

MÓDULO CALIDAD DE AIRE

GESTIÓN DE LA CALIDAD AMBIENTAL



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

CLASE N°1

- 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 de aire.

CRONOGRAMA GECA 2023				EQUIPO DOCENTE		
Clase No	Día		Mes	Tema		
1	lunes	31	julio	Contaminación sonora	Pablo Gianoli	
2	miércoles	2	agosto	Contaminación sonora		
3	lunes	7	agosto	Contaminación sonora		
4	miércoles	9	agosto	Contaminación sonora		
5	lunes	14	agosto	Contaminación sonora		
6	miércoles	16	agosto	Contaminación sonora		
7	lunes	21	agosto	Contaminación sonora		
8	miércoles	23	agosto	Gestión Residuos Sólidos Urbanos	Carolina Ramírez	
9	lunes	28	agosto	Gestión Residuos Sólidos Urbanos		
10	miércoles	30	agosto	Defensa entrega Contaminación Sonora		
11	lunes	4	setiembre	Gestión Residuos Sólidos Urbanos		
12	miércoles	6	setiembre	Gestión Residuos Sólidos Urbanos		
13	lunes	11	setiembre	Gestión Residuos Sólidos Urbanos		
14	miércoles	13	setiembre	Gestión Residuos Sólidos Urbanos		
	lunes	18	Parciales			
	miércoles	20				
	lunes	25				
	miércoles	27				
15	lunes	2	octubre	Gestión Residuos Sólidos Urbanos		Carolina Ramírez
16	miércoles	4	octubre	Gestión Residuos Sólidos Urbanos		
17	lunes	9	octubre	Gestión Residuos Sólidos Urbanos - Trabajo Grupal		
18	miércoles	11	octubre	Gestión Residuos Sólidos Urbanos - G1		
	lunes	16	octubre	Feriado		
19	miércoles	18	octubre	Gestión Residuos Sólidos Urbanos - G2		
20	lunes	23	octubre	Contaminación atmosférica	Mauro D'Angelo	
21	miércoles	25	octubre	Contaminación atmosférica		
22	lunes	30	octubre	Contaminación atmosférica		
23	miércoles	1	noviembre	Contaminación atmosférica		
24	lunes	6	noviembre	Contaminación atmosférica		
25	miércoles	8	noviembre	Contaminación atmosférica		
26	lunes	13	noviembre	Contaminación atmosférica		
27	miércoles	15	noviembre	Contaminación atmosférica		
	sábado	18	noviembre	Parciales		

ORGANIZACIÓN DEL MÓDULO

CRONOGRAMA GENERAL

ORGANIZACIÓN DEL MÓDULO

- Cronograma del módulo:

Nº de clase	Fecha	Horario	Salón	Tema
1	23-Oct	10 h -12 h	Posgrado IMFIA	Organización/Introducción/Contaminantes
2	25-Oct	10 h -12 h	Sala UdelaR A/B	Normativa
3	30-Oct	10 h -12 h	Posgrado IMFIA	Emisiones
4	1-Nov	10 h -12 h	Sala UdelaR A/B	Emisiones
5	6-Nov	10 h -12 h	Posgrado IMFIA	Monitoreo
6	8-Nov	10 h -12 h	Sala UdelaR A/B	Monitoreo
7	13-Nov	10 h -12 h	Posgrado IMFIA	Modelación
8	15-Nov	10 h -12 h	Sala UdelaR A/B	Modelación/Coordinación de trabajo final

- Modalidad:

- ❖ Exposiciones teóricas.
- ❖ Realización de ejercicios prácticos sencillos.

ORGANIZACIÓN DEL MÓDULO

- Evaluación del módulo:
 - ❖ Entrega y aprobación de un trabajo práctico.
 - ❖ 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.
- Temas no cubiertos:
 - ❖ Calentamiento global.

PLANTEO DEL PROBLEMA

- Se entiende por **contaminación atmosférica** a la presencia en el aire de materias o formas de energía que impliquen riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza, causada por fuentes naturales o antropogénicas.
- Es un problema **multicausal**.
- **Inmisión:** contenido del contaminante considerado presente en la atmósfera (en general hasta una altura de 1000 m aprox.) en un sitio dado. La misma se caracteriza a través de su concentración.

PLANTEO DEL PROBLEMA

- En América Latina y el Caribe, más del 80 % de la población es urbana.
- La tasa de motorización en América Latina y el Caribe ha aumentado drásticamente (61 % entre 2005 y 2015).
- La creciente motorización conlleva problemas de congestión, tiempos de traslado y consumo energético, **emisiones de contaminantes y degradación ambiental**, la invasión de áreas residenciales y el aumento de la inseguridad vial, que se traduce en índices muy elevados de personas heridas o muertas, así como la dificultad para la mayoría de las personas de tener acceso pleno al sistema público de transporte.



Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.

Tercera Reunión del Foro de los Países de América Latina y el Caribe sobre el Desarrollo Sostenible, 24 al 26 de abril de 2019.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>

PLANTEO DEL PROBLEMA

- Con pocas excepciones, **la expansión territorial de las ciudades se ha traducido en la reducción de la densidad urbana, lo que afecta el medio ambiente y aumenta los costos por habitante de las redes de infraestructura** (agua, electricidad, transporte, entre otras). La planificación urbana, las políticas de suelo y el cambio de los incentivos y las normas deberían reducir la segregación urbana y el costo económico y ambiental de los servicios.
- **Es clave considerar los impactos ambientales y sociales en el diseño, la planificación y la ejecución de las obras de infraestructura**, de modo de garantizar la provisión de los servicios y atender las preocupaciones de las comunidades en las que se desarrollan las obras.



Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.

Tercera Reunión del Foro de los Países de América Latina y el Caribe sobre el Desarrollo Sostenible, 24 al 26 de abril de 2019.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>

PLANTEO DEL PROBLEMA

- Desde 2016, el 90 % de los habitantes de las ciudades respiraba aire que no cumplía las normas de seguridad establecidas por la **Organización Mundial de la Salud**, lo que provocó un total de 4,2 millones de muertes debido a la contaminación atmosférica. **Más de la mitad de la población urbana mundial estuvo expuesta a niveles de contaminación del aire al menos 2,5 veces más altos que el estándar de seguridad.**
- **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.

11 CIUDADES Y
COMUNIDADES
SOSTENIBLES



Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.

Tercera Reunión del Foro de los Países de América Latina y el Caribe sobre el Desarrollo Sostenible, 24 al 26 de abril de 2019.

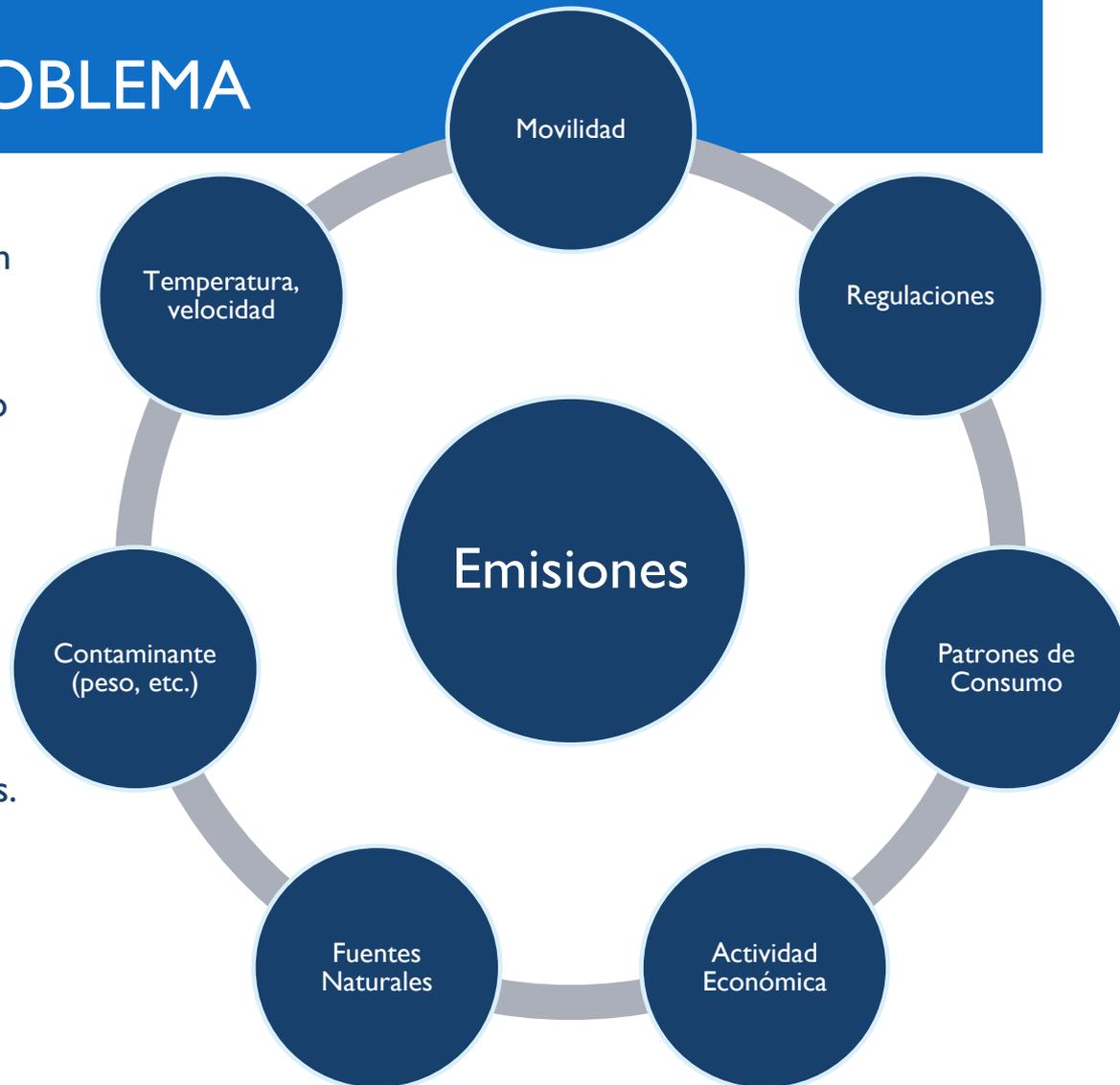
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>

