  $\mu\text{g}/\text{m}^3$



La emisión compuesta por gases, gases con partículas o gases con aerosoles que emana de una chimenea más su estela es lo que se denomina **penacho o pluma**

Refinería de la Teja (<https://municipioa.montevideo.gub.uy/node/166>)



Ciudad de México (<https://www.ngenespanol.com/ecologia/ciudad-de-mexico-alcanza-niveles-historicos-de-contaminacion-por-particulas-suspendidas/>)

# Relevancia del problema

- **World Health Statistics (OMS, 2023):** a nivel global, casi la totalidad de la población (99 %) está expuesta a niveles insalubres de  $PM_{2,5}$  en términos anuales
- **ONU (2022):** alrededor de 7 millones de personas mueren por año a causa de enfermedades e infecciones relacionadas con la contaminación atmosférica



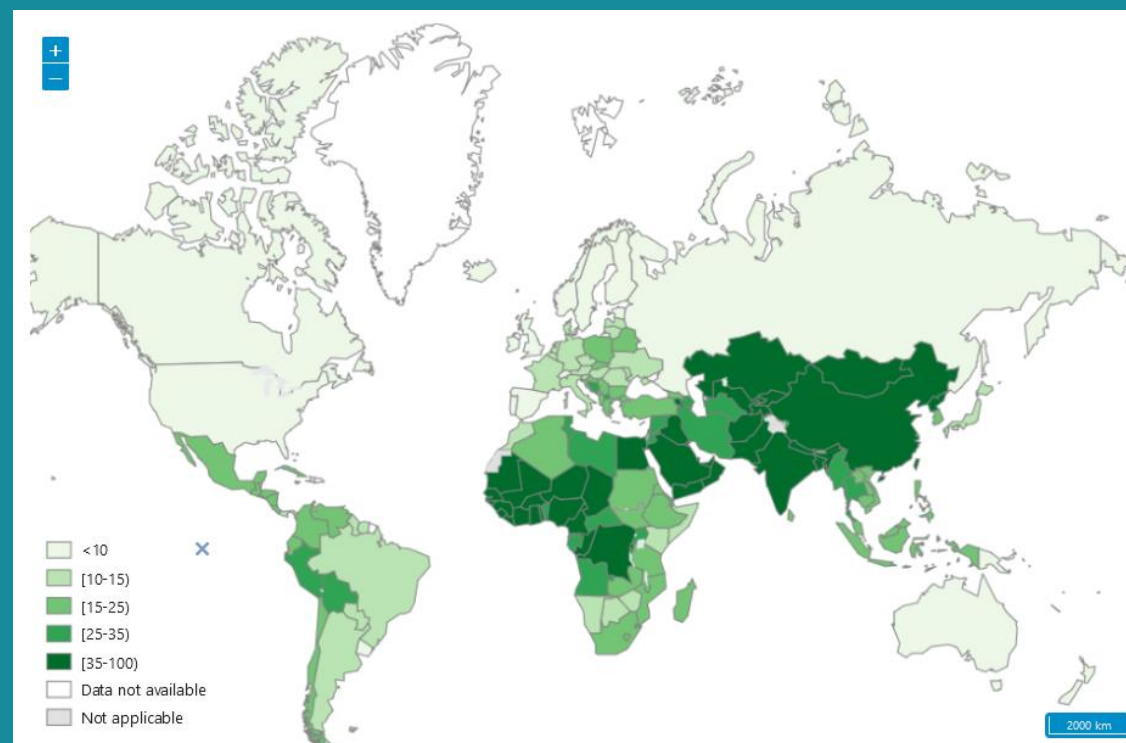
# Relevancia del problema

- **ODS N°11:** Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles
- **Meta 11.6:** de aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per capita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo



# Relevancia del problema

- **Indicador 11.6.2:** Concentración media anual de  $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$  en ciudades normalizada por población



Concentración media anual de  $PM_{2,5}$  en zonas urbanas para 2019  
( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

([https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/concentrations-of-fine-particulate-matter-\(pm2-5\)\)](https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/concentrations-of-fine-particulate-matter-(pm2-5))))

#### Disclaimer

The designations employed and the presentation of the material in this publication do not imply the expression of any opinion whatsoever on the part of WHO concerning the legal status of any country, territory, city or area or of its authorities, or concerning the delimitation of its frontiers or boundaries. Dotted and dashed lines on maps represent approximate border lines for which there may not yet be full agreement.



© WHO 2024. All rights reserved.



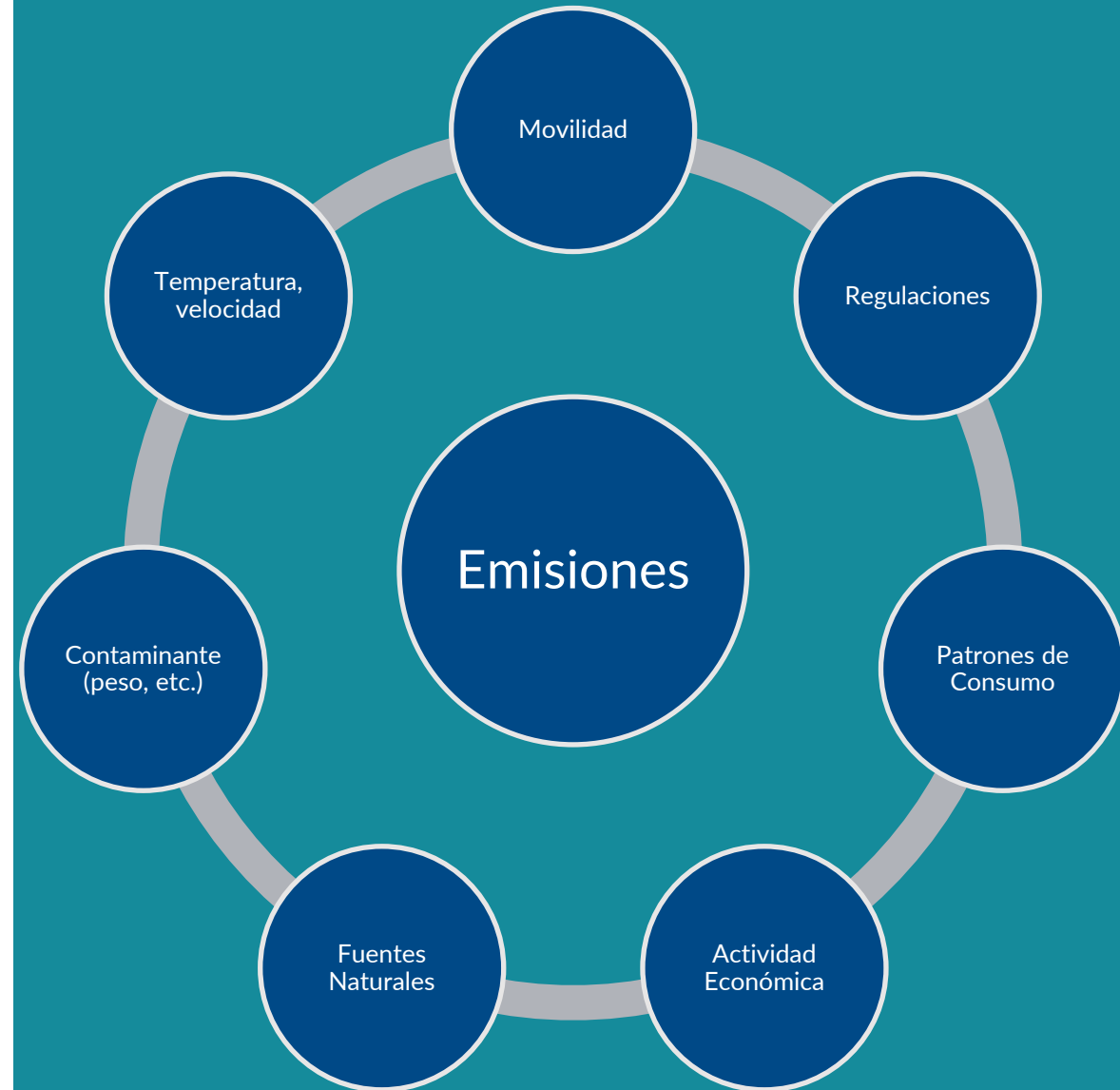
# Emisiones

- Las emisiones antropogénicas de contaminantes atmosféricos están determinadas por diversos factores:

- ❖ Patrones de movilidad y consumo de la población
- ❖ Normativa
- ❖ Actividad económica

- Existen también fuentes de emisión naturales: erosión eólica, erupciones volcánicas, entre otras

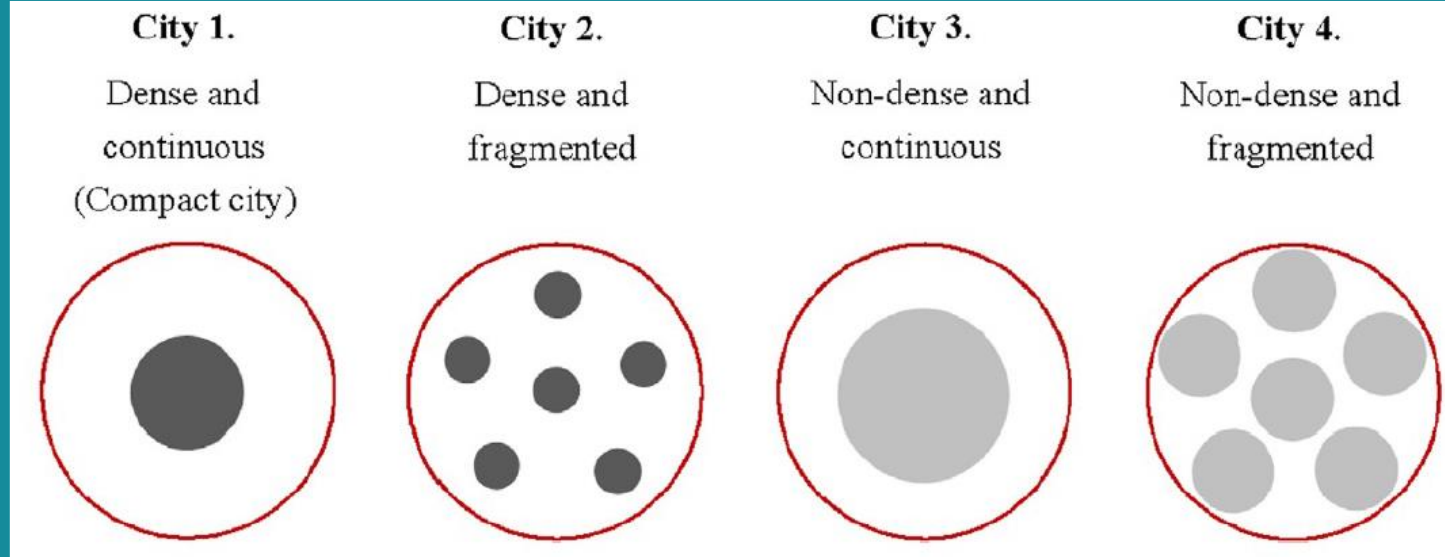
- La dispersión atmosférica de las emisiones depende en parte del contaminante (peso, etc.) y de las condiciones de emisión (temperatura y velocidad)



# Ambiente construido

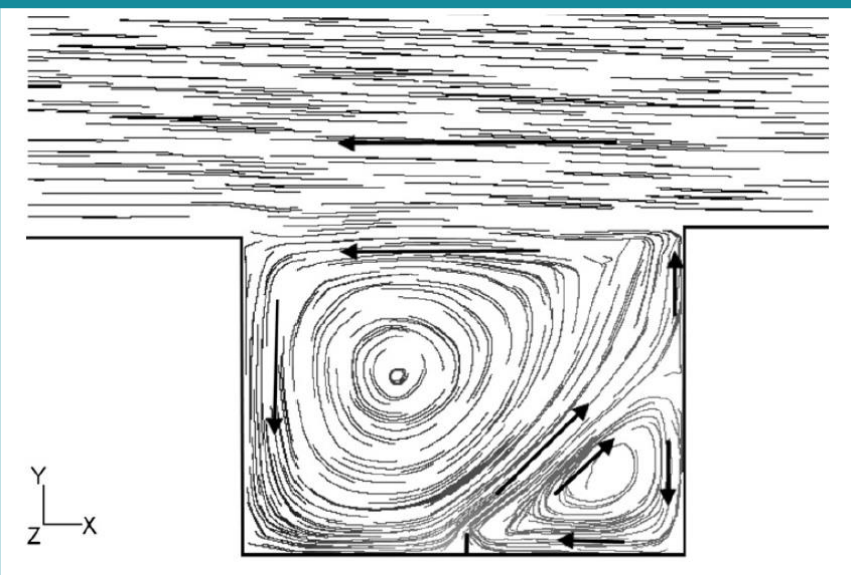
- A gran escala (ciudad), el diseño urbano puede condicionar los patrones de movilidad de la población (mayor uso del automóvil por ejemplo)
- A pequeña escala (calle), el diseño urbano puede afectar la dispersión atmosférica de los contaminantes emitidos (cañón urbano)
- Las regulaciones pueden guiar los aspectos anteriores en favor de una mejora de la calidad del aire
- Topografía: zonas de valles





Patrones de ciudad con distintos niveles de densidad poblacional y fragmentación (el más apropiado para la calidad del aire es el 3).

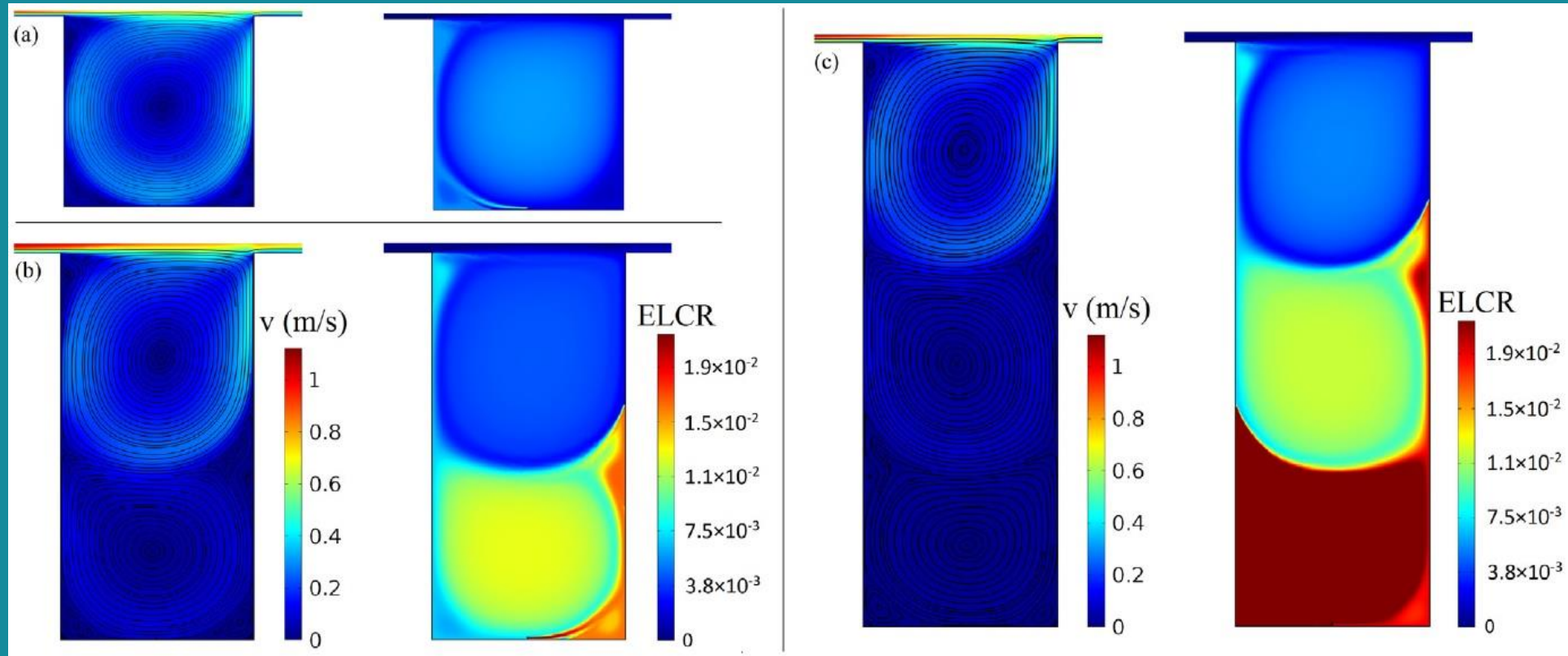
M. Cárdenas Rodríguez, L. Dupont-Courtade, W. Oueslati, *Air pollution and urban structure linkages: Evidence from European cities*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53: 1-9., 2016.



Patrón típico de dispersión atmosférica de contaminantes para calle con barrera central, bajo un flujo de viento perpendicular ( $H/W = 0,75$ ; corte transversal).

A. McNabola, B.M. Broderick, L.W. Gill, *A numerical investigation of the impact of low boundary walls on pedestrian exposure to air pollutants in urban street canyons*. *Science of the Total Environment*, 407: 760-769., 2009.

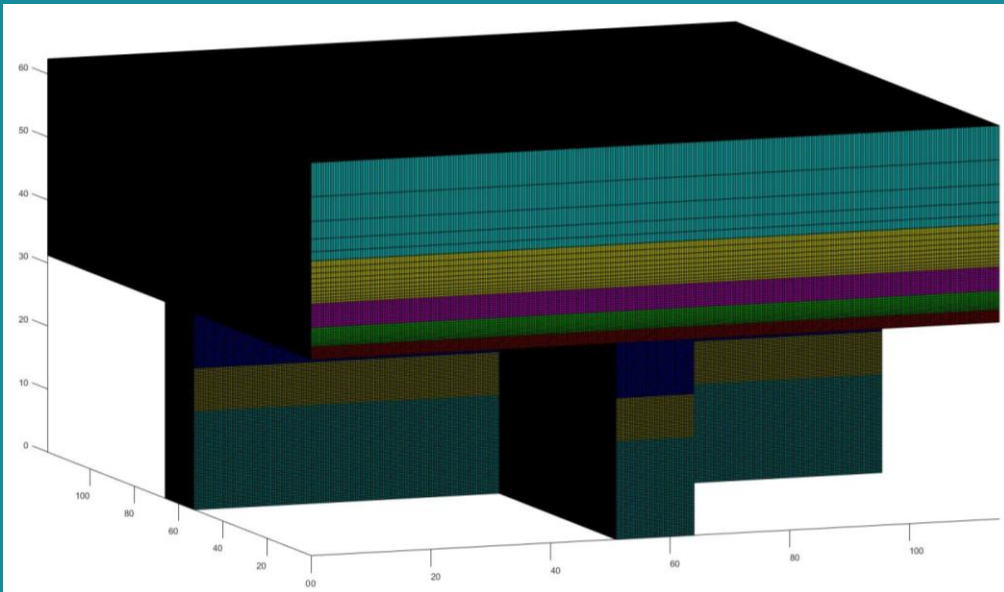
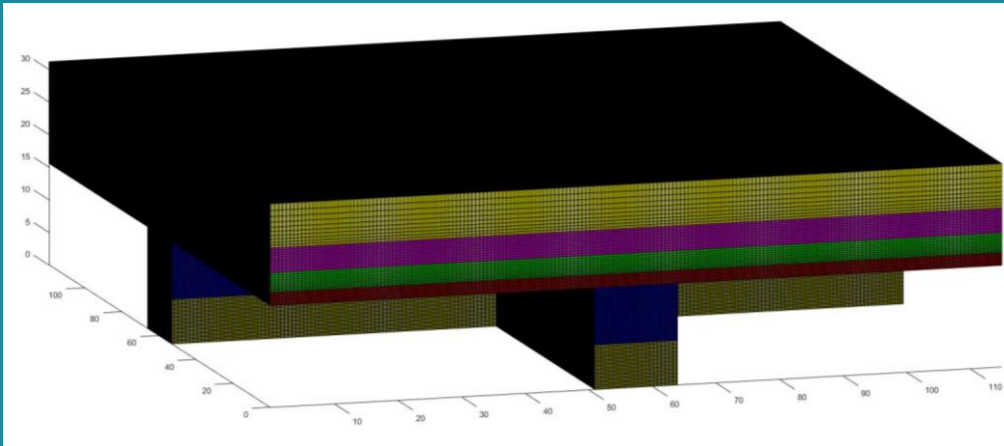
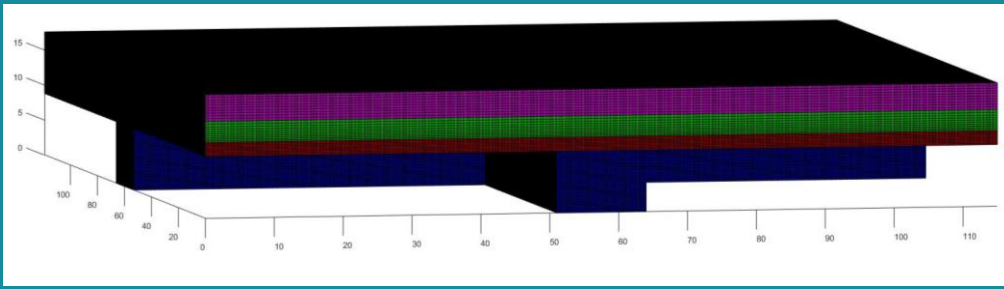


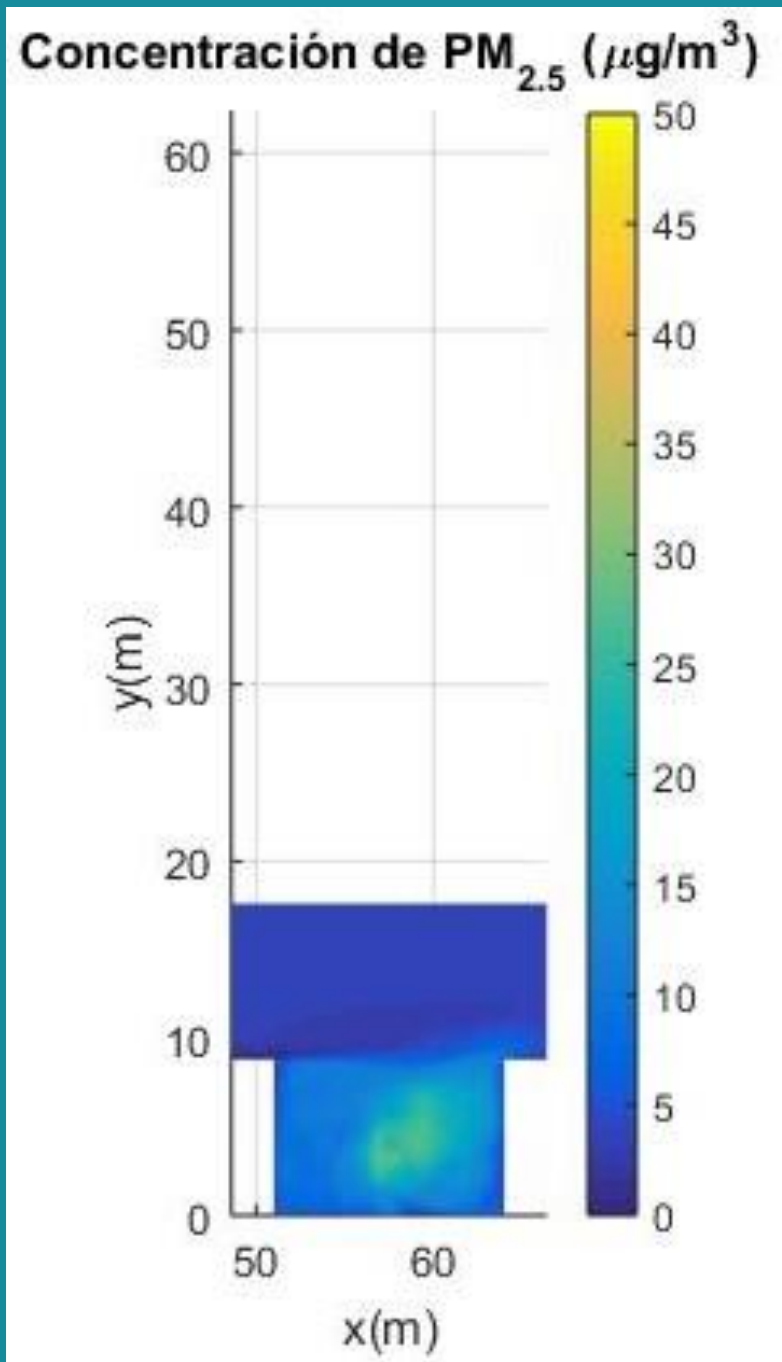
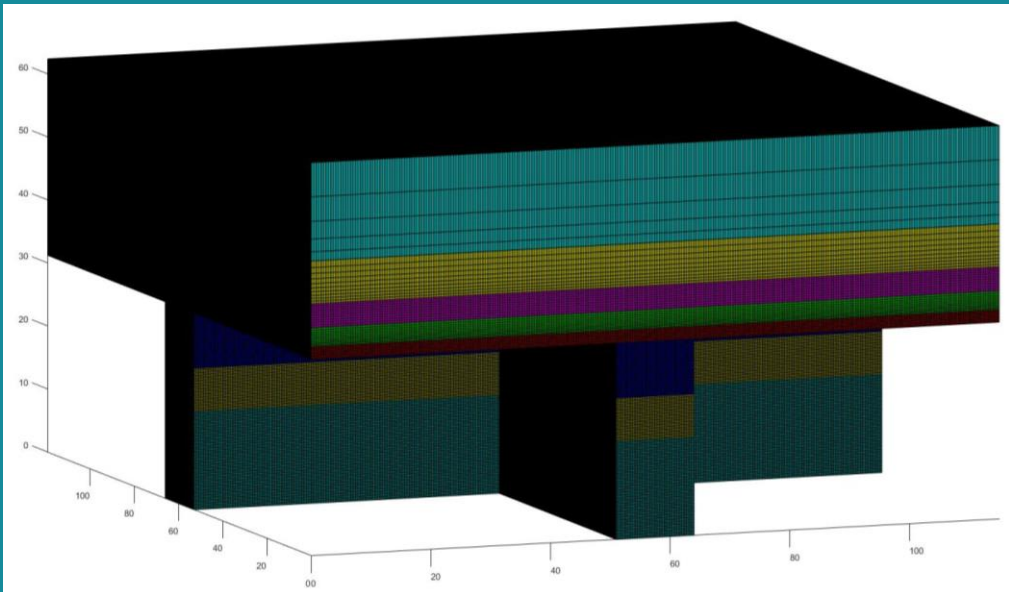
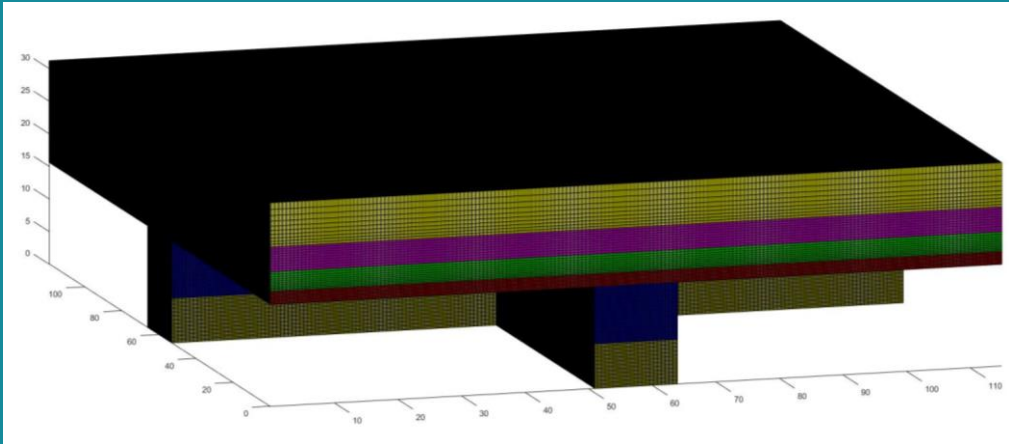
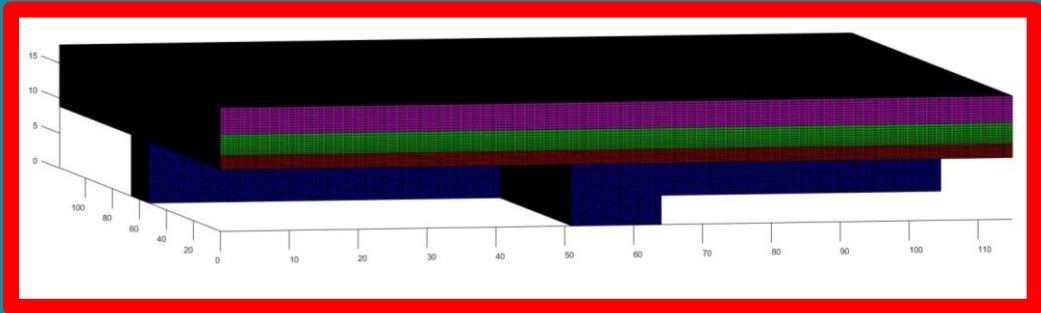


Flujo de aire y ELCR\* para a)  $H/W = 1$ , b)  $H/W = 2$  y c)  $H/W = 3$ , para una velocidad de viento incidente igual a 1 m/s.

\*Excess Lifetime Cancer Risk: índice vinculado al riesgo de contraer cáncer de pulmón.

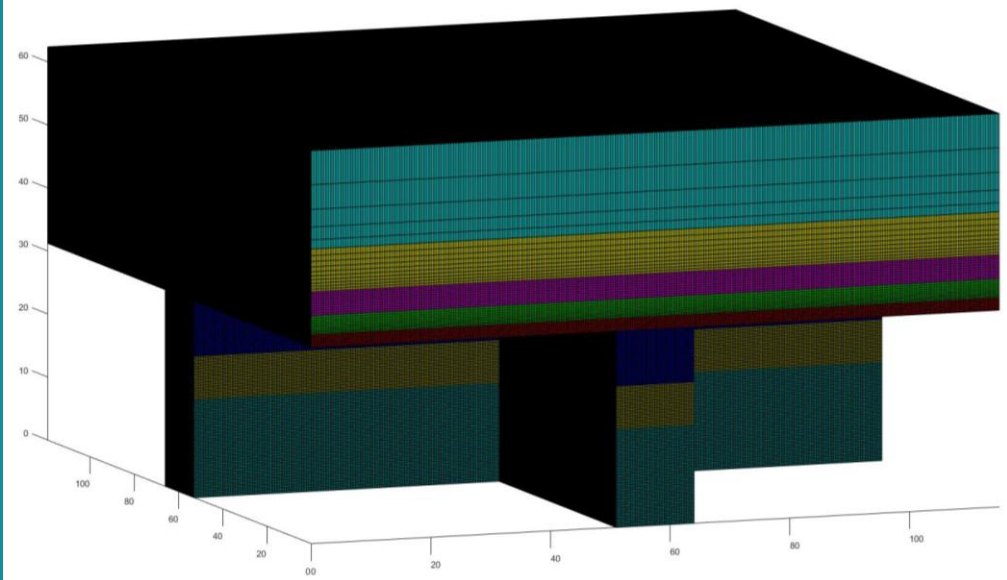
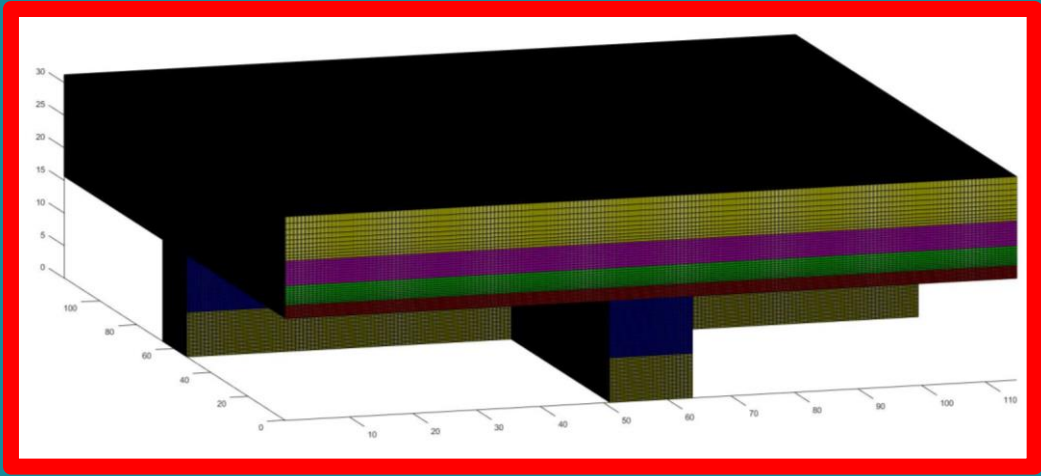
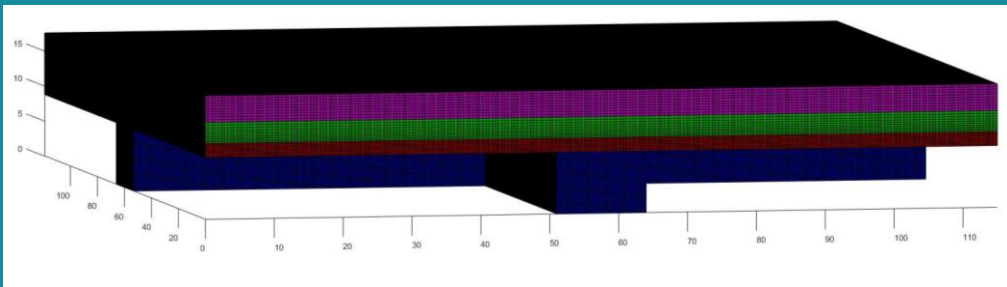
M. Scungio, L. Stabile, V. Rizza, A. Pacitto, A. Russi, G. Buonanno, *Lung cancer risk assessment due to traffic-generated particles exposure in urban street canyons: A numerical modelling approach*. *Science of the Total Environment*, 631-632: 1109-1116., 2018.