PLANTEO DEL PROBLEMA



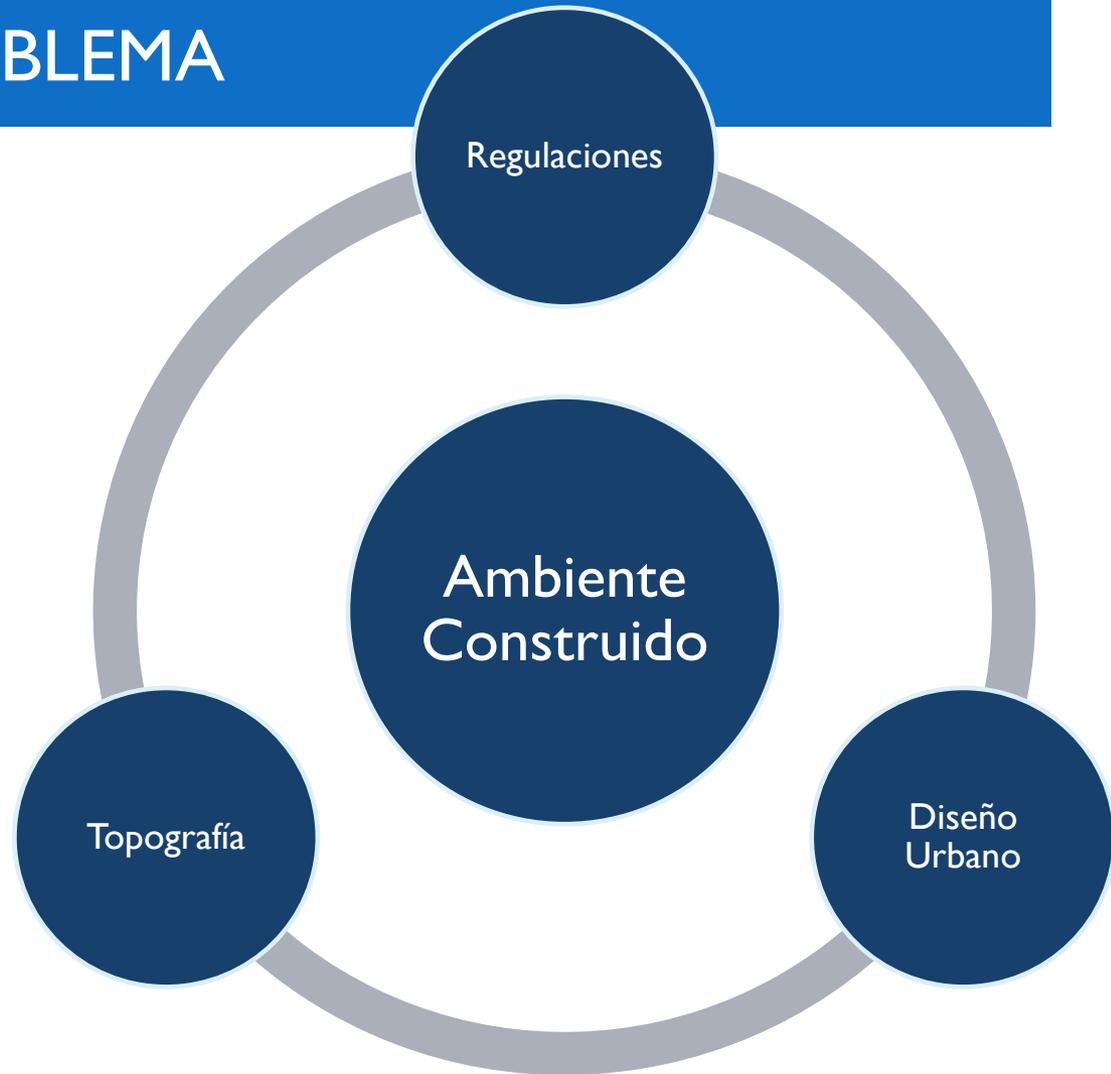
PLANTEO DEL PROBLEMA

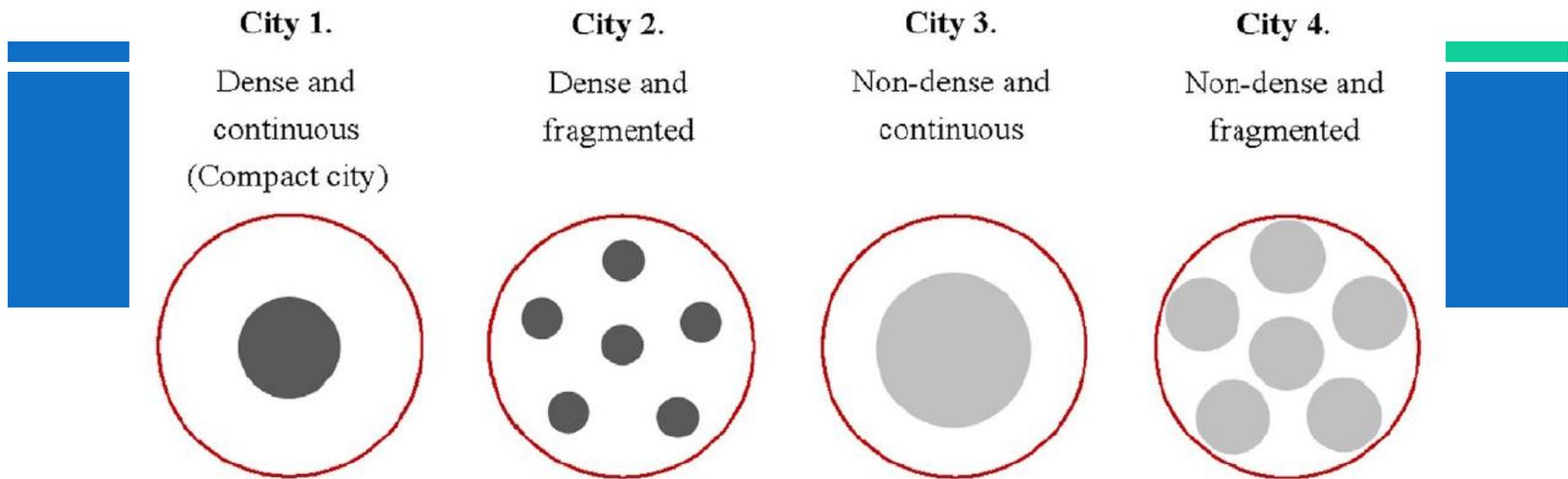
- La emisiones antropogénicas de contaminantes atmosféricos están determinadas por diversos factores:
 - ❖ Patrones de movilidad y consumo de la población.
 - ❖ Normativa.
 - ❖ Actividad económica.
- Existen también fuentes de emisión naturales: erosión eólica, erupciones volcánicas, entre otras.
- La dispersión atmosférica de las emisiones depende en parte del contaminante (peso, etc.) y de las condiciones de emisión (temperatura y velocidad).