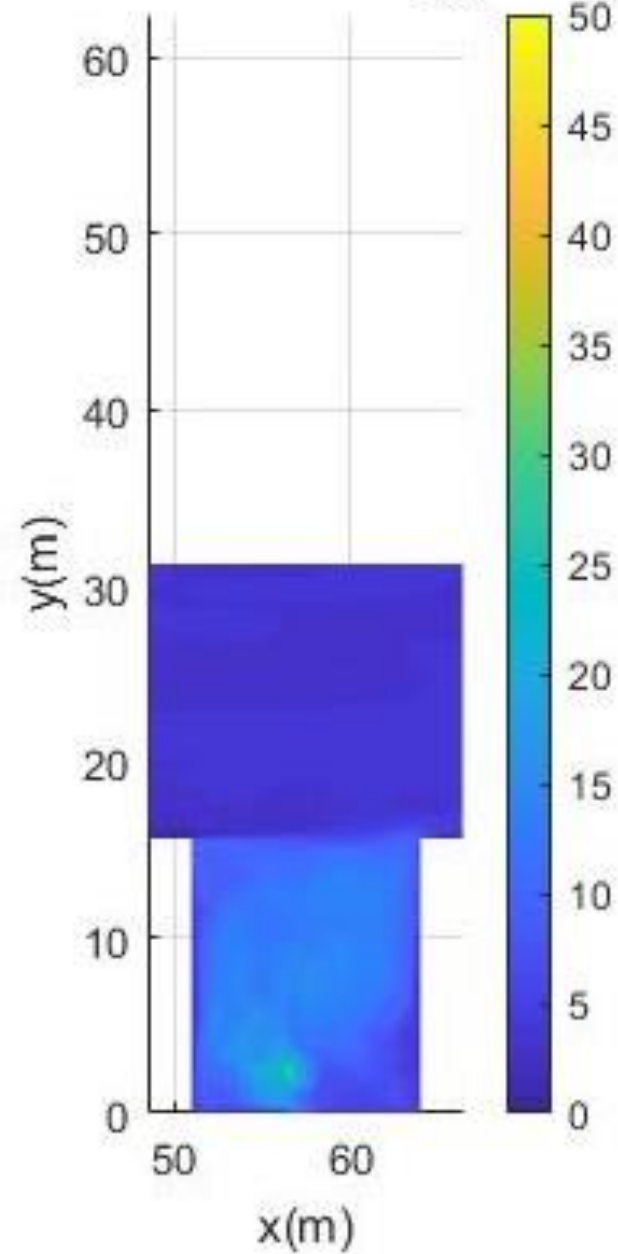


<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/41963>



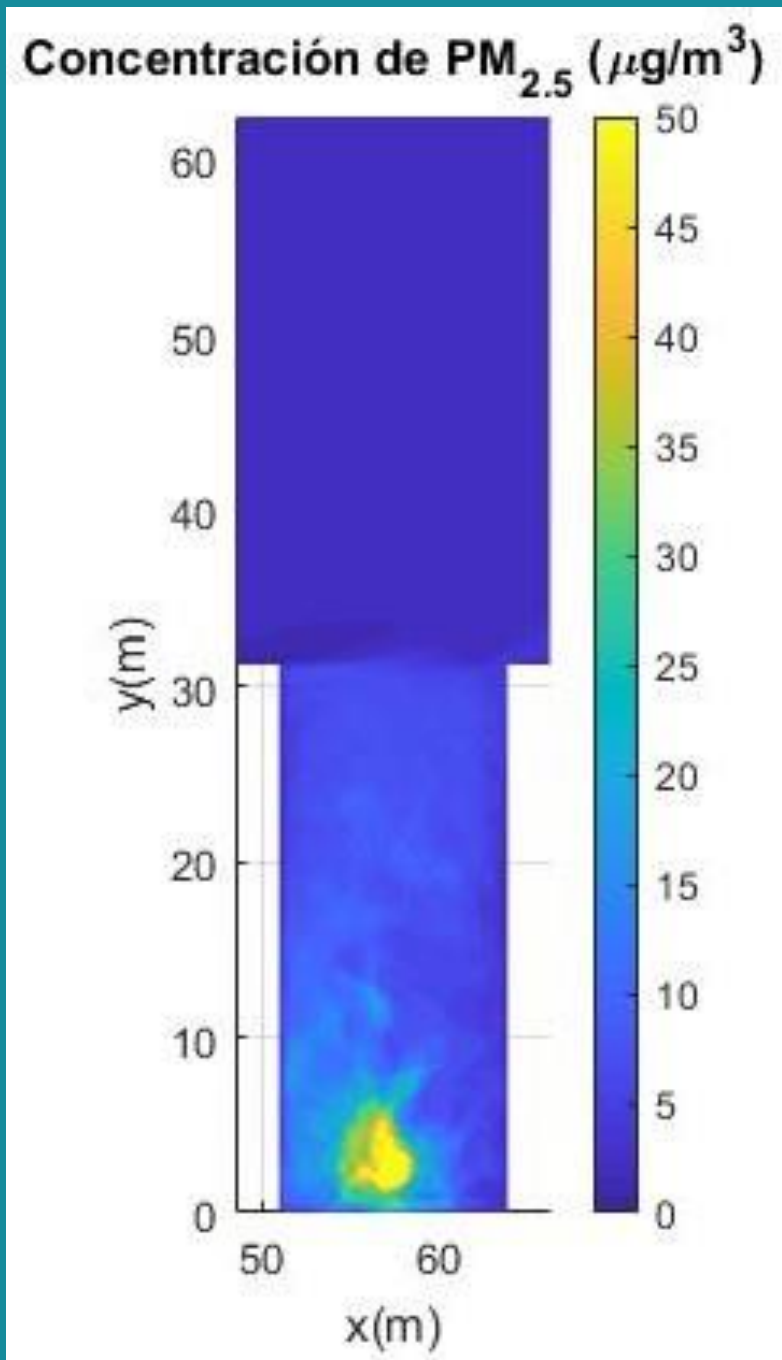
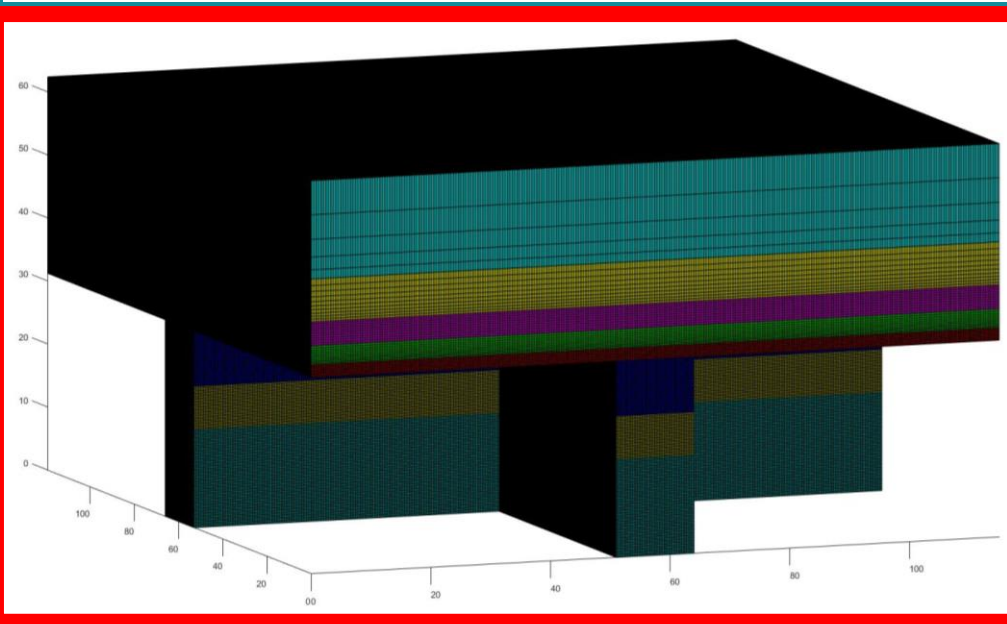
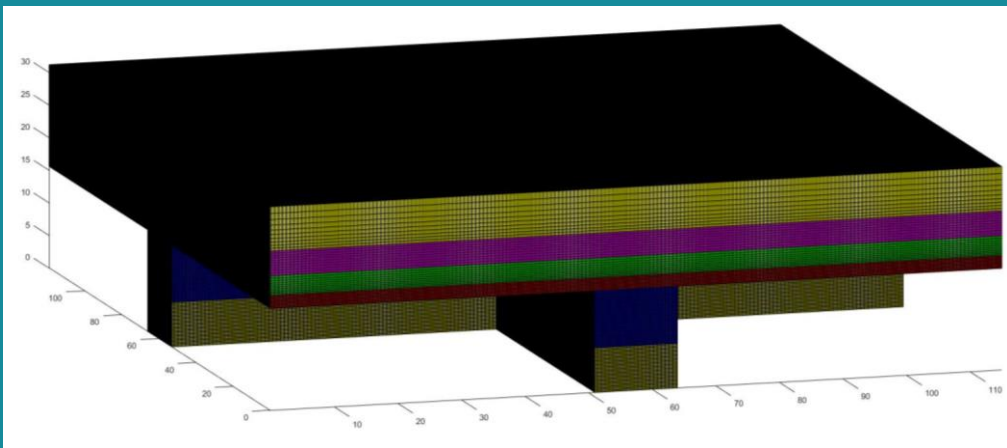
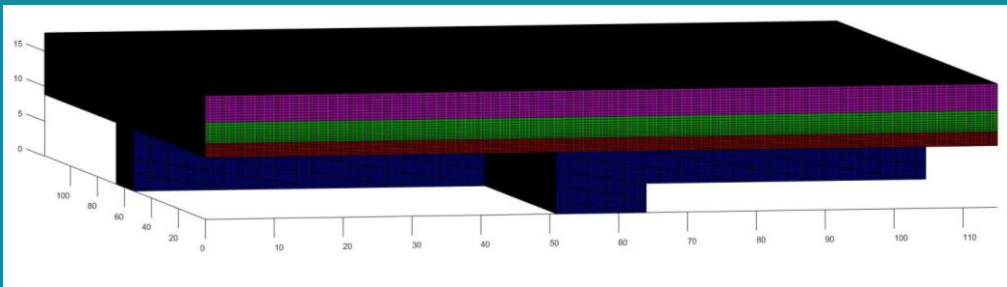


### Concentración de $PM_{2.5}$ ( $\mu g/m^3$ )



<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/41963>



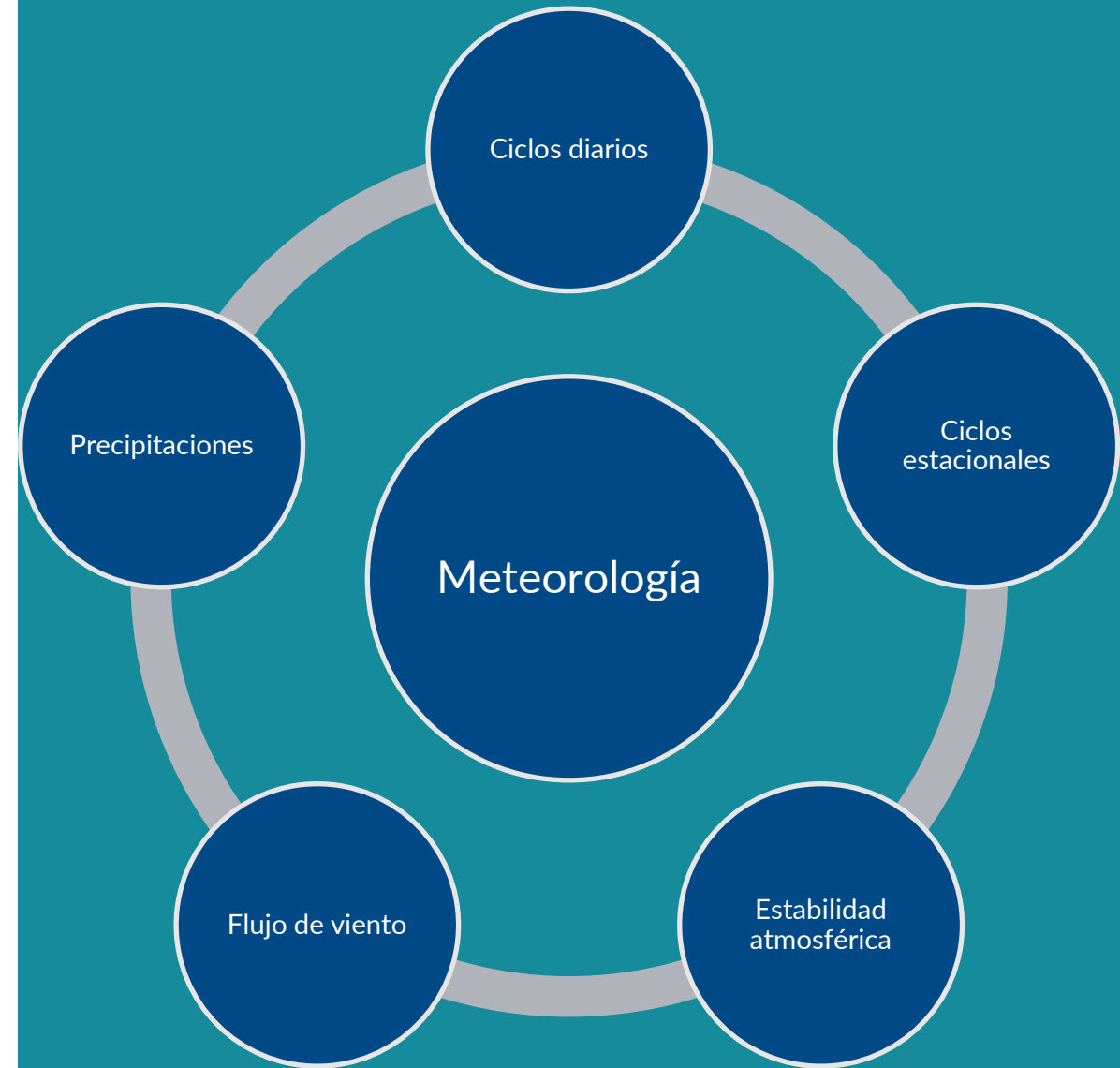


<https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/41963>



# Meteorología

- Las condiciones meteorológicas pueden afectar la emisión y la dispersión de contaminantes atmosféricos:
- ❖ Emisión: bajas temperaturas incrementan la combustión residencial con leña para calefacción por ejemplo
- ❖ Dispersión: bajas velocidades del viento reducen la dispersión de los contaminantes emitidos por ejemplo



# Atmósfera

Se designa como atmósfera a la capa de gases y partículas asociadas que envuelve a un planeta. En el caso de la Tierra, se trata de una atmósfera poco densa. En los primeros 100 km de altura desde la faz de la Tierra, se verifica que:

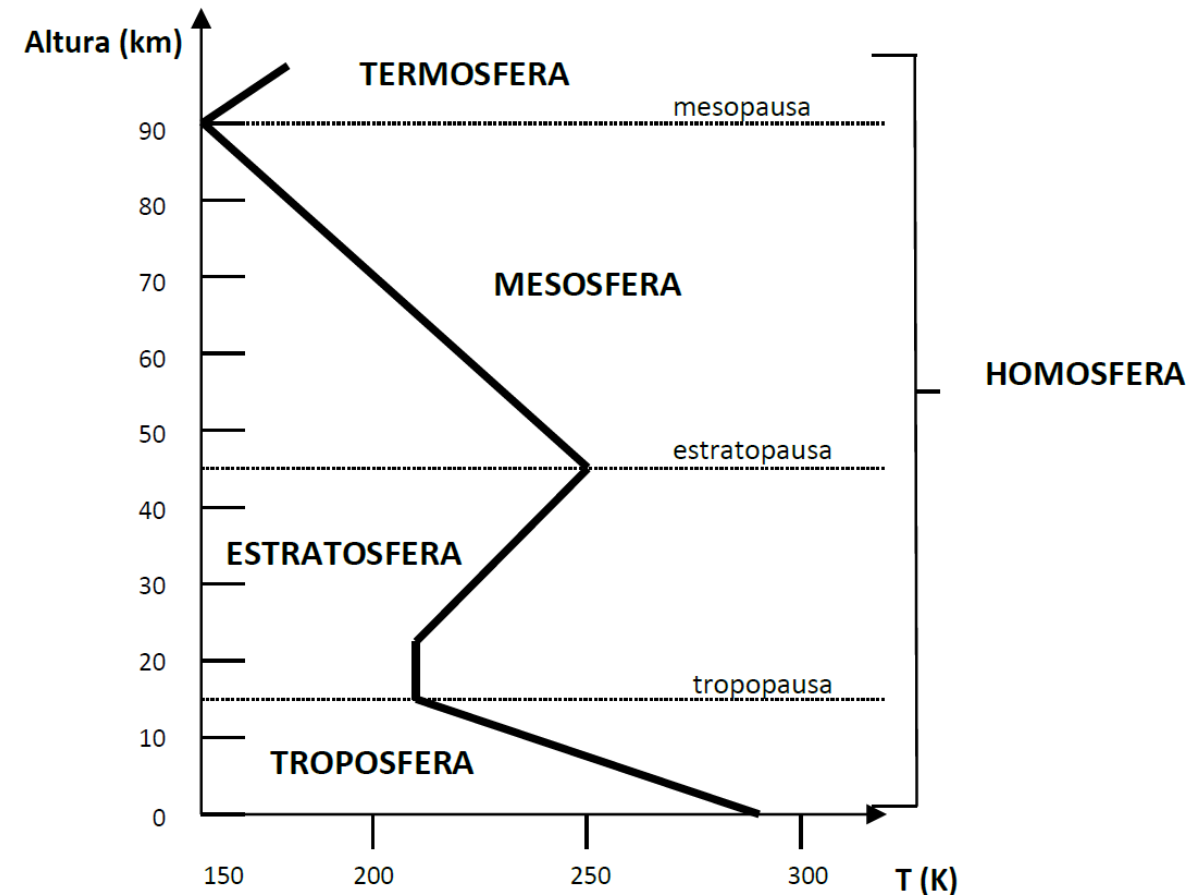
- Queda comprendido el 99,99 % de la masa total de la atmósfera
- La densidad decae exponencialmente con la altura y tiene un valor medio a nivel del mar de 1,20 kg/m<sup>3</sup> a 20 °C

Composición química de la atmósfera (volumen)	
N <sub>2</sub>	78,084 %
O <sub>2</sub>	20,95 %
Ar	0,934 %
Ne	18,18 ppmV
He	5,24 ppmV
Kr	1,14 ppmV
Xe	0,087 ppmV
CO <sub>2</sub>	419 ppmV Crecimiento anual: 4 ppmV
H <sub>2</sub> O	0,04 % máximo (trópico) 0,00001 % mínimo (polos)

# Atmósfera

Se designa como atmósfera a la capa de gases y partículas asociadas que envuelve a un planeta. En el caso de la Tierra, se trata de una atmósfera poco densa. En los primeros 100 km de altura desde la faz de la Tierra, se verifica que:

- La presión decae exponencialmente con la altura y tiene un valor a nivel del mar de  $1,013 \times 10^5$  Pa (= 1013 hPa = 0,1 MPa = 1 atm)
- Sus principales componentes se encuentran mezclados en forma homogénea y en proporciones más o menos constantes

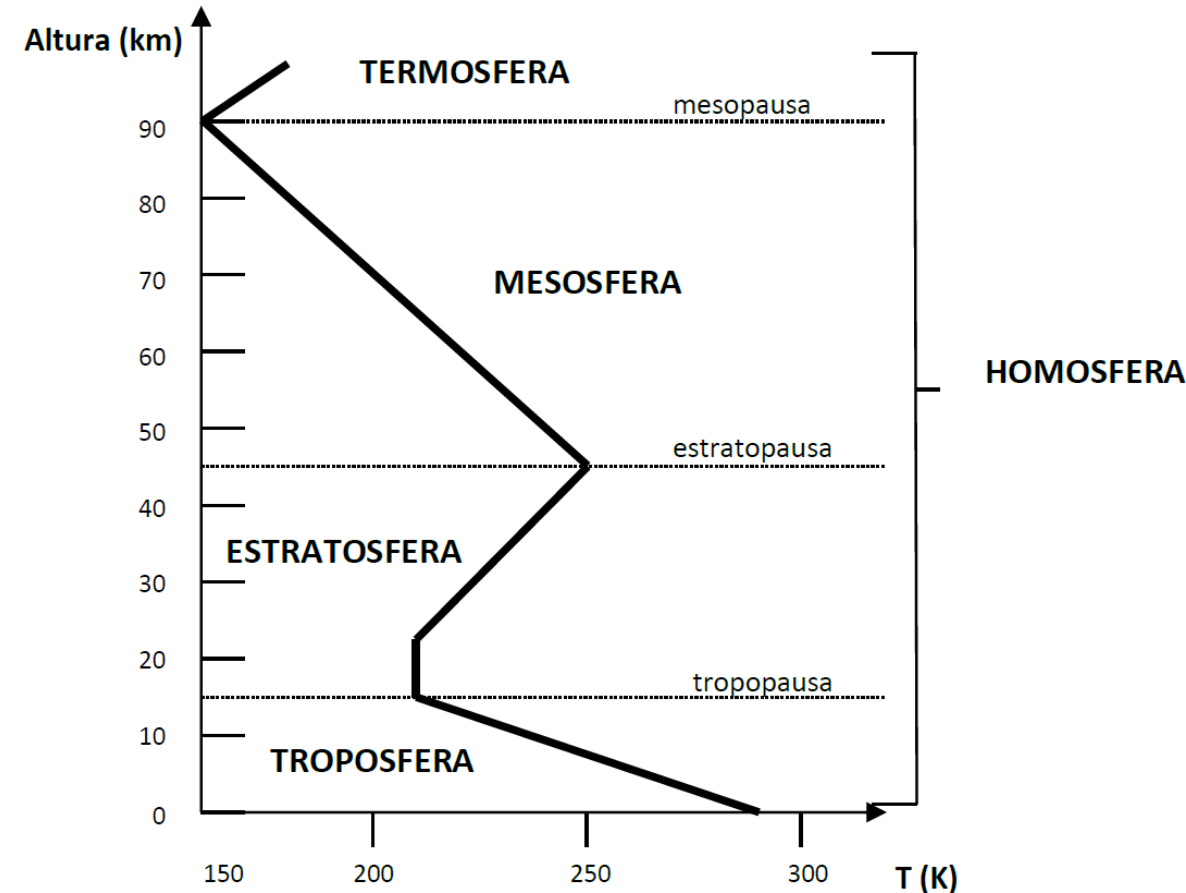




# Atmósfera

Se designa como atmósfera a la capa de gases y partículas asociadas que envuelve a un planeta.

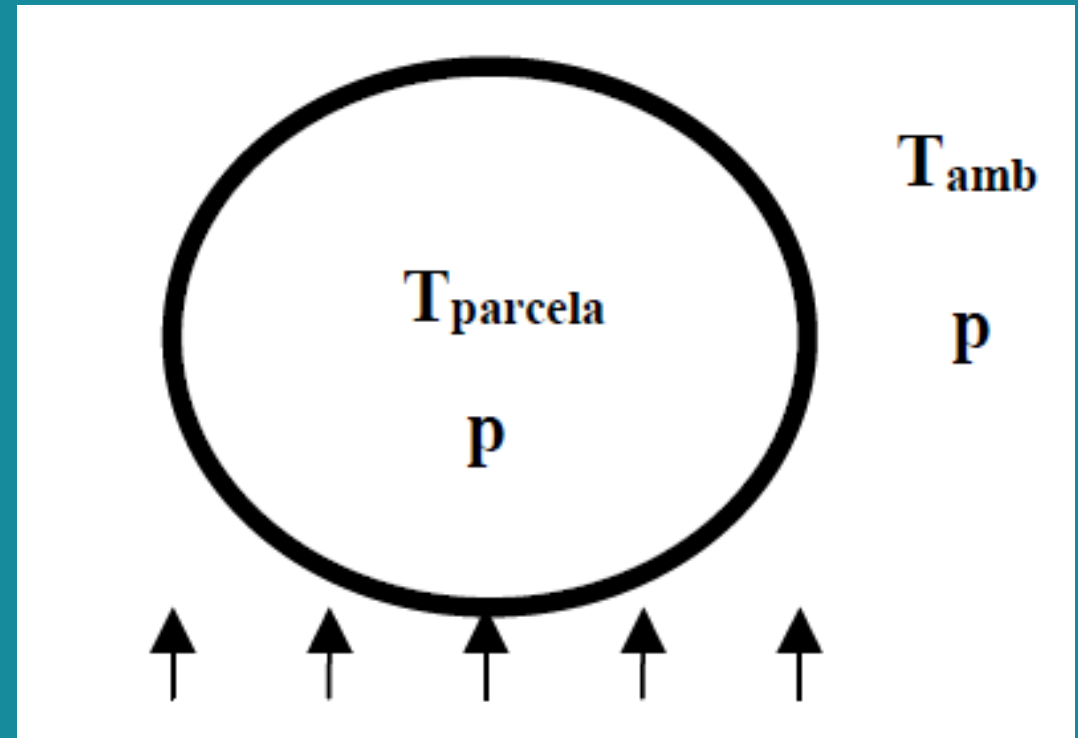
Si se amplía este gráfico anterior para observar más detalladamente lo que ocurre en la base de la tropósfera, podría verse que, a nivel local, la curva de estado va variando tanto en el tiempo como en el espacio, debido a efectos topográficos locales, patrones de circulación de aire, etc. Eso hace que, a lo largo del día, varíen las condiciones para la dispersión de contaminantes en la atmósfera al variar las condiciones de estabilidad.



# Atmósfera

## Teoría de la parcela

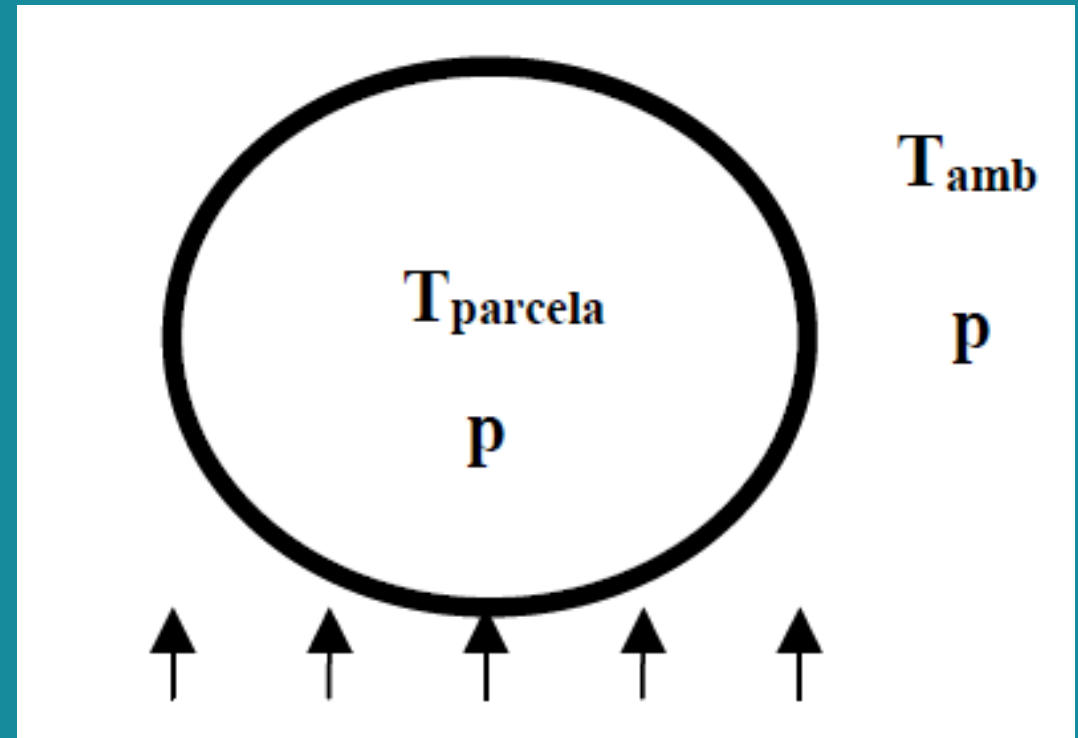
- Se considera una parcela de aire con propiedades uniformes en su interior y cuya presión interna es igual a la presión externa en todo momento (inicialmente, su temperatura es igual a la exterior)
- Esta parcela tiene permitidos movimientos verticales adiabáticos, es decir, en los que no intercambia calor con el exterior
- Si la parcela de aire sufre, por algún motivo, un movimiento ascendente, ésta aumentará su volumen al encontrarse con una atmósfera a menor presión. La pérdida de energía interna consumida en el trabajo de expansión causará una disminución de su temperatura



# Atmósfera

## Teoría de la parcela

- Si la parcela contiene vapor de agua en su interior, parte de éste se condensará al descender la temperatura y liberará calor; en tal caso la disminución de la temperatura no será tan pronunciada
- En cambio, si la parcela de aire sufre un movimiento descendente, ésta se comprimirá al encontrarse con una atmósfera a mayor presión. El trabajo de compresión realizado por el ambiente sobre ella produce un aumento en la temperatura interna de la parcela
- Estos movimientos ascendentes y descendentes son adiabáticos



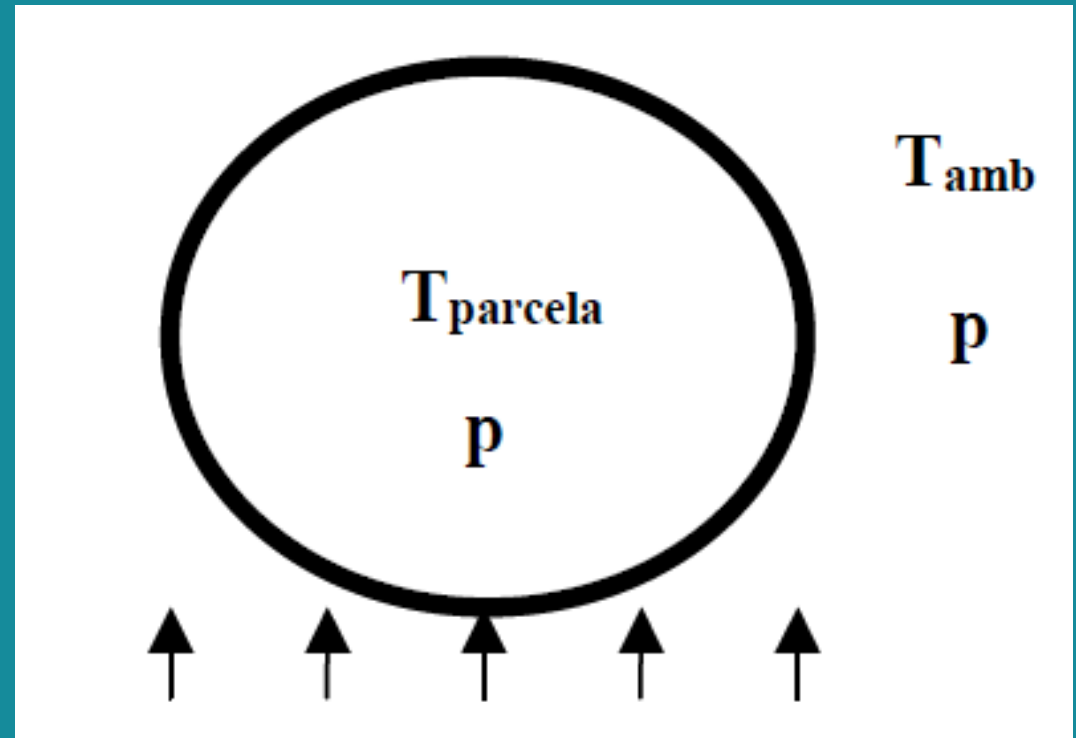
# Atmósfera

## Teoría de la parcela

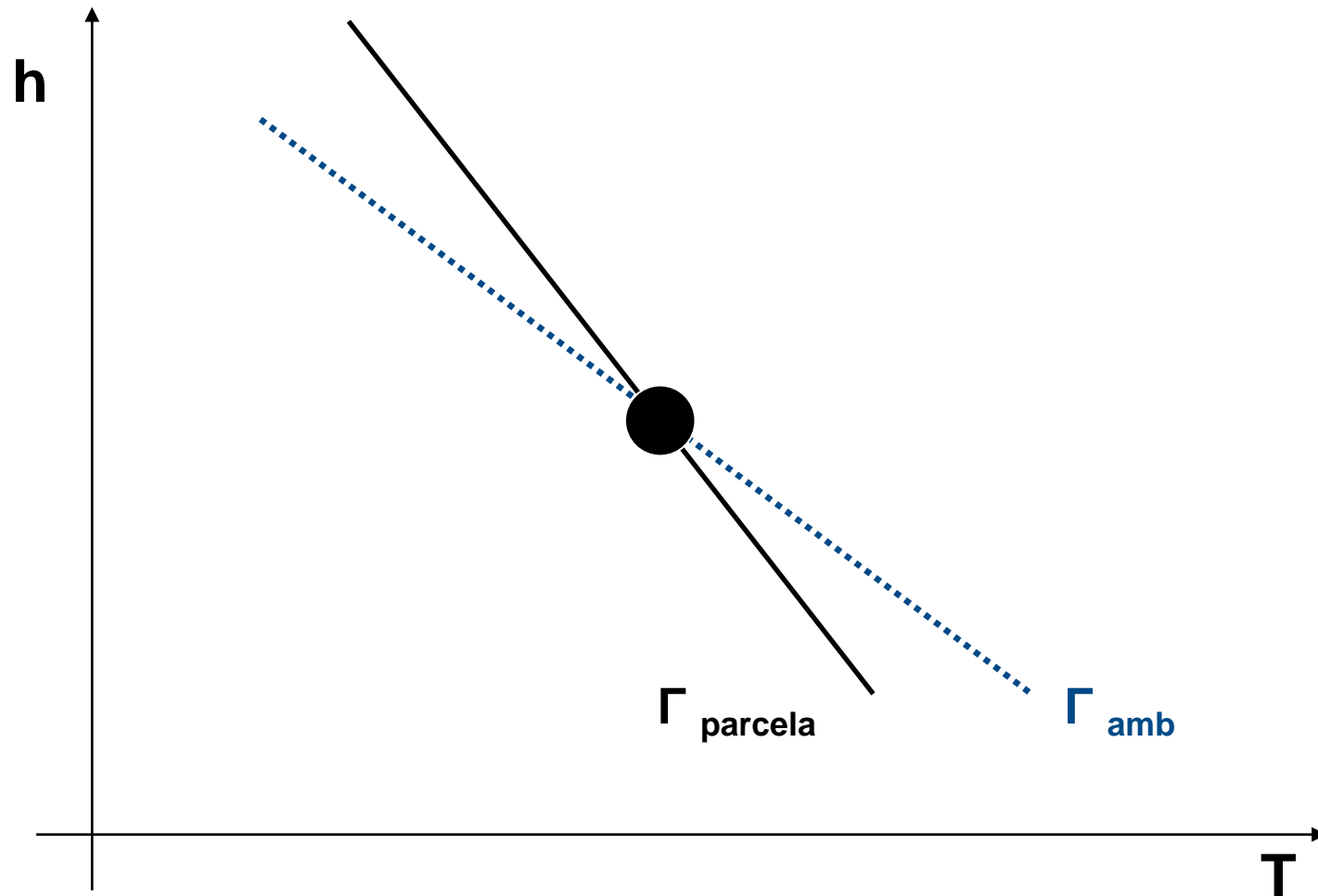
- Si el aire en la parcela no está saturado, la disminución de su temperatura con la altura es  $\Gamma_{\text{parcela}} = 10 \text{ }^\circ\text{C/km}$
- Si el aire en la parcela está saturado, la disminución de su temperatura con la altura es  $\Gamma_{\text{parcela}} = 6,5 \text{ }^\circ\text{C/km}$  (producción de calor latente por condensación de vapor de agua)
- Este último gradiente de temperatura no es constante, depende del contenido de humedad de la parcela