PLANTEO DEL PROBLEMA

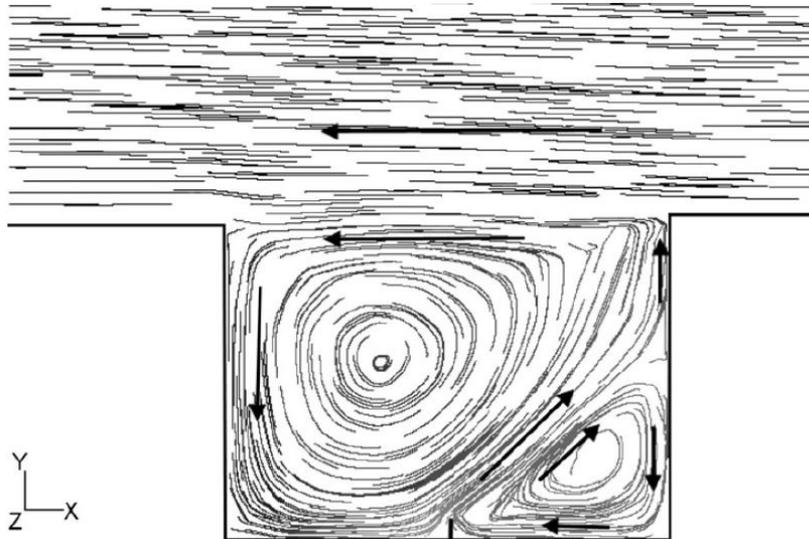
- A gran escala (ciudad), el diseño urbano puede condicionar los patrones de movilidad de la población (mayor uso del automóvil por ejemplo).
- A pequeña escala (calle), el diseño urbano puede afectar la dispersión atmosférica de los contaminantes emitidos (cañón urbano).
- Las regulaciones pueden guiar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





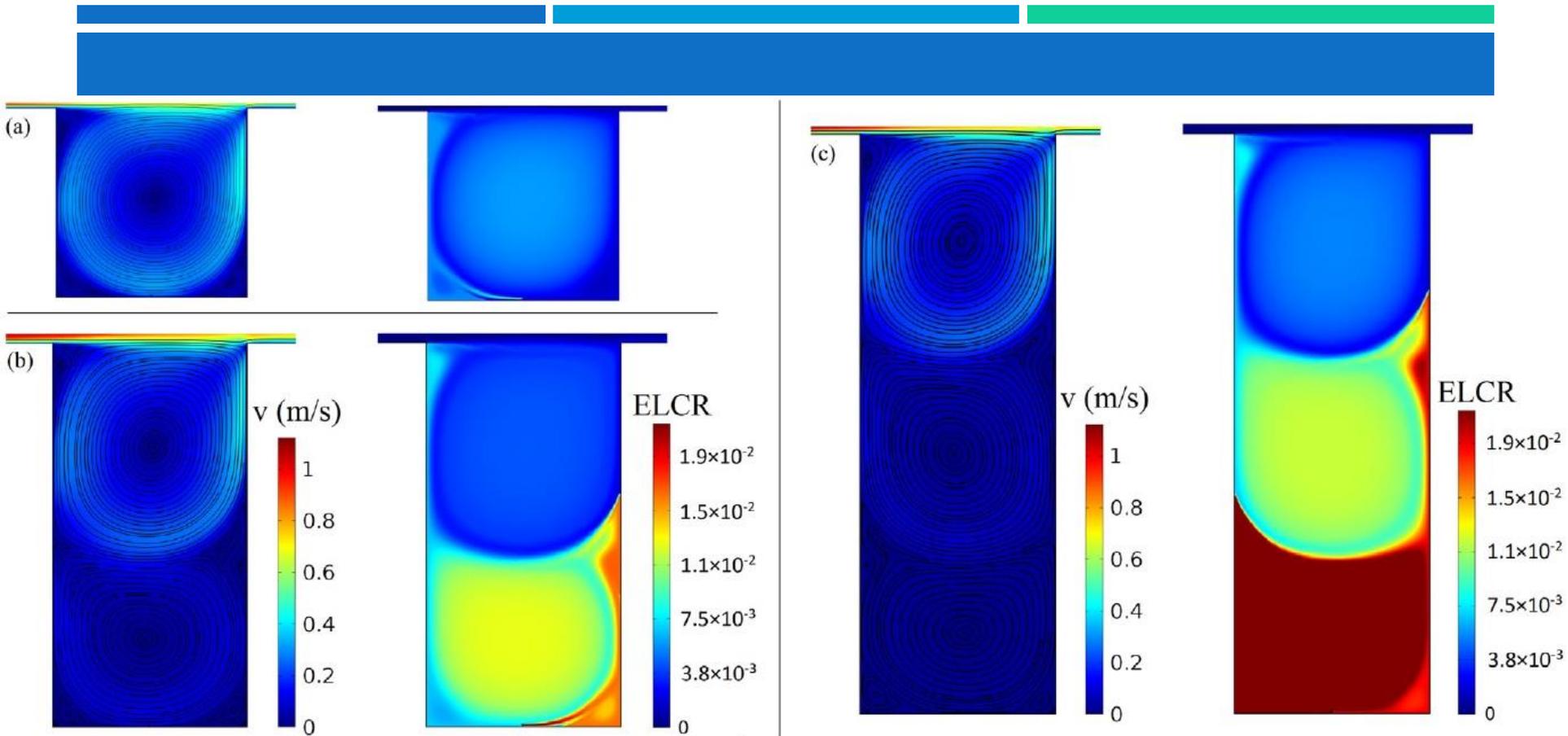
Patrones de ciudad con distintos niveles de densidad poblacional y fragmentación (el más apropiado para la calidad de aire es el 3).

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).

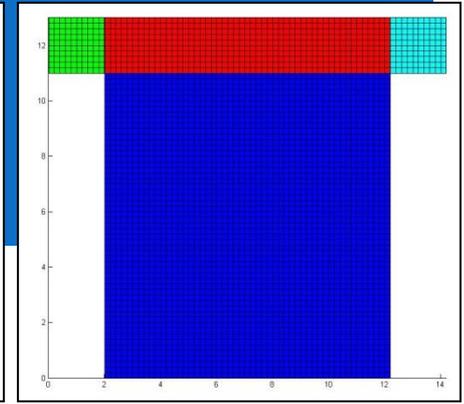
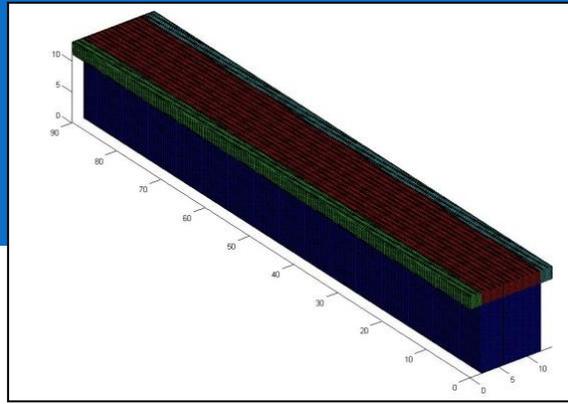
A. McNabola, B.M. Broderick, L.W. Gill, *A numerical investigation of the impact of low boundary walls on pedestrian exposure to air pollutants in urban street canyons. Science of the Total Environment, 407: 760-769., 2009.*



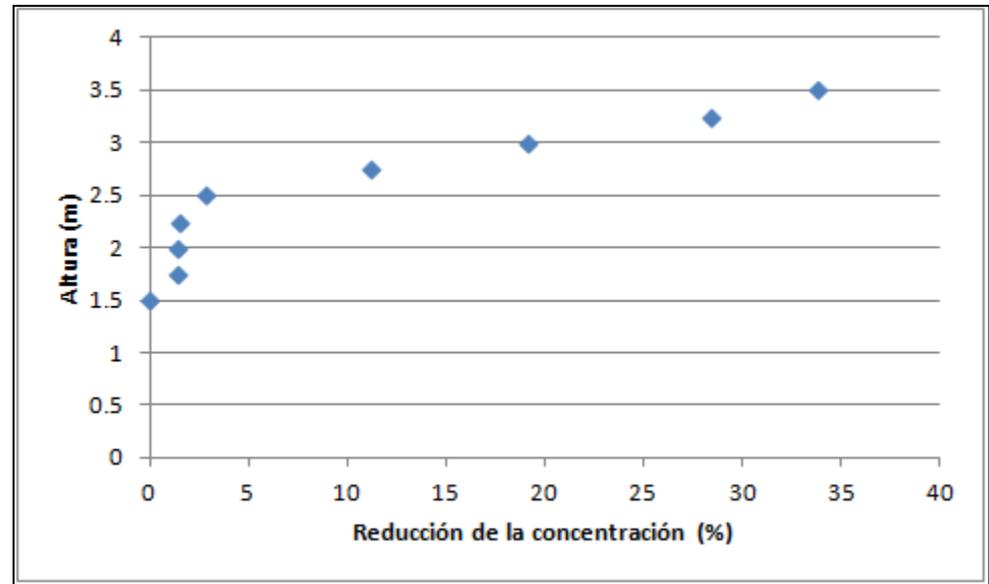
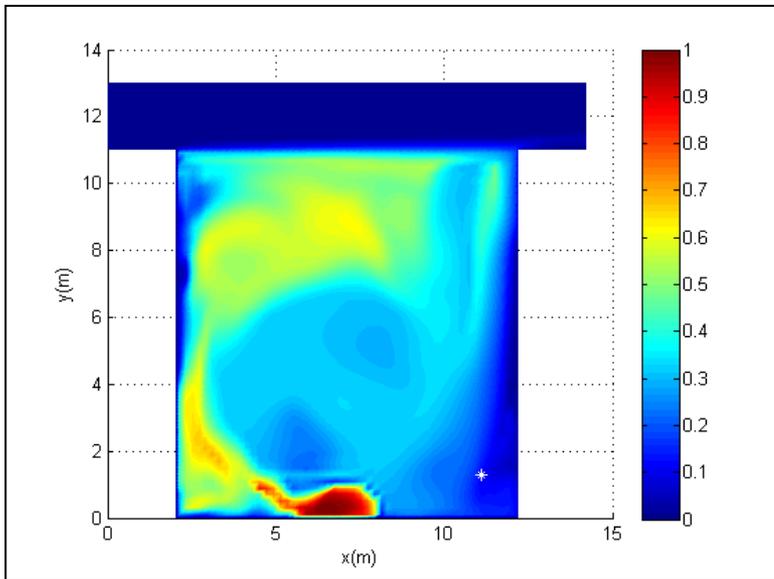
Flujo de aire y ELCR* para a) $H/W = 1$, b) $H/W = 2$ y c) $H/W = 3$, para una velocidad de viento incidente igual a 1 m/s.