Los valores permitidos para  $\Gamma_{\text{parcela}}$  son:

$$6,5 \text{ }^\circ\text{C/km} \leq \Gamma_{\text{parcela}} \leq 10 \text{ }^\circ\text{C/km}$$



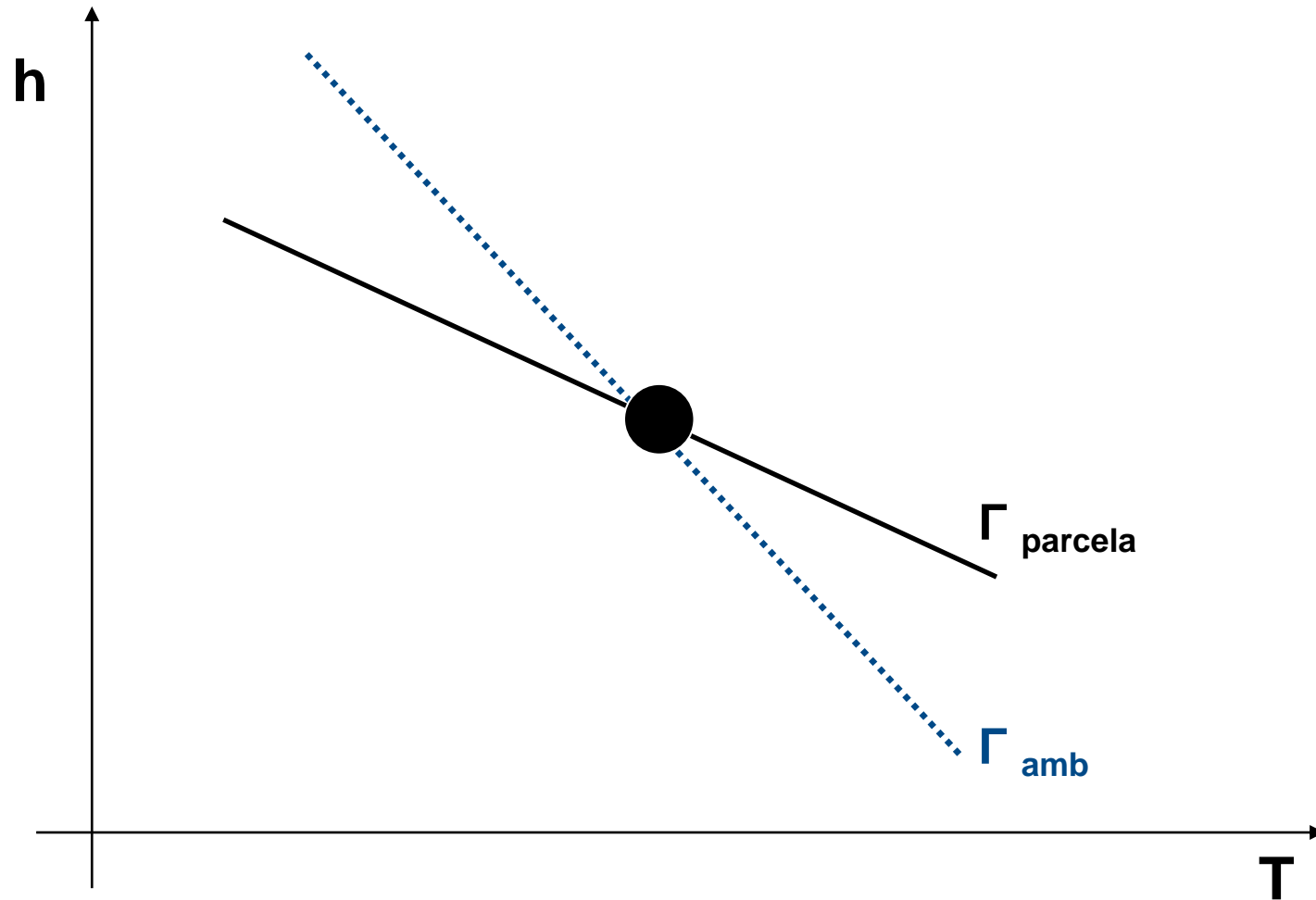
Si el medio se enfría más rápido que la parcela, la posición de equilibrio inicial es inestable.



$$\Gamma_{\text{parcela}} < \Gamma_{\text{amb}}$$

**ATMÓSFERA  
INESTABLE**

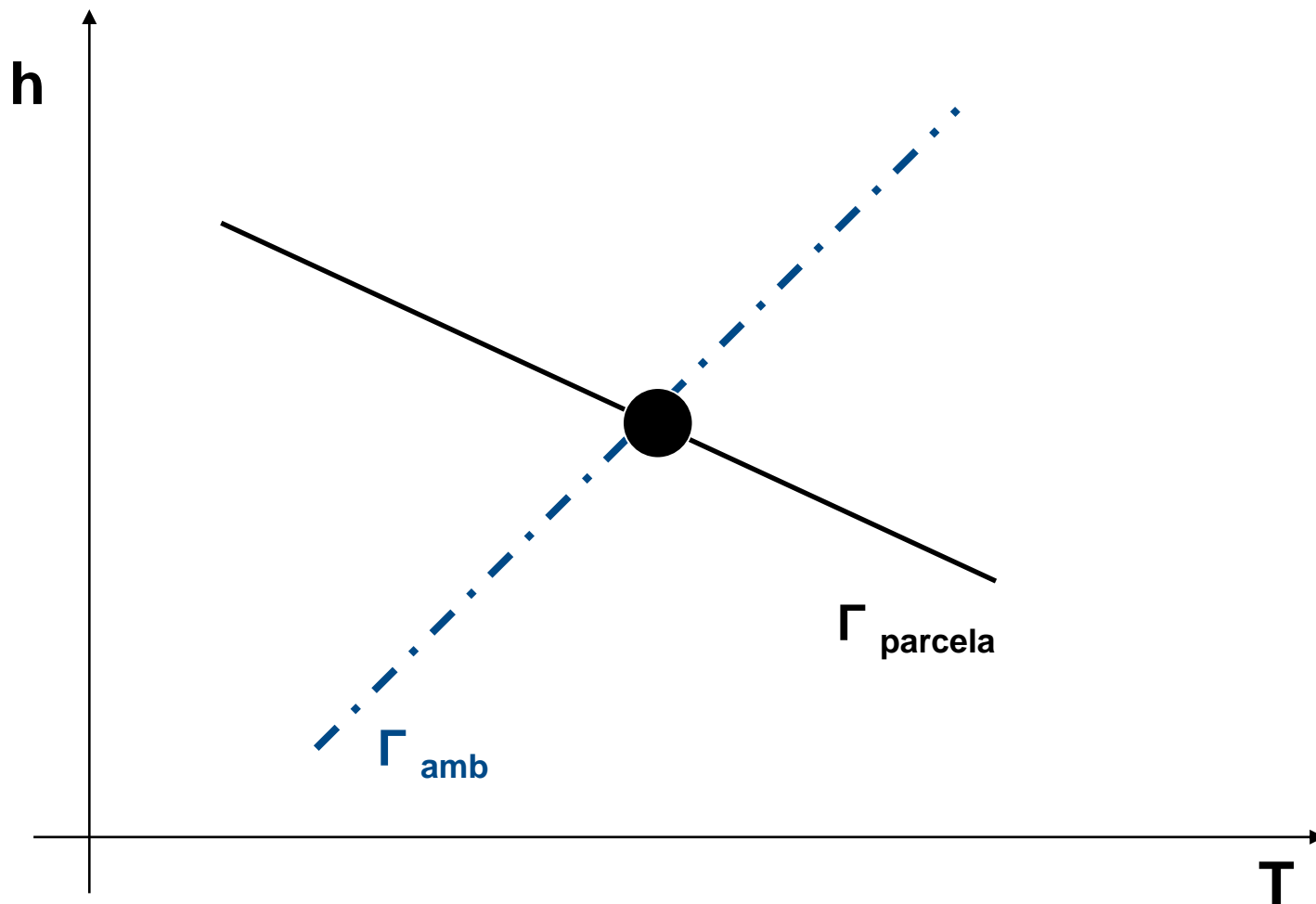
Si el medio se enfría más lentamente que la parcela, la posición de equilibrio inicial es estable.



$$\Gamma_{amb} < \Gamma_{parcela}$$

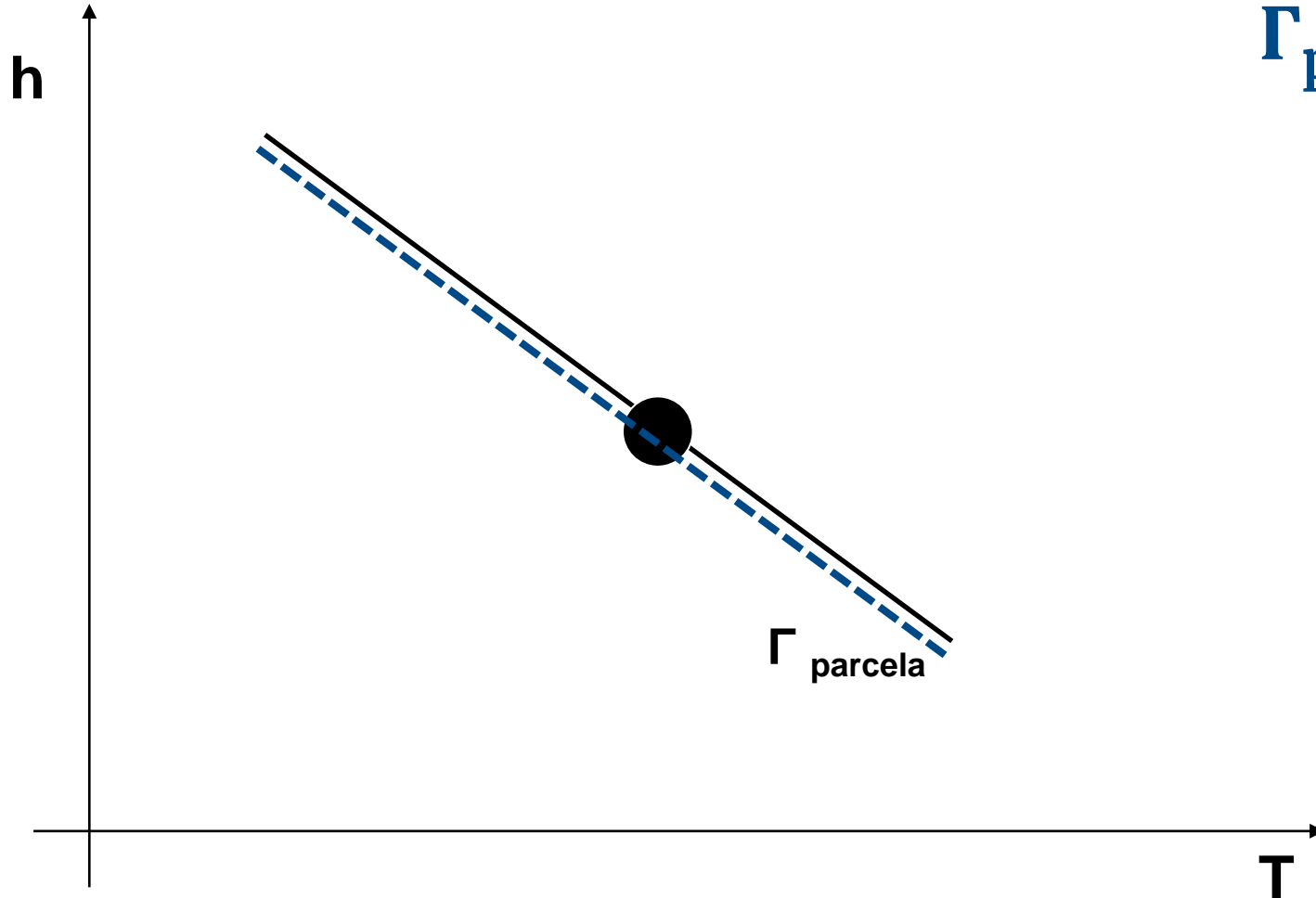
**ATMÓSFERA  
ESTABLE**

$$\Gamma_{\text{amb}} < 0$$



**Inversión  
térmica**

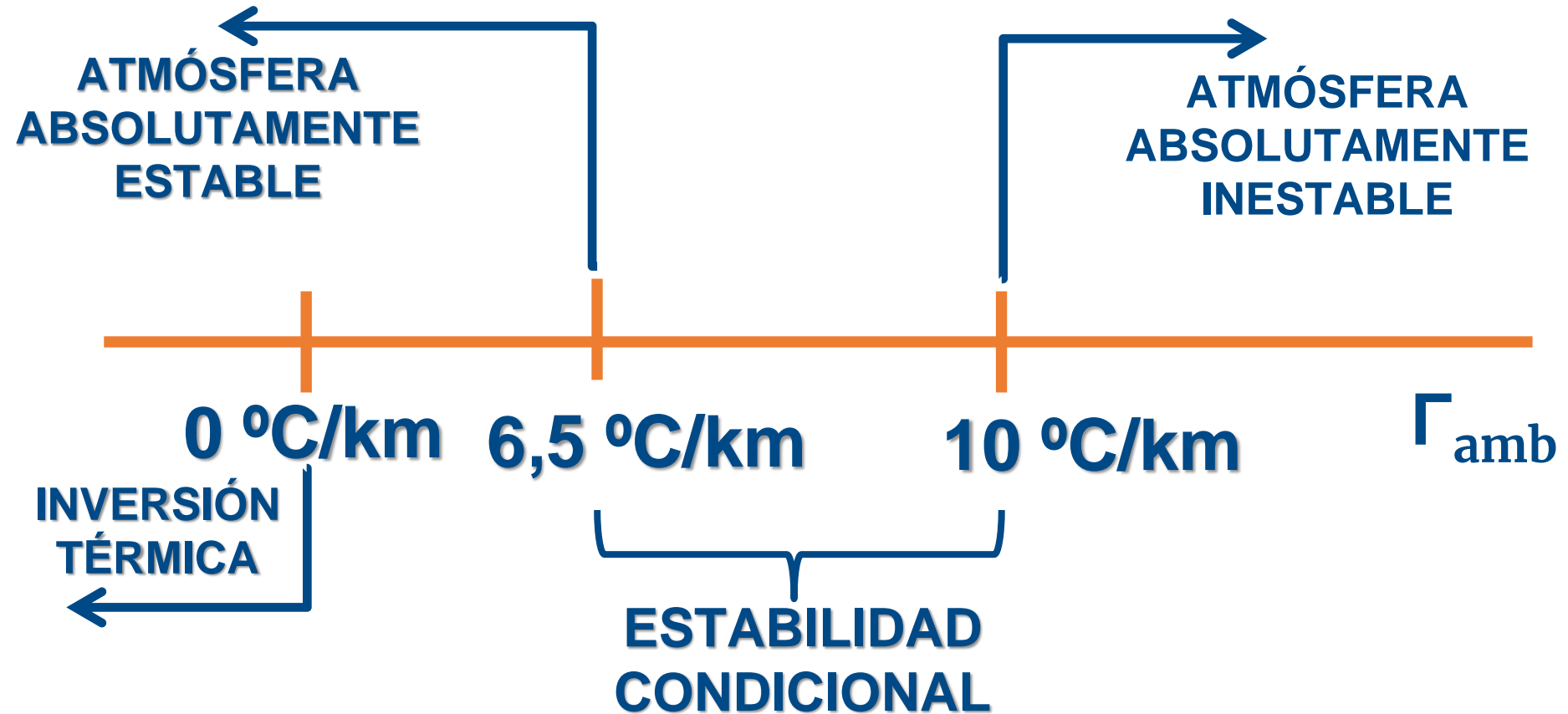
# ATMÓSFERA NEUTRA



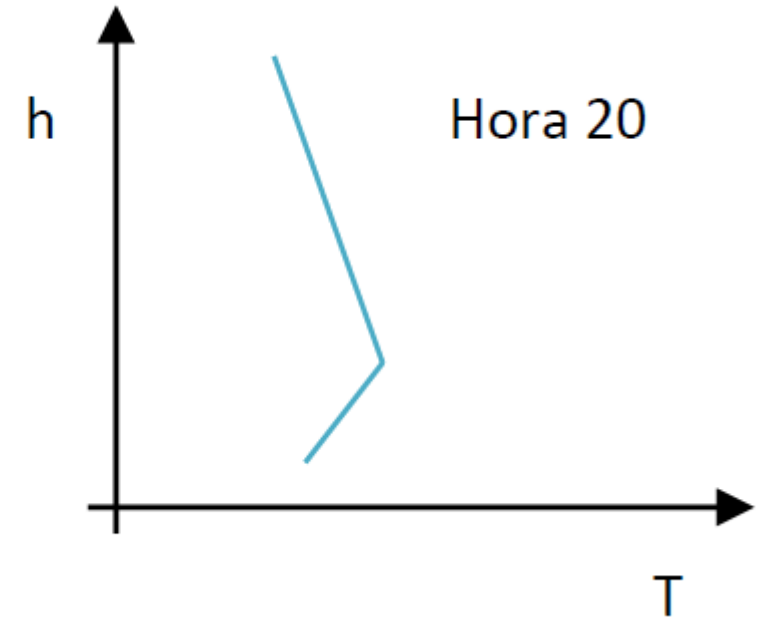
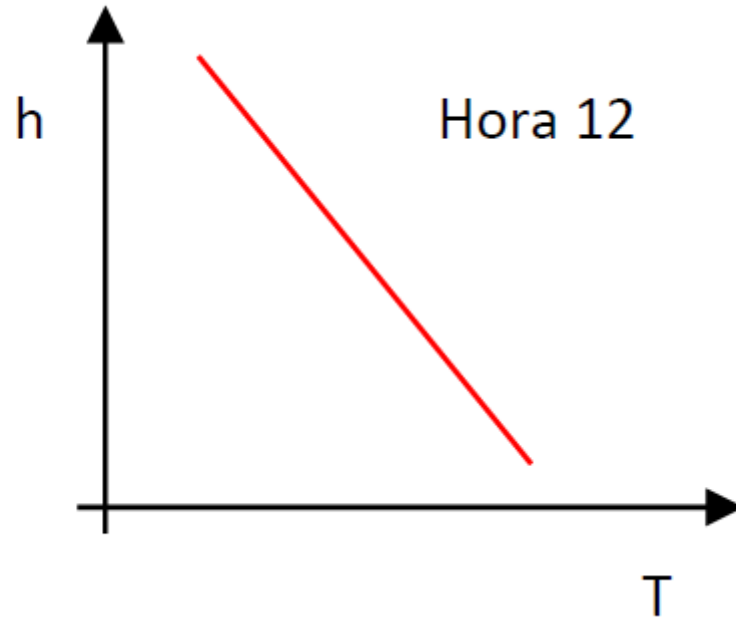
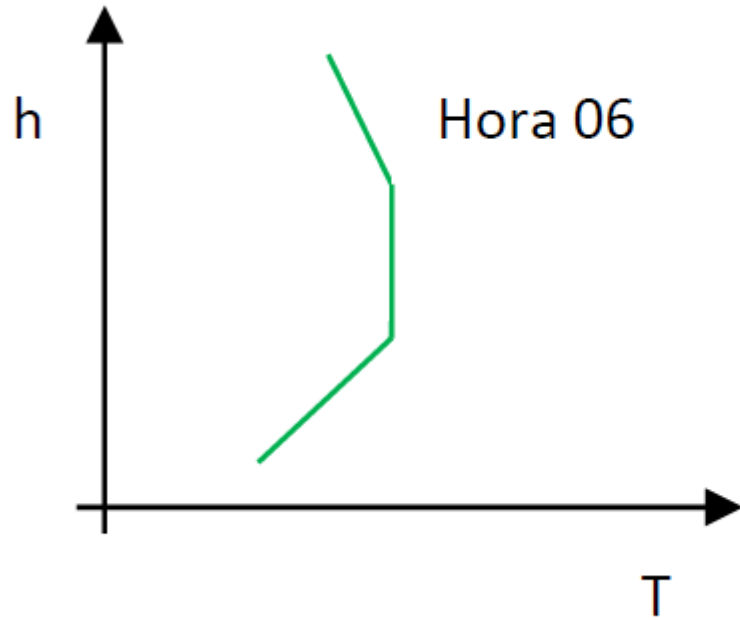
$$\Gamma_{\text{parcela}} = \Gamma_{\text{amb}}$$



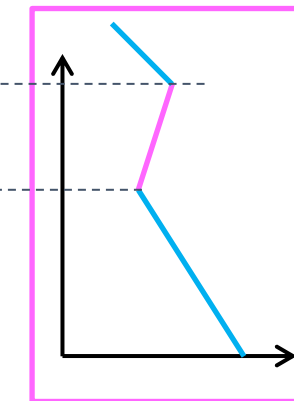
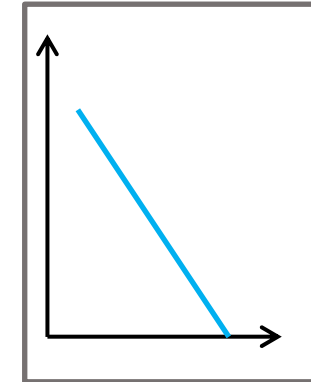
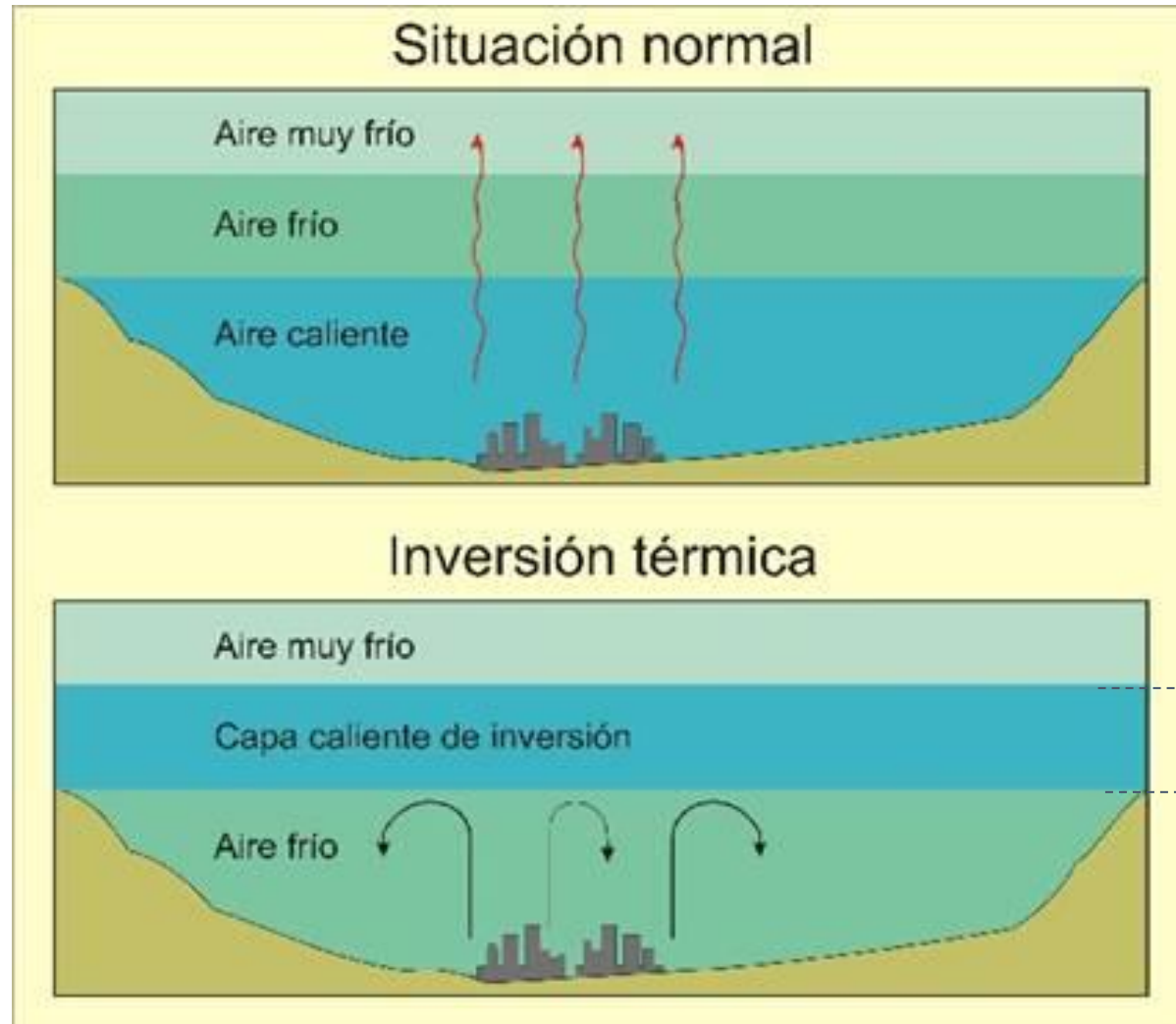
# Estabilidad e Inestabilidad



# Estabilidad e Inestabilidad



# Inversión térmica por radiación



# Inversión térmica marina

Ocurre en las proximidades de las grandes masas de agua.

Al calentarse la faz de la tierra, se calienta también el aire que la envuelve y esa masa gaseosa caliente tiende a elevarse.

El sitio que antes ocupaba el aire que se eleva es llenado ahora por aire oceánico más frío, que a su turno se calentará y también se elevará.

Esto ocurre a lo largo del día, haciendo que el viento sople del mar a la tierra para “reponer” el aire más caliente que se eleva.



Inversión térmica marina (<http://meted.ucar.edu/>)

# Inversión térmica marina

Al caer la tarde, llegará un momento en que el aire sobre la tierra no logrará calentarse lo suficiente como para subir y quedará atrapado bajo una masa superior de aire más caliente.

Esto da lugar a lo que se designa como inversión térmica marina.

También puede invertirse el sentido del viento y pasar a soplar de tierra a mar.

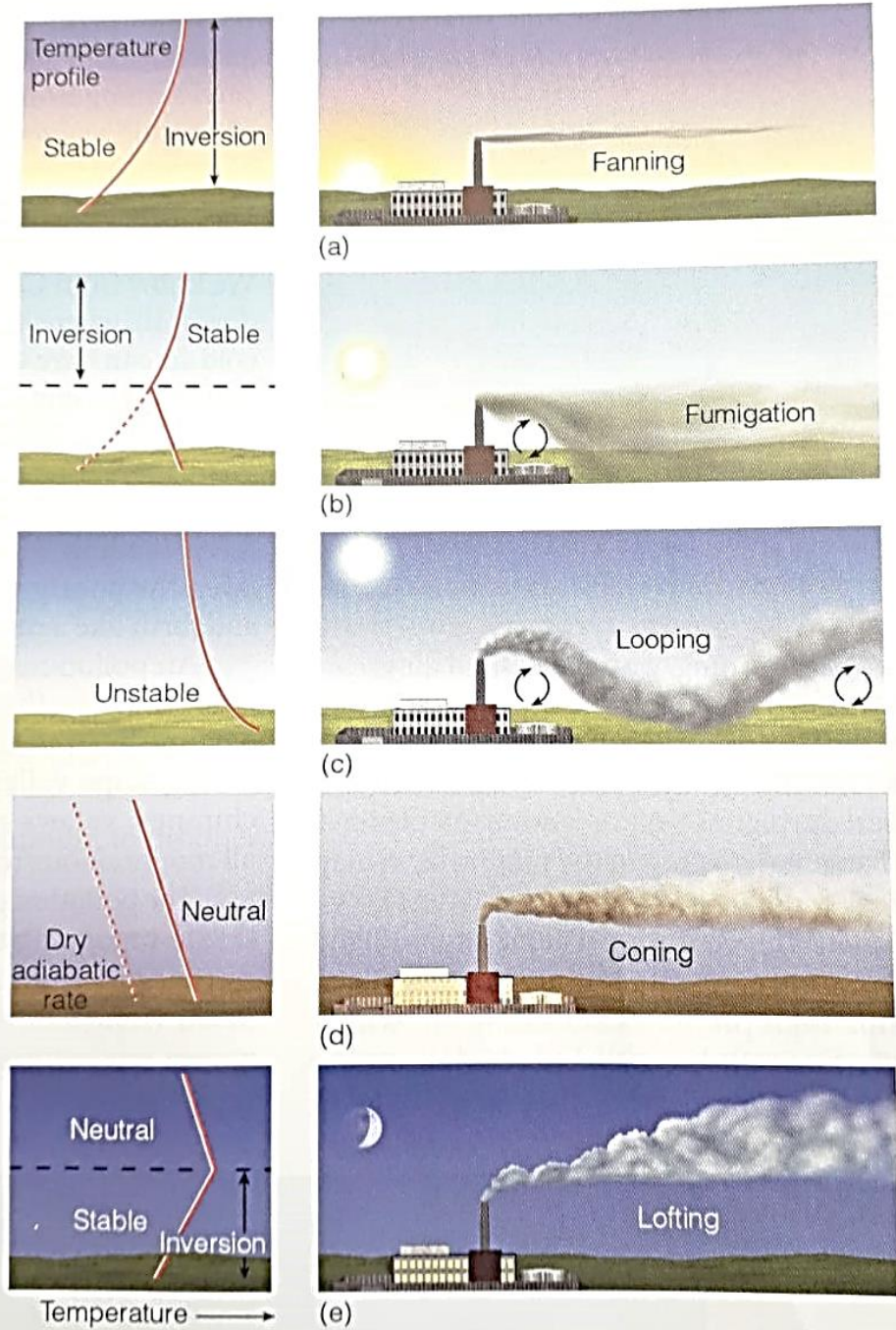
Este cambio de sentido es lo que usualmente se designa como “virazón”.



Inversión térmica marina (<http://meted.ucar.edu/>)

# Evolución diaria de la estabilidad atmosférica.

C.D. Ahrens, *Meteorology Today-An Introduction to Weather, Climate, and The Environment*. Cengage Learning (10<sup>ma</sup> edición), 2012.