*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.



Una celda de cálculo cada 20 cm



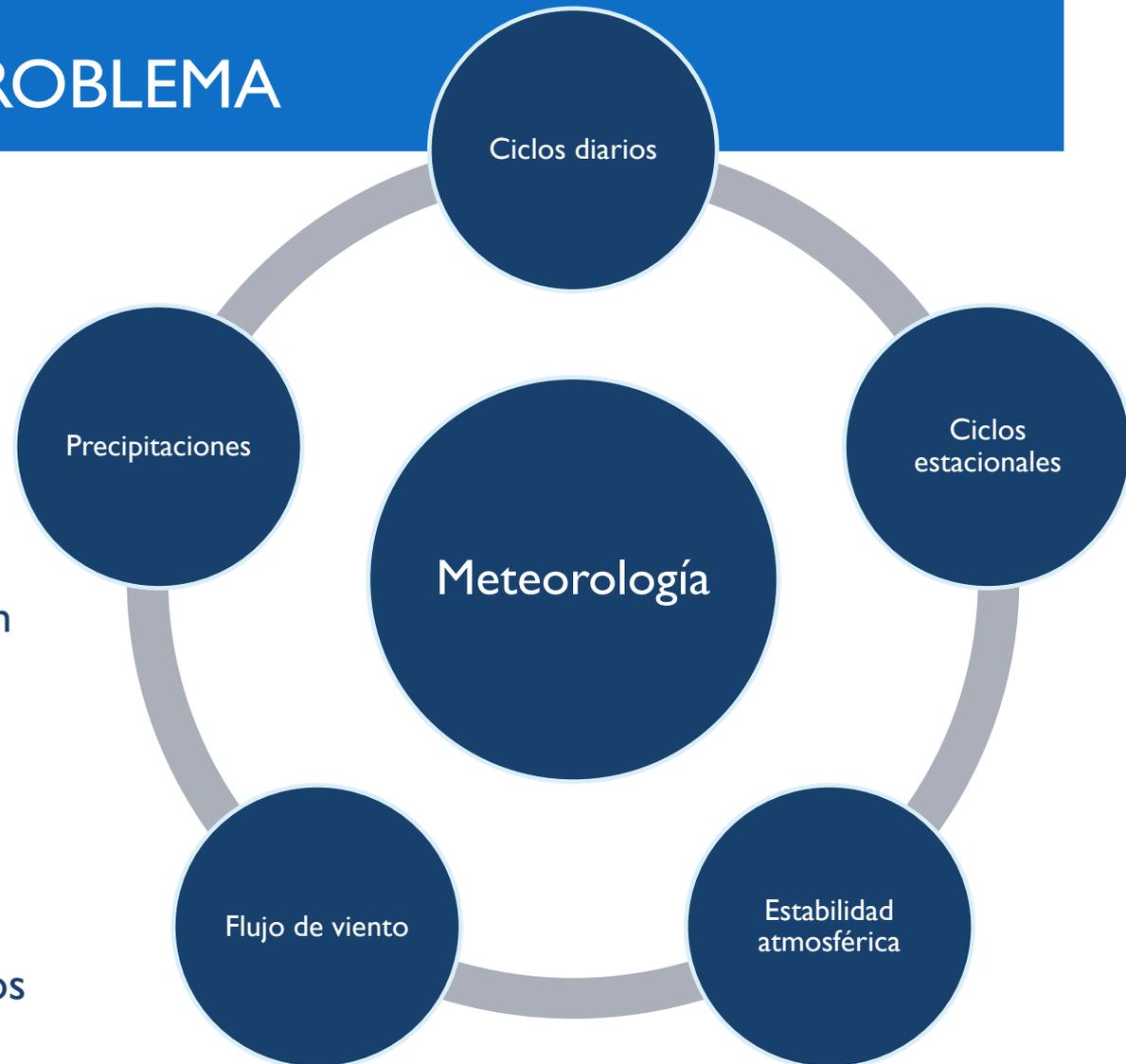
Viento perpendicular de izquierda a derecha, velocidad = 0.6 m/s, emisión de trazador

Estudio de la dispersión atmosférica de emisiones vehiculares en una calle de la Ciudad Vieja de Montevideo ($H/W = 1.1$).

M. D'Angelo, *Caracterización de las emisiones atmosféricas del transporte en Montevideo*. Tesis de Maestría en Ingeniería Ambiental, 2016.

PLANTEO DEL PROBLEMA

- 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 de viento reducen la dispersión de los contaminantes emitidos por ejemplo.

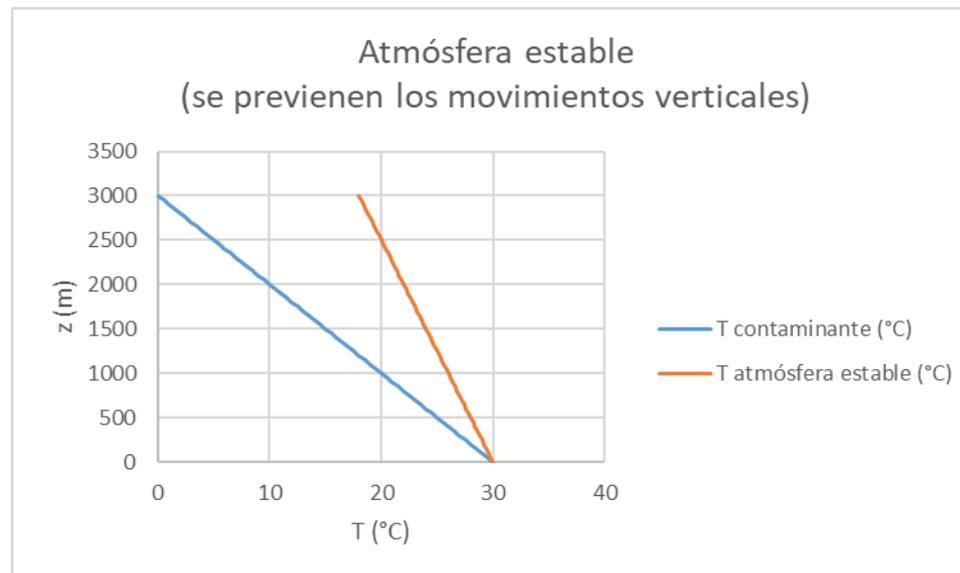


PLANTEO DEL PROBLEMA

■ Estabilidad atmosférica:Atmósfera Estable

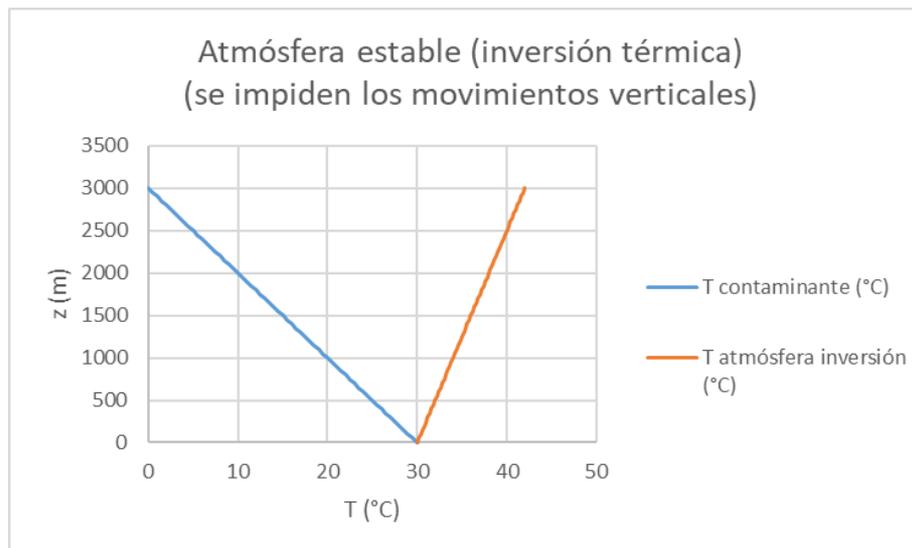
❖ Bajo gradiente vertical de temperatura del aire. Esto tiende a producirse cuando:

- Calentamiento del aire en altura (advección cálida).
- Enfriamiento del aire superficial (enfriamiento radiativo nocturno de la superficie terrestre, advección fría, aire en contacto con superficies frías).
- En consecuencia, la atmósfera es “más estable” durante las primeras horas de la mañana.