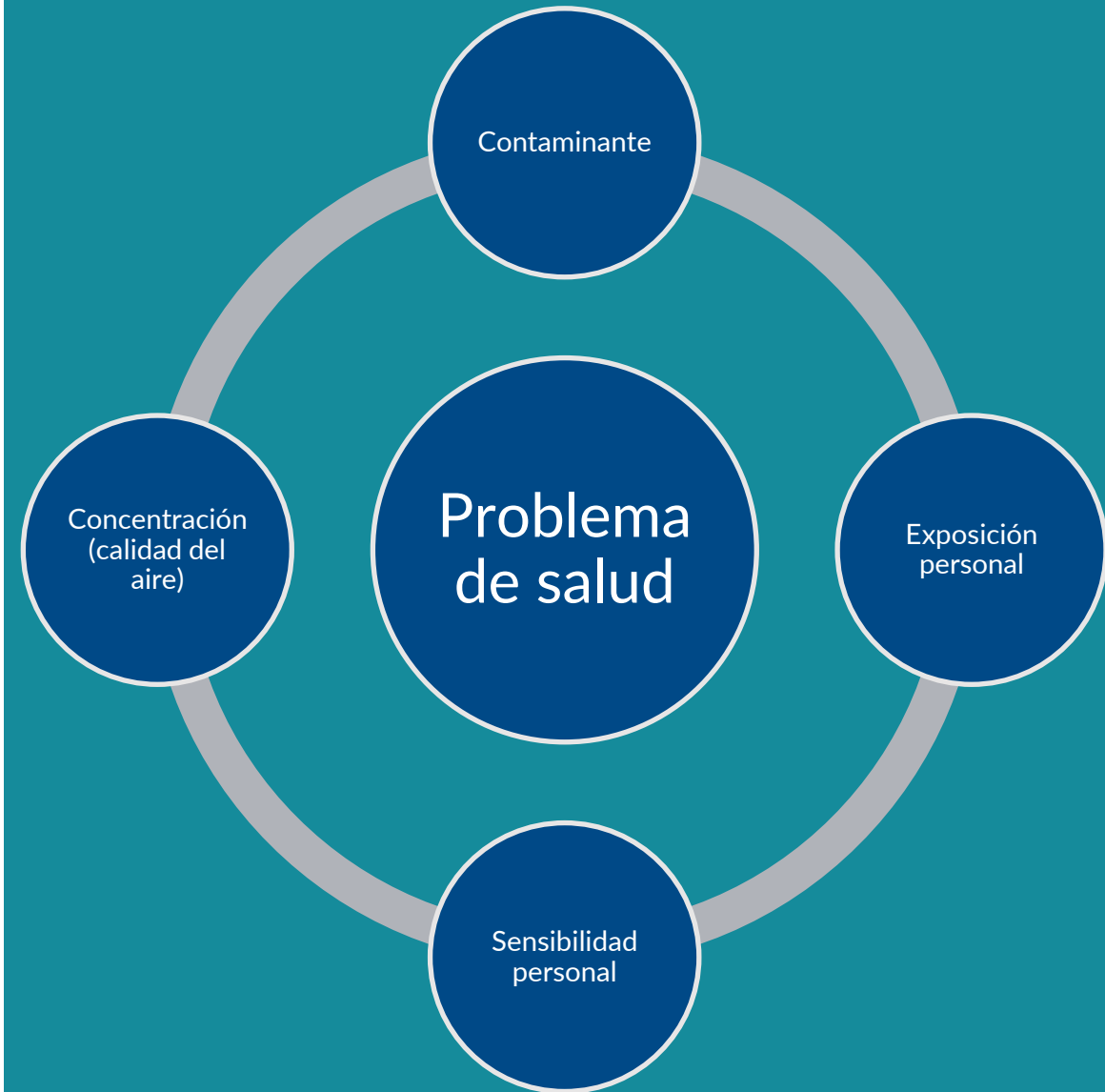


Peor situación



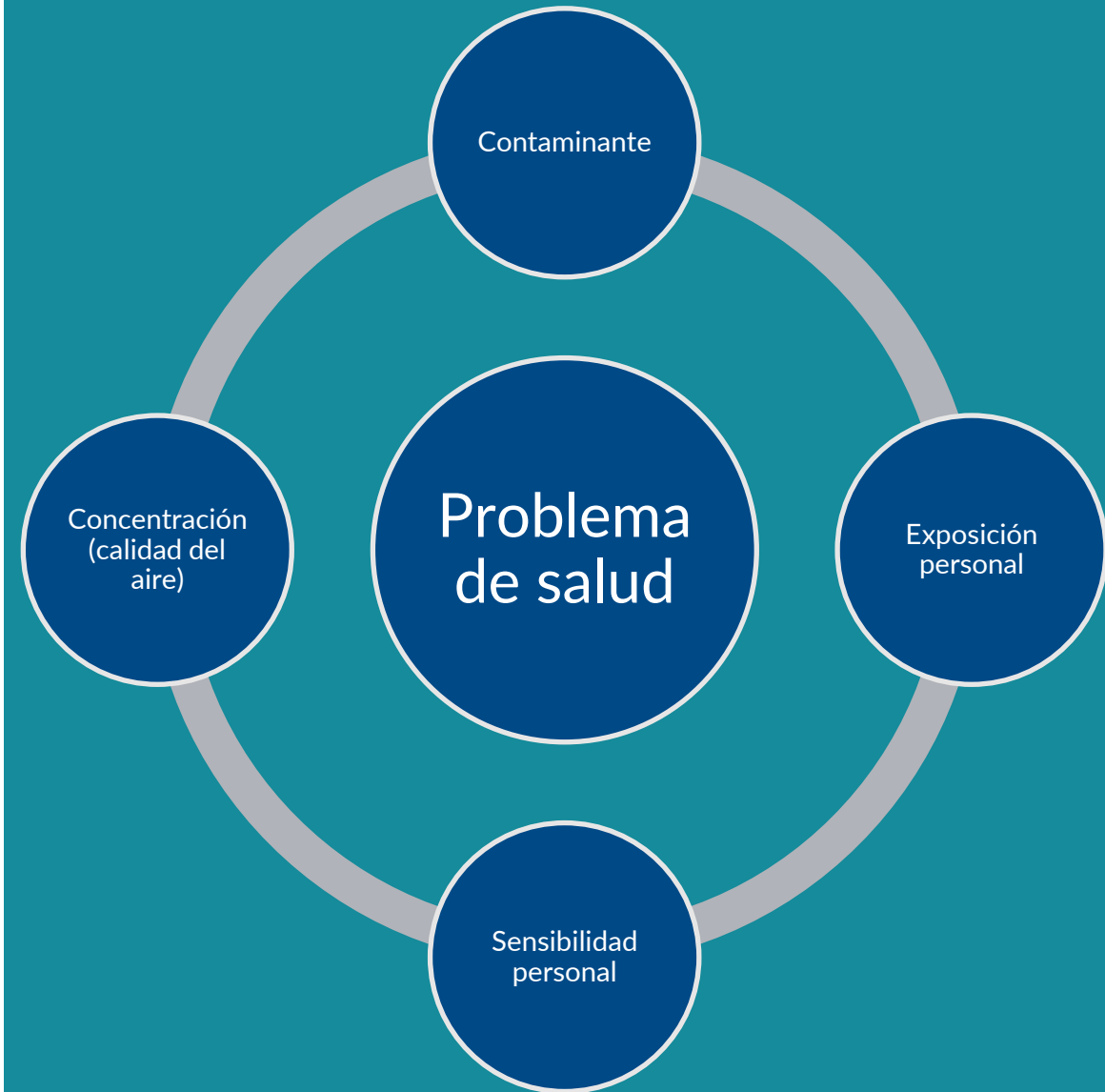
# Afectación a la salud humana

- A su vez, la generación de un problema de salud en las personas no depende solamente de la calidad del aire
- Sensibilidad personal: las poblaciones más vulnerables son ancianos, niños y personas con problemas de salud preexistentes
- Heterogeneidad temporal y espacial en la exposición personal (mayor afectación a personas de niveles socio-económicos más bajos)
- A nivel mundial, el principal contaminante es el  $PM_{2,5}$



# Afectación a la salud humana

- La carga de enfermedad atribuible a la contaminación atmosférica se estima actualmente a la par de otros riesgos globales a la salud (OMS, 2021):
  - ❖ Dieta no saludable
  - ❖ Consumo de tabaco
- La contaminación atmosférica es reconocida como el principal factor de riesgo ambiental para la salud humana (OMS, 2021)





# Contenido

- Organización del módulo
- Planteo del problema
- Contaminantes atmosféricos
- Episodios históricos de contaminación atmosférica
- Análisis de un episodio de contaminación atmosférica en Montevideo
- Herramientas de gestión de la calidad del aire

# Contaminantes atmosféricos

- Desde una perspectiva regulatoria, un contaminante atmosférico es una sustancia que se encuentra, o podría encontrarse en una concentración que exceda sus niveles seguros para la salud pública (está asociado al cumplimiento de un estándar)
- Desde un enfoque práctico, un contaminante atmosférico puede definirse como cualquier sustancia, regulada o no, que interfiera con una persona, un proceso o un objeto de valor
- En definitiva, un contaminante atmosférico es una sustancia que, en concentraciones ambientales realistas, produce efectos adversos en humanos, otros animales, la vegetación, la visibilidad, el clima u objetos (edificios, maquinaria, obras de arte, etc.)

# Clasificación

Según el momento en el que se generan:

- Contaminantes primarios: emitidos directamente desde una fuente. Pueden medirse en emisión y en inmisión
- Contaminantes secundarios: se forman en la atmósfera a partir de contaminantes primarios. Sólo pueden ser medidos en inmisión

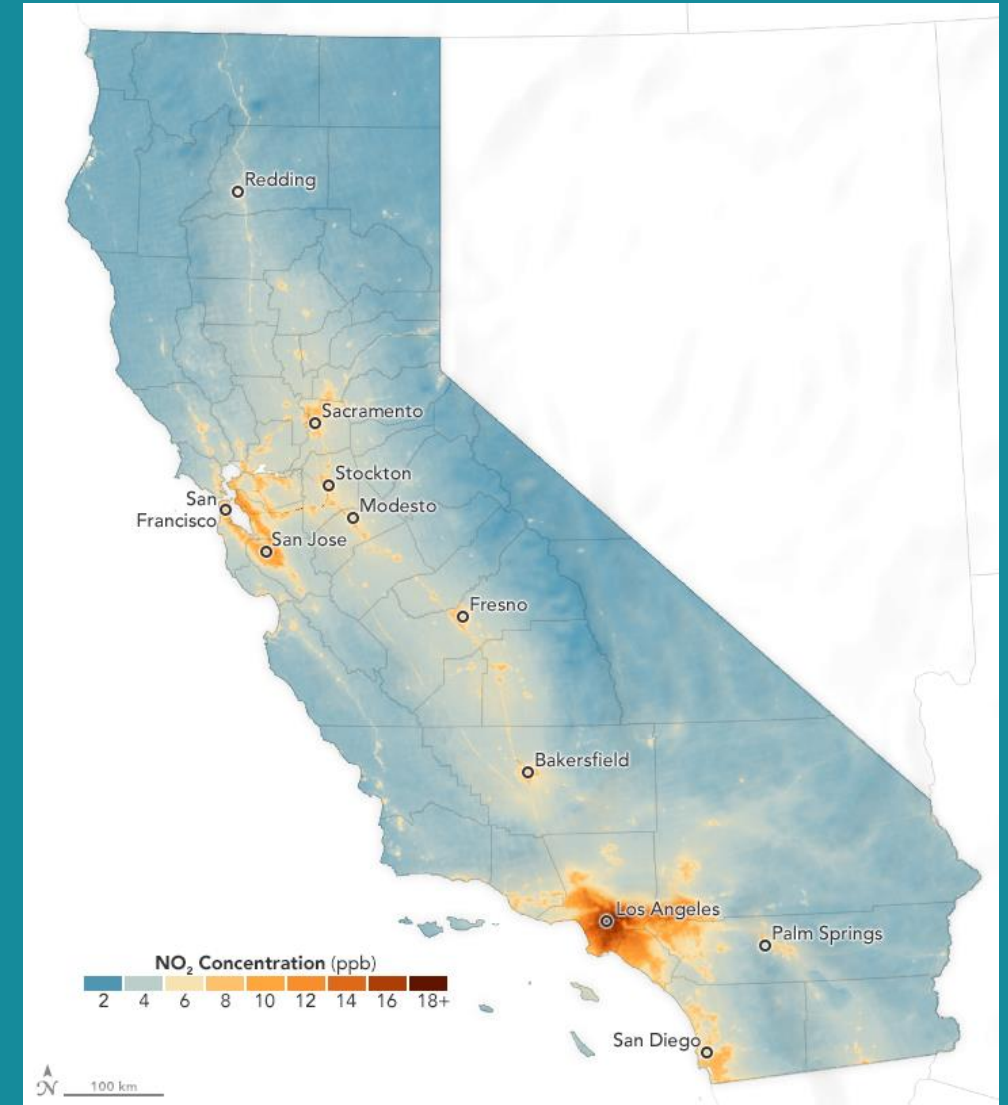


Ozono troposférico el 02/06/2017  
(<https://earthobservatory.nasa.gov/images/150135/clearer-view-of-great-lakes-air-quality>)

# Clasificación

Según su presentación física:

- Gases: sustancias que se encuentran en estado gaseoso a 25 °C y 1 atm
- Vapores: fase gaseosa de una sustancia cuyo estado físico a 25 °C y 1 atm es sólido o líquido
- Aerosoles: dispersión de partículas sólidas o líquidas, de tamaño inferior a 100  $\mu\text{m}$ , en un medio gaseoso (polvo, humo, niebla, bruma, smog (niebla + humo + partículas en suspensión))



Concentración de dióxido de nitrógeno 2018-2019  
(<https://earthobservatory.nasa.gov/images/151005/nitrogen-dioxide-in-the-neighborhood>)

# Contaminantes criterio

- Son un conjunto de agentes muy abundantes especialmente en los centros urbanos, con potencial de generar efectos perjudiciales para la salud de las personas
- Se suelen establecer límites en emisión y en inmisión (valores guía y estándares) para proteger la salud y el bienestar humano con un razonable margen de seguridad
- Están definidos por la Organización Mundial de la Salud



- Monóxido de carbono (CO)
- Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>)
- Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)
- Ozono (O<sub>3</sub>)
- Partículas de diámetro aerodinámico menor o igual a 10 μm (PM<sub>10</sub>)



Emisiones de estufas residenciales en Chile  
([https://www.ciperchile.cl/2020/12/16/el-estado-propone-pellets-  
pero-no-hay-pellets-obstaculos-para-bajar-la-contaminacion-por-  
lena-en-el-sur/](https://www.ciperchile.cl/2020/12/16/el-estado-propone-pellets-pero-no-hay-pellets-obstaculos-para-bajar-la-contaminacion-por-lena-en-el-sur/))

# Monóxido de Carbono CO

- Gas incoloro e inodoro
- Producto de combustiones incompletas
- Efectos sobre la salud humana:
  - Fuerte dolor de cabeza, afecta la percepción visual
  - Asfixiante químico
- Otros efectos:
  - No es termoactivo pero contribuye indirectamente al calentamiento de la atmósfera (precursor de CO<sub>2</sub>)

# Dióxido de Azufre SO<sub>2</sub>

- Gas incoloro, irritante, muy hidrosoluble
- Producto de la combustión de combustibles fósiles, en los que el azufre está presente como impureza
- Efectos sobre la salud humana:
  - Irritante de las vías respiratorias
  - Broncoconstrictor
- Otros efectos:
  - Contaminante primario en el smog ácido
  - Contaminante primario en la lluvia ácida
  - Daño a vegetales, corrosivo, reduce la visibilidad, contribuye a enfriar localmente la atmósfera



# Óxidos de Nitrógeno (NO + NO<sub>2</sub>)

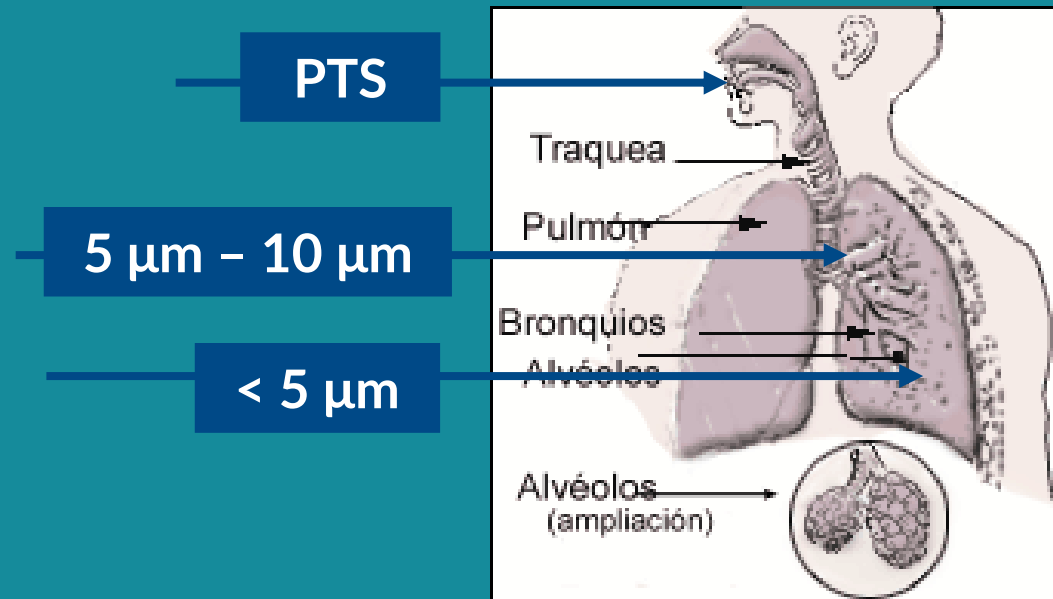
- Producto de la combustión a alta temperatura, especialmente en fuentes móviles (el N<sub>2</sub> proviene mayoritariamente del aire)
- Efectos sobre la salud humana: irritante del sistema respiratorio, especialmente a nivel pulmonar
- Otros efectos:
  - Contaminante primario en la lluvia ácida
  - Contaminante primario en el smog fotoquímico
  - Daño a vegetales
  - Precursor de O<sub>3</sub> y de partículas inhalables y respirables
  - Reduce la visibilidad
  - Contribuye indirectamente al calentamiento de la atmósfera (precursores de O<sub>3</sub> y N<sub>2</sub>O)

# Ozono O<sub>3</sub>

- Gas muy oxidante
- Contaminante secundario (no se le asocian fuentes de emisión a nivel ambiental)
- Efectos sobre la salud humana: irritante de la vista y del sistema respiratorio, tanto en vías superiores como a nivel pulmonar
- Otros efectos:
  - Contaminante secundario en smog fotoquímico
  - Daño a vegetales
  - Reduce la visibilidad
  - Corrosivo, deteriora materiales y pinturas
  - Es un gas de efecto invernadero (GEI), pero que tiene un ciclo de vida muy breve en la tropósfera

# Partículas o Material Particulado: Clasificación por su tamaño

- Sedimentables
- Inhalables
- Respirables (se utiliza  $PM_{2,5}$ )



**Díámetro aerodinámico:** Se define como el diámetro de una partícula ideal esférica, de densidad igual a  $1 \text{ g/cm}^3$ , que tiene la misma velocidad de sedimentación en el aire que la partícula real que se está analizando.