PLANTEO DEL PROBLEMA

- Estabilidad atmosférica: Atmósfera Estable (Inversión Térmica)
 - ❖ Gradiente vertical de temperatura del aire positivo. Esto tiende a producirse cuando:
 - Ingreso de un frente de aire cálido (advección cálida).
 - Calentamiento solar del aire sobre un valle sombreado.
 - Enfriamiento del aire superficial (enfriamiento radiativo nocturno de la superficie terrestre, flujo descendente de aire frío desde una montaña hacia un valle cálido).
 - “Smog inversion”: partículas de black carbon absorben radiación solar y elevan la temperatura del aire en altura.



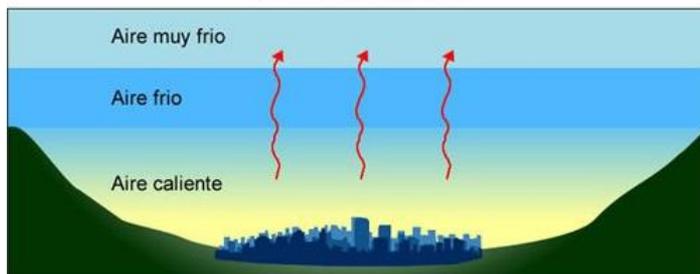
PLANTEO DEL PROBLEMA

■ Estabilidad atmosférica: Atmósfera Estable (Inversión Térmica)

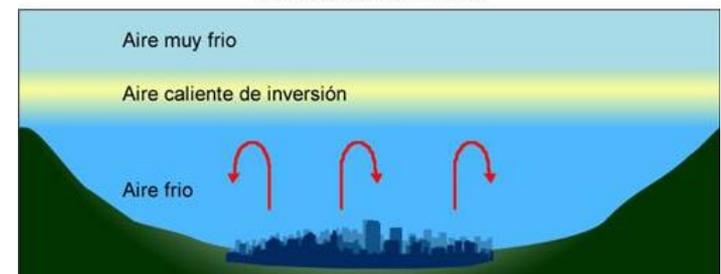
❖ Inversión por radiación:

- Ocurre en valles y zonas bajas en general rodeadas por elevaciones, que modifican los patrones naturales de circulación del aire.
- El aire “encerrado” sobre el valle tarda más en enfriarse por la noche que el que se encuentra en las zonas elevadas.
- Cuando se inicia el ascenso de las masas de aire caliente desde la zona más baja, el espacio que estaban ocupando resulta llenado por masas de aire frío que se deslizan desde la zona elevada y que, una vez allí, no pueden escapar hasta que se inicie un nuevo ciclo diario de calentamiento.
- Cuando en el valle hay fuentes de emisión de contaminantes, la dispersión de los mismos se ve muy restringida por este fenómeno, que constituye una de las principales causas de la existencia de elevadas concentraciones de contaminantes en las faldas de los montes y en el valle propiamente dicho.

Situación normal

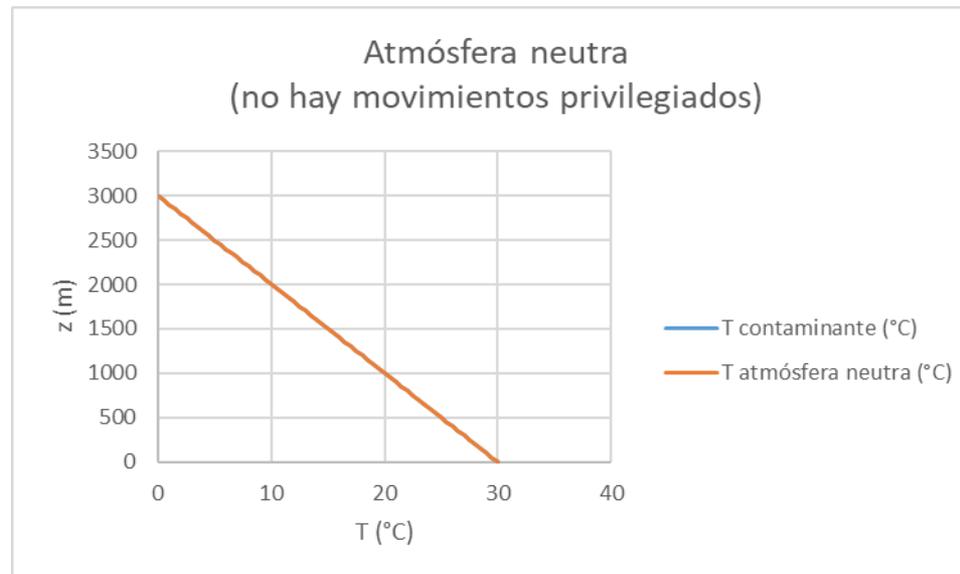


Inversión térmica



PLANTEO DEL PROBLEMA

- Estabilidad atmosférica: Atmósfera Neutra
 - ❖ Gradiente vertical de temperatura del aire igual al de la emisión.

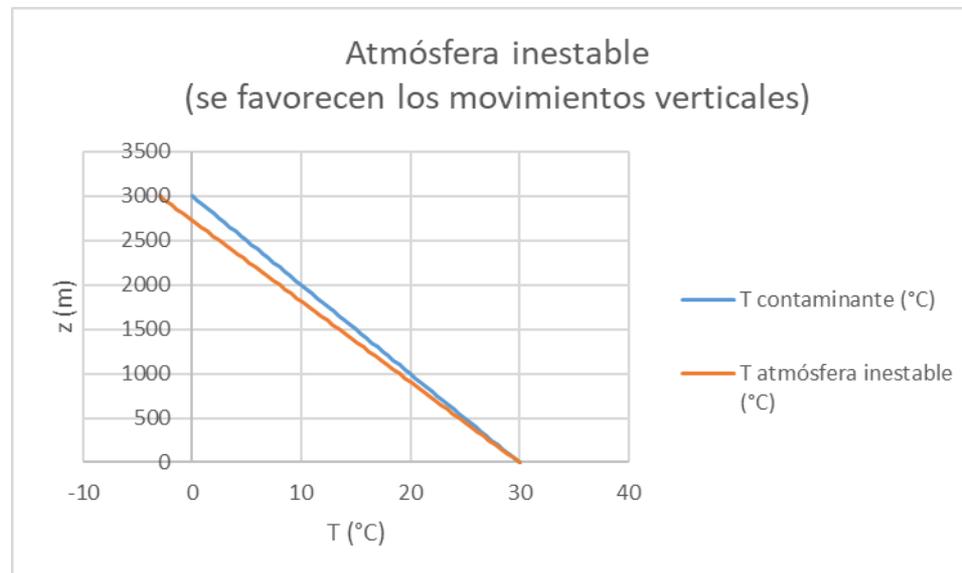


PLANTEO DEL PROBLEMA

■ Estabilidad atmosférica:Atmósfera Inestable

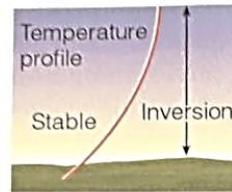
❖ Alto gradiente vertical de temperatura del aire. Esto tiende a producirse cuando:

- Enfriamiento del aire en altura (advección fría, emisión de radiación infrarroja de las nubes hacia el espacio).
- Calentamiento de la superficie (radiación solar, advección cálida, contacto del aire con superficies calientes).
- En consecuencia, la atmósfera es “más inestable” durante las horas más cálidas del día.

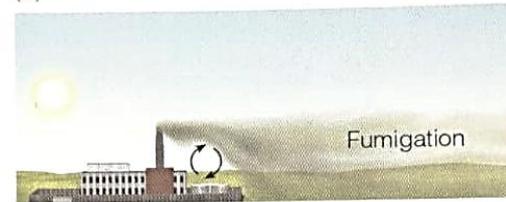
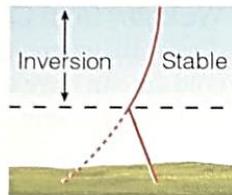


Evolución diaria de la estabilidad atmosférica.

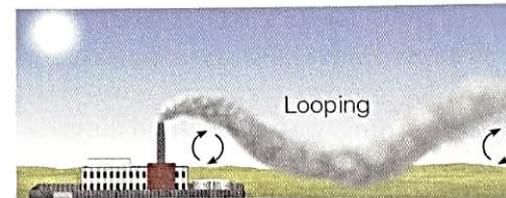
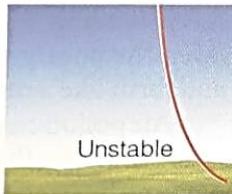
C.D.Ahrens, *Meteorology Today-An Introduction to Weather, Climate, and The Environment*. Cengage Learning (10^{ma} edición), 2012.



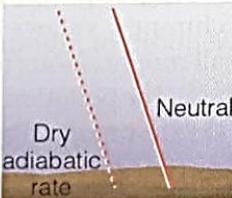
(a)



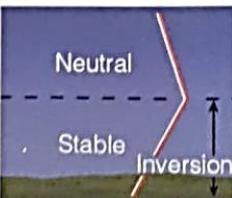
(b)



(c)



(d)

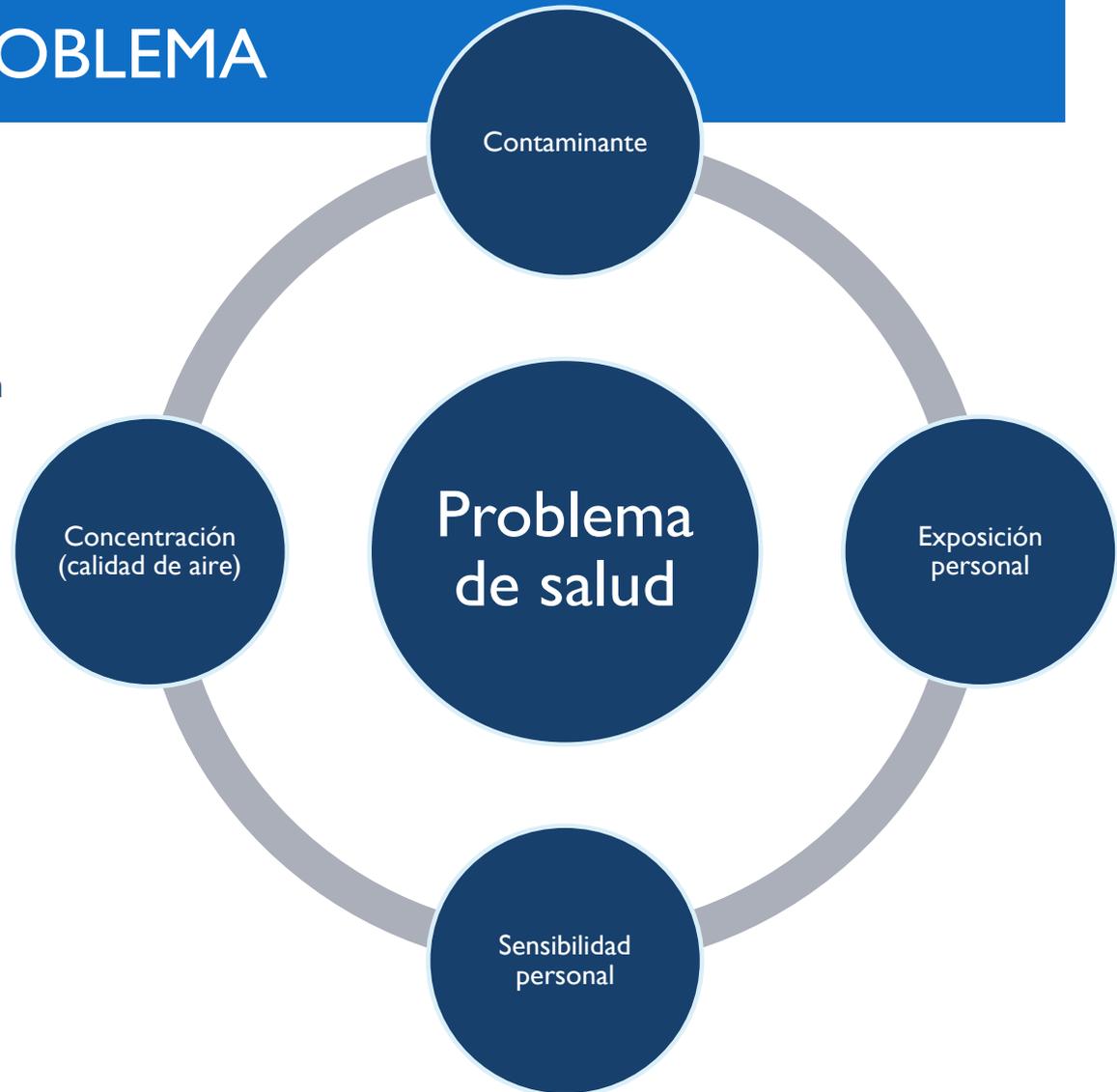


(e)

Peor situación

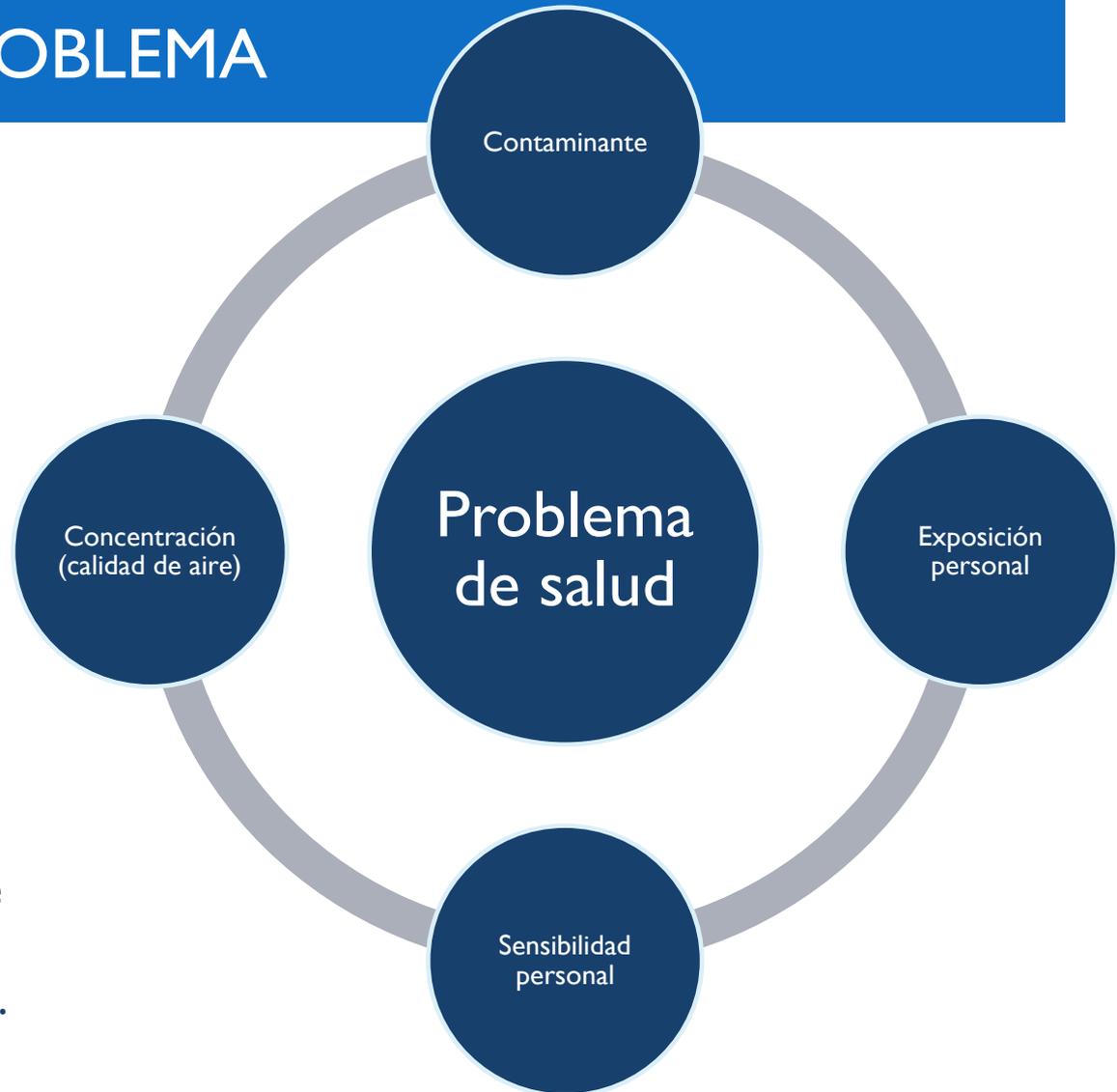
PLANTEO DEL PROBLEMA

- A su vez, la generación de un problema de salud en las personas no depende solamente de la calidad de 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, unos siete millones de personas mueren por año en el mundo como consecuencia de problemas de calidad de aire (principal contaminante: $PM_{2.5}$).