# Partículas inhalables: $PM_{10}$

- $PM_{10}$ : Fracción inhalable (diámetro aerodinámico  $\leq 10 \mu\text{m}$ )
- Hay partículas primarias y secundarias
- Se forman básicamente por medio de procesos mecánicos, como las obras de construcción, la resuspensión del polvo de los caminos y el viento (erosión eólica), mientras que las  $PM_{2,5}$  proceden sobre todo de fuentes de combustión
- Efectos sobre la salud humana: dependientes de su diámetro y naturaleza
- Efectos ambientales:
  - Reducen la visibilidad
  - Actúan como núcleos de condensación
  - Localmente tienden a enfriar la atmósfera
  - Otros efectos dependen de su diámetro y naturaleza

# Contenido

- Organización del módulo
- Planteo del problema
- Contaminantes atmosféricos
- Episodios históricos de contaminación atmosférica
- Análisis de un episodio de contaminación atmosférica en Montevideo
- Herramientas de gestión de la calidad del aire

# Episodios históricos de contaminación atmosférica

- Primer y mayor evento extremo de contaminación atmosférica: emisión de grandes cantidades de **oxígeno** en la era proterozoica (se extinguieron algunas especies)
- En 1661 se escribe "Fumifugium", en el que se convoca a la limpieza de la ciudad de Londres. Allí se menciona: "apenas se pueden ver las calles y hay partículas en el aire tan grandes que apenas se puede respirar". Propone la relocalización de industrias fuera de la ciudad a los efectos de prevenir la sedimentación de hollín en el espacio urbano y la plantación de flores para que la ciudad reciba los aromas que éstas emanan



# Episodios históricos de contaminación atmosférica

- Durante la Revolución Industrial ( $\approx 1750-1840$ ), *la presión por el progreso y sus beneficios asociados fue muy superior a las intenciones regulatorias con respecto a la contaminación atmosférica (sus efectos sobre la salud ya eran reconocidos)*
- Los grandes episodios de contaminación atmosférica del Siglo XX cambiaron esta percepción y *motivaron la acción regulatoria*



# Características de los grandes episodios de contaminación atmosférica del Siglo XX

- Emisiones de combustión (combinación de distintos contaminantes)
- Tiempo frío (aumento de la calefacción)
- Niebla persistente
- Aire estancado (baja velocidad del viento, inversión térmica, zona de valles)



Meuse River Valley, 1930 (Bélgica)



Donora Pennsylvania, 1948 (EEUU)



Londres, 1952 (Inglaterra)



# Consecuencias de los grandes episodios de contaminación atmosférica del Siglo XX

- Promulgación del **British Clean Air Act** en 1956 (se limitó el uso de carbón para calefacción doméstica; el evento de 1952 posibilitó la primera correlación entre contaminación atmosférica y salud humana)
- Promulgación del **U.S. National Clean Air Act** en 1963
- Promulgación en Estados Unidos de los **National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)**. Estos estándares generaron diversas controversias:
  - ❖ Impacto en el costo de bienes y servicios
  - ❖ Uso de la masa y el tamaño de las partículas para definir los estándares (en lugar de su composición química)

# Consecuencias de los grandes episodios de contaminación atmosférica del Siglo XX

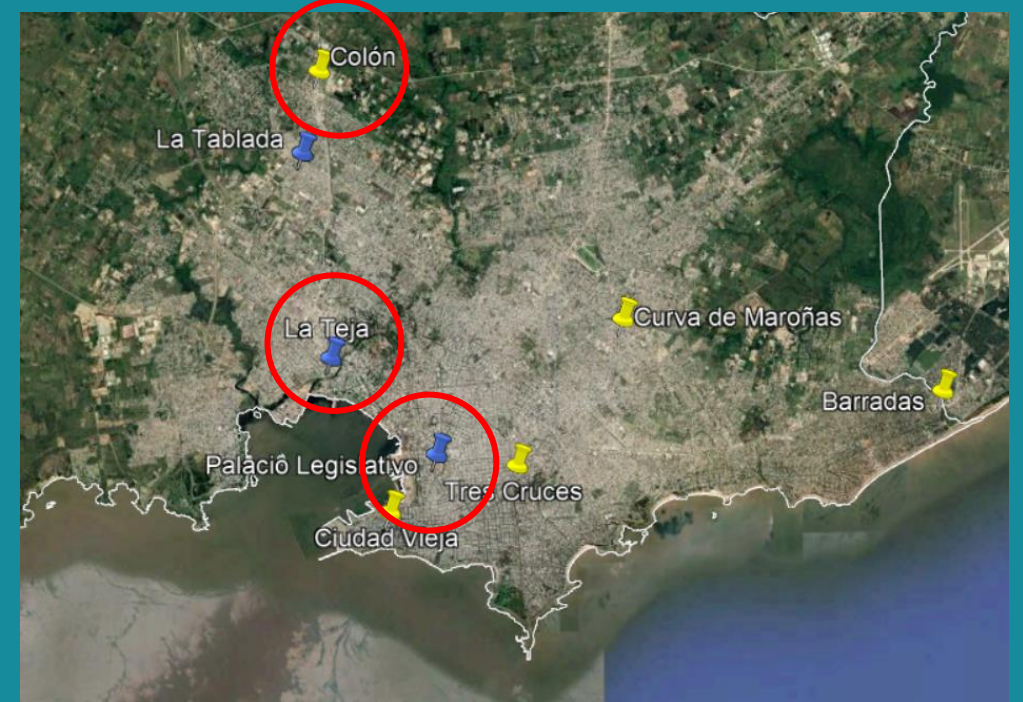
- Promulgación en Estados Unidos de los **National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)**. Estos estándares generaron diversas controversias:
  - ❖ La falta de evidencia empírica de la relación causa-efecto entre pequeñas variaciones de los niveles ambientales de partículas y la salud humana
  - ❖ El poder de la USEPA (United States Environmental Protection Agency) para establecer los estándares de forma independiente
- Luego de un extenso litigio, la USEPA fue respaldada por la Suprema Corte, y los estándares se convirtieron en leyes

# Contenido

- Organización del módulo
- Planteo del problema
- Contaminantes atmosféricos
- Episodios históricos de contaminación atmosférica
- Análisis de un episodio de contaminación atmosférica en Montevideo
- Herramientas de gestión de la calidad del aire

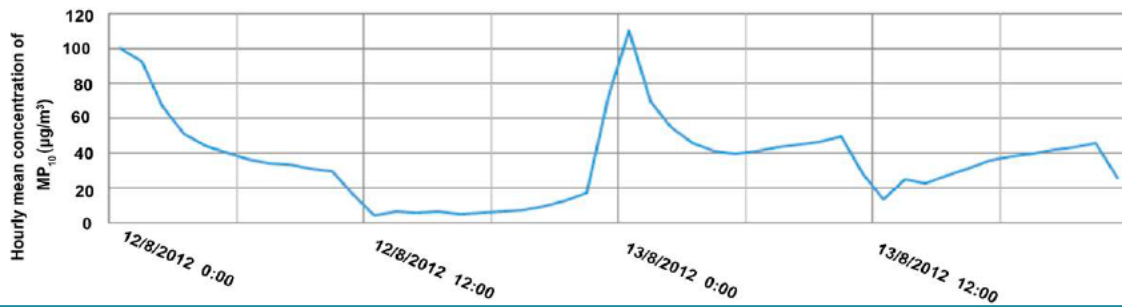
# Características del evento analizado

- Período: 12/08/2012 – 15/08/2012
- Estaciones de calidad del aire consideradas: La Teja, Palacio Legislativo y Colón
- Contaminante analizado: PM ( $PM_{10}$  y  $PM_{2,5}$ )

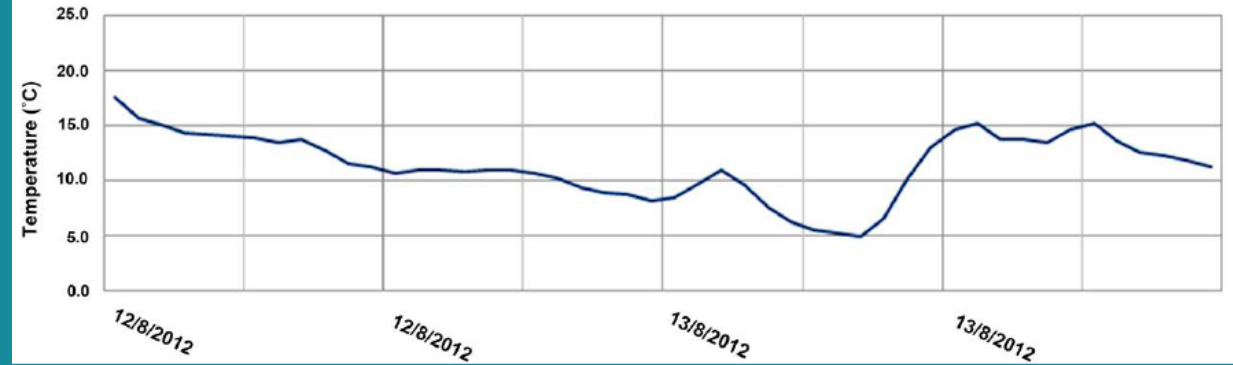


J. Cataldo, E. González, Analysis of the Relation between Particle Matter Concentration and Meteorological Parameter at Montevideo City. Open Journal of Air Pollution, 7: 120-139., 2018.

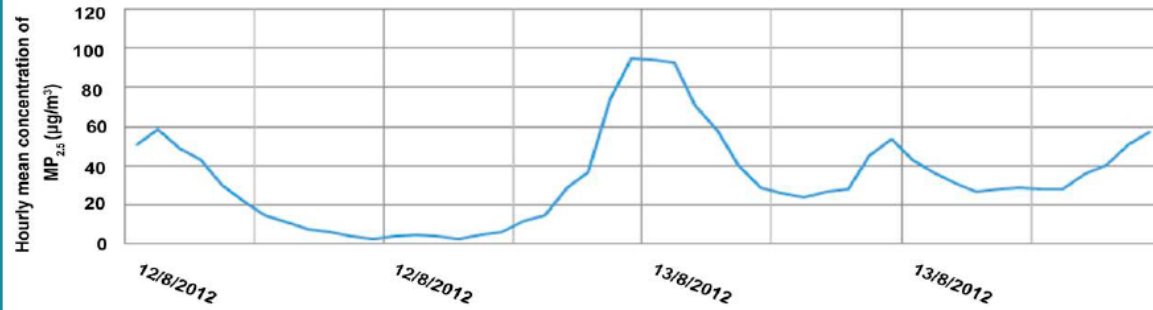
Palacio Legislativo, MP<sub>10</sub>, 12/8/2012 to 13/8/2012



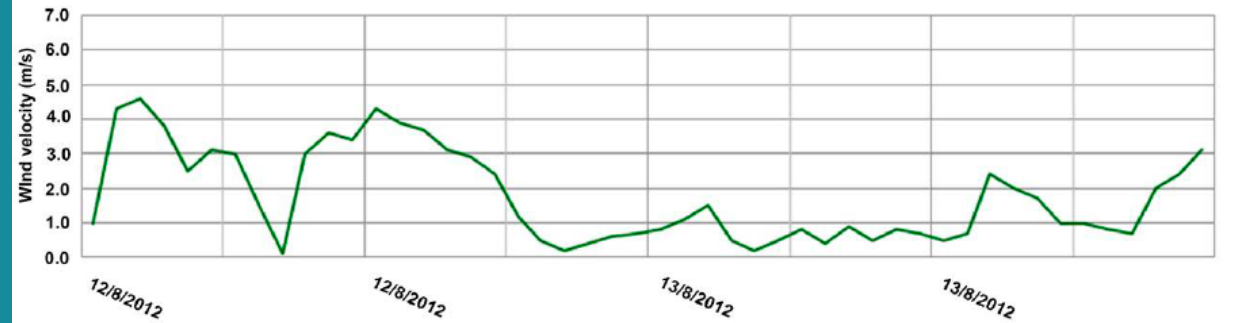
La Teja, Temperature (°C), 12/8/2012 to 13/8/2012



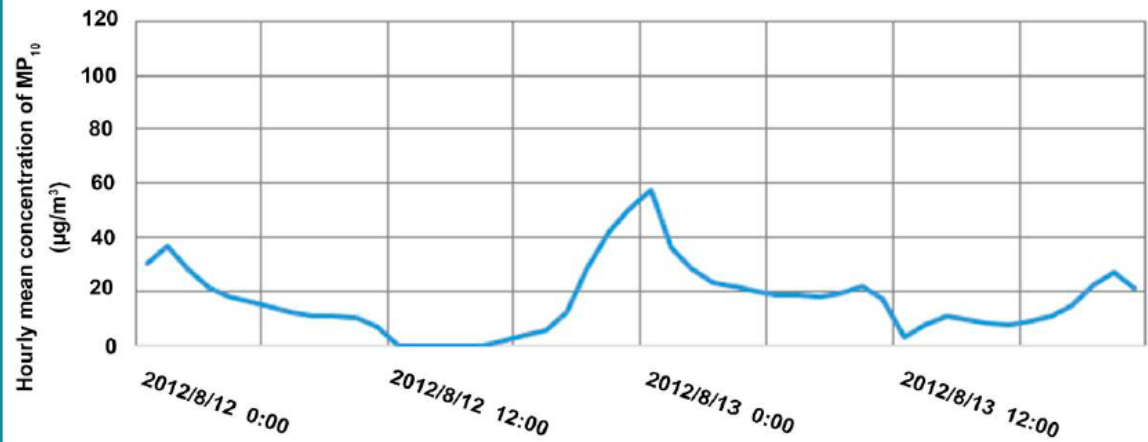
La Teja, MP<sub>2.5</sub>, 12/8/2012 to 13/8/2012



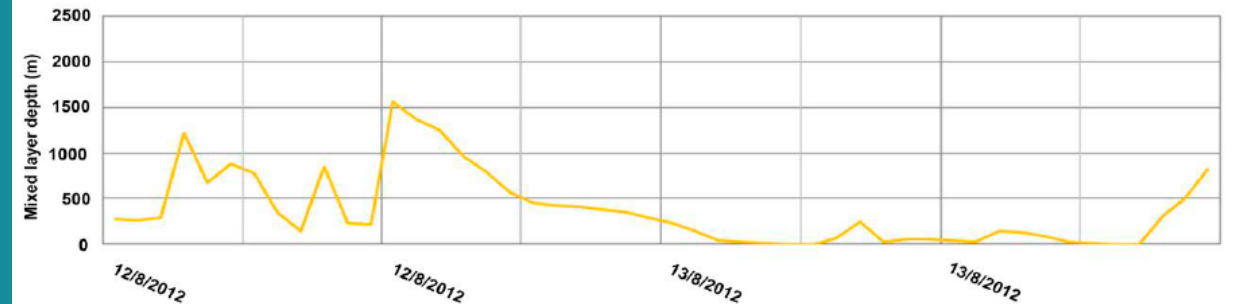
La Teja, Wind velocity, 12/8/2012 to 13/8/2012



Colón, MP<sub>10</sub>, 12/8/2012 to 13/8/2012



Le Teja, Mixed layer depth, 12/8/2012 a 13/8/2012



# Hallazgos

- Alta correlación entre las concentraciones de PM registradas en todas las estaciones analizadas. **La escala de longitudes de la fuente emisora debe ser similar a las dimensiones de la ciudad**
- El evento se corresponde con las siguientes condiciones meteorológicas: bajas temperaturas ( $< 13\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), velocidades del viento ( $< 3\text{ m/s}$ ) y alturas de la capa de mezcla ( $\leq 10\text{ m}$ ). Estas condiciones de velocidad del viento y altura de la capa de mezcla corresponden al 0,5 % - 1 % del tiempo
- Lo anterior indica que durante períodos de bajas temperaturas, una fuente emisora distribuida comienza a funcionar en Montevideo (estufas a leña)

# Contenido

- Organización del módulo
- Planteo del problema
- Contaminantes atmosféricos
- Episodios históricos de contaminación atmosférica
- Análisis de un episodio de contaminación atmosférica en Montevideo
- Herramientas de gestión de la calidad del aire