PLANTEO DEL PROBLEMA

- 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).



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.).

CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

- Clasificación:
- ❖ Momento de generación:
 - Primarios: emitidos directamente.
 - Secundarios: se forman en la atmósfera luego de la emisión de contaminantes primarios (que actúan como precursores). No se les puede asignar una fuente directa de emisión.
- ❖ Presentación física:
 - Gases.
 - Vapores: fase gaseosa de una sustancia cuyo estado físico a 25 °C y 1 atm de presión es sólido o líquido.
 - Aerosoles: dispersión de partículas sólidas o líquidas, de tamaño inferior a 100 μm , en un medio gaseoso (polvo, humo, niebla, bruma, esmog (niebla + humo + partículas en suspensión)).

CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

- **Contaminantes criterio:** conjunto de agentes muy abundantes especialmente en zonas urbanas, con potencial de generar efectos perjudiciales para la salud de las personas.
- Sus concentraciones (emisión e inmisión) se regulan mediante guías y estándares.
- Según la OMS, los contaminantes criterio comprenden las siguientes sustancias: **monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O₃) y partículas de diámetro menor que 10 µm (PM₁₀).**

CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS: MONÓXIDO DE CARBONO

- Gas incoloro e inodoro, producto de procesos de combustión incompleta.
- Fuentes emisoras:
 - ❖ Sector Residencial (estufas a leña).
 - ❖ Sector Vehicular.
- Efectos sobre la salud humana:
 - ❖ Asfixiante químico: impide la llegada de oxígeno a las células por tener mayor afinidad con la hemoglobina de la sangre que el oxígeno (se forma carboxihemoglobina, puede producir daños cardiovasculares y neurológicos).
- Medidas de control:
 - ❖ Uso de convertidores catalíticos en vehículos a gasolina (CO se oxida completamente y se emite como CO₂).
 - ❖ Mejora en la eficiencia de la calefacción residencial en base a biomasa.

CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS: DIÓXIDO DE AZUFRE

- Gas incoloro e irritante que se produce por la oxidación del azufre.
- Fuentes emisoras:
 - ❖ Sector Industrial (quema de combustibles que contienen azufre como impureza).
- Efectos sobre la salud humana:
 - ❖ Pueden provocar efectos adversos sobre el aparato respiratorio y agravar enfermedades respiratorias o cardiovasculares preexistentes.
- Otros efectos:
 - ❖ Cuando se combina con agua, luego de oxidarse a SO_3 , produce ácido sulfúrico H_2SO_4 , que es uno de los dos ácidos fuertes protagonistas en la lluvia ácida (acidificación de suelos y cuerpos de agua).
 - ❖ Participan en los fenómenos de Esmog Ácido (Londres 1952; hoy controlado por desulfurización de combustibles).
- Medidas de control:
 - ❖ Desulfurización de combustibles (se logran combustibles con bajos tenores de azufre).

CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS: ÓXIDOS DE NITRÓGENO

- Suma del NO (componente mayoritario de las emisiones) y del NO₂. El NO se forma por la oxidación del nitrógeno del aire en procesos de combustión a alta temperatura y presión. Este contaminante se transforma a NO₂ en la atmósfera. Son precursores del O₃ y de partículas (aerosoles de nitrato).
- Fuentes emisoras:
 - ❖ Sector Vehicular.
- Efectos sobre la salud humana:
 - ❖ Se asocian con daños al sistema respiratorio.

CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS: ÓXIDOS DE NITRÓGENO

- Otros efectos:
 - ❖ Reducción de visibilidad.
 - ❖ El NO_2 puede reaccionar con el vapor de agua atmosférico para formar ácido nítrico HNO_3 , que es el otro principal ácido que participa en la lluvia ácida (acidificación de suelos y cuerpos de agua).
 - ❖ Participación en el fenómeno de Esmog Fotoquímico (precursores de ozono; radiación solar ultravioleta como catalizador).
 - ❖ Incremento de la temperatura de la atmósfera como precursores de N_2O (GEI).
- Medidas de control:
 - ❖ Menor uso de automóviles particulares.
 - ❖ Uso de convertidores catalíticos en vehículos.

CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS: OZONO

- A nivel de la tropósfera el ozono es un contaminante secundario, es decir, no se asocia con ninguna fuente de emisión directa, sino que su presencia deriva de la ocurrencia de reacciones en la atmósfera protagonizadas por sustancias precursoras (NO_x y Compuestos Orgánicos Volátiles (COV_s)) que reaccionan en presencia de luz solar.
- Efectos sobre la salud humana:
 - ❖ Es un irritante fuerte (tracto respiratorio superior y tejido pulmonar). Puede causar o agravar problemas respiratorios y agravar enfermedades cardiovasculares.
- Otros efectos:
 - ❖ Daños en vegetación.
 - ❖ Disminución de visibilidad.
 - ❖ Corrosión de metales.
- Medidas de control:
 - ❖ Control de emisiones de precursores.

CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS: PARTÍCULAS

- Refiere a partículas sólidas y líquidas, orgánicas e inorgánicas presentes en la atmósfera de tamaño muy variado (entre $0.001 \mu\text{m}$ y $500 \mu\text{m}$). La designación Partículas Suspensas Totales (PST) se refiere a todos los tamaños de partículas en conjunto que permanecen suspendidas (tamaños menores o iguales a $100 \mu\text{m}$).
- ❖ Las partículas con un tamaño menor a $0.1 \mu\text{m}$ muestran un comportamiento similar al de los gases.
- ❖ Las comprendidas entre $1 \mu\text{m}$ y $20 \mu\text{m}$ tienden a seguir el movimiento del gas que las transporta.
- ❖ Las mayores a $20 \mu\text{m}$ poseen velocidades de asentamiento significativas.
- El tiempo de permanencia en la atmósfera y la distancia alcanzada en la dispersión dependen de su tamaño y de su densidad. Las partículas pequeñas y muy livianas son capaces de permanecer hasta varias semanas en la atmósfera y transportarse grandes distancias, mientras que las de mayor tamaño sedimentan rápidamente.

CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS: PARTÍCULAS

- Para partículas, el diámetro aerodinámico (indicación del tamaño) es una propiedad muy importante que determina la profundidad de penetración de los contaminantes en el sistema respiratorio:
- ❖ Se define como el diámetro de una partícula ideal esférica, de densidad igual a 1 g/cm^3 , que tiene la misma velocidad de sedimentación en el aire que la partícula real que se está analizando.
- ❖ Las partículas con diámetros aerodinámicos superiores a $10 \mu\text{m}$ presentan un bajo potencial de penetración en las vías respiratorias, quedando normalmente retenidas a nivel de las fosas nasales.
- ❖ Fracción inhalable: $5 \mu\text{m} - 10 \mu\text{m}$ (penetra por las vías respiratorias pero normalmente no accede a los pulmones).
- ❖ Fracción respirable: $0 \mu\text{m} - 5 \mu\text{m}$ (tiene el potencial de llegar hasta los pulmones y eventualmente al torrente sanguíneo; se utiliza $\text{PM}_{2.5}$ para identificar fuentes antropogénicas).

CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS: PARTÍCULAS

- El PM_{10} representa la masa de las partículas que entran en el sistema respiratorio, y además incluye tanto las partículas gruesas (de un tamaño comprendido entre $2.5 \mu m$ y $10 \mu m$) como las finas ($PM_{2.5}$, de menos de $2.5 \mu m$).
- Las primeras 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 segundas proceden sobre todo de fuentes de combustión.
- En algunas zonas, la quema de leña y otros combustibles de biomasa puede ser una fuente importante de contaminación atmosférica por partículas, siendo la mayor parte de las procedentes de la combustión de tipo fino ($PM_{2.5}$).

CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS: PARTÍCULAS

- Fuentes emisoras:
 - ❖ Fuentes naturales (Erosión Eólica).
 - ❖ Rodadura de vehículos.
 - ❖ También se forman como resultado de reacciones atmosféricas que involucran a otros contaminantes, por ejemplo a los NO_x (partículas secundarias).
 - ❖ Sector Residencial.
 - ❖ Sector Industrial.
 - ❖ Sector Vehicular.
- Efectos sobre la salud humana:
 - ❖ En función de su diámetro y composición pueden tener diversos efectos sobre la salud (irritación del aparato respiratorio, agravar enfermedades respiratorias o cardiovasculares, entre otros).

CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS: PARTÍCULAS

- Otros efectos:
- ❖ Pérdida de visibilidad.



Evento de contaminación atmosférica con partículas en el norte de China (izquierda: 10 de enero de 2012; derecha: 11 de enero de 2012, luego del evento) (Observatorio terrestre de la NASA).

- Medidas de control:
- ❖ Dispositivos de control de emisiones industriales.
- ❖ Mejora en la eficiencia de la calefacción residencial en base a biomasa.

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).
- Durante la **Revolución Industrial** (≈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*.

EPISODIOS HISTÓRICOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

- **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 de viento, inversión térmica, zona de valles).



Meuse River Valley, 1930 (Bélgica)



Donora Pennsylvania, 1948 (EEUU)



Londres, 1952 (Inglaterra)

EPISODIOS HISTÓRICOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

- **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).
 - ❖ 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).
 - 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 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.

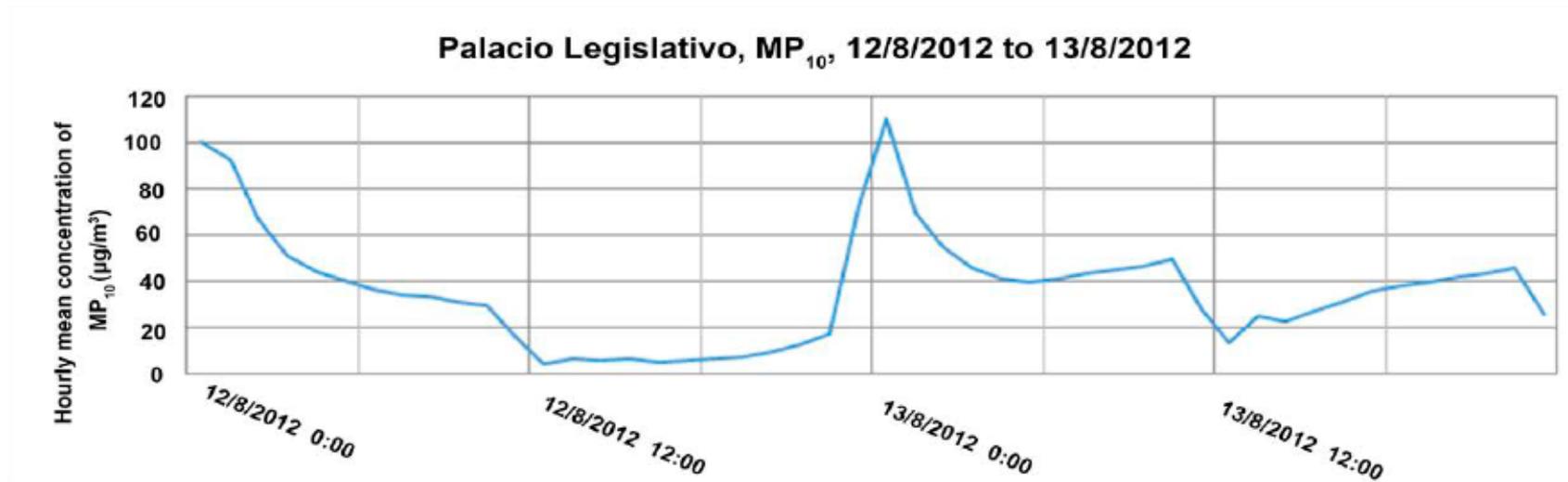
ANÁLISIS DE UN EPISODIO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN MONTEVIDEO

- Características del evento analizado:
 - ❖ Período: 12/08/2012 – 15/08/2012.
 - ❖ Estaciones de calidad de aire consideradas: La Teja, Palacio Legislativo y Colón.
 - ❖ Contaminante analizado: PM (PM_{10} y $PM_{2.5}$).



ANÁLISIS DE UN EPISODIO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN MONTEVIDEO

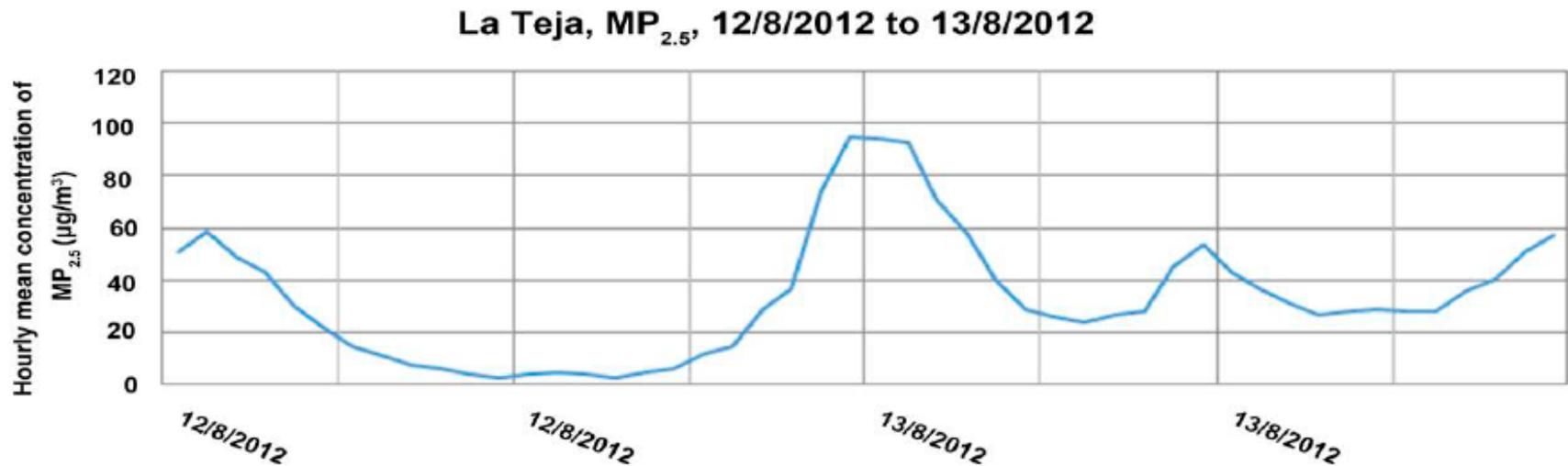
- Concentraciones de contaminantes:



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.

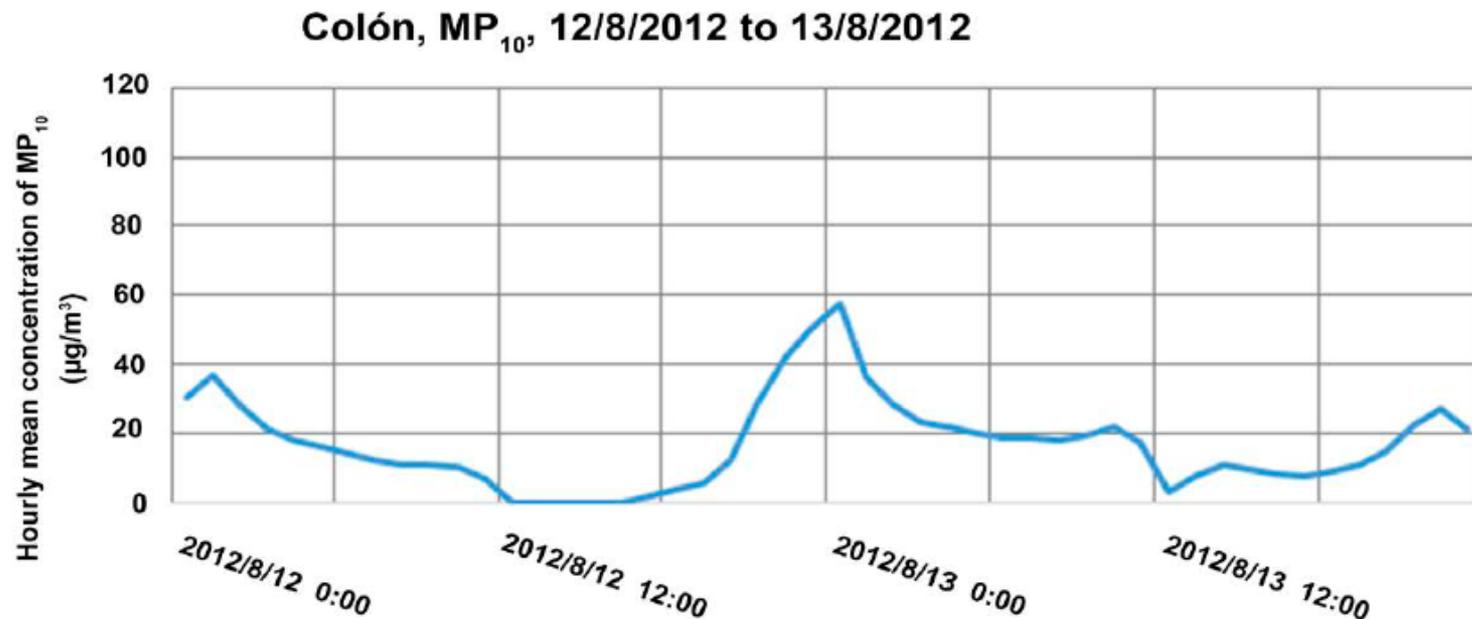
ANÁLISIS DE UN EPISODIO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN MONTEVIDEO

- Concentraciones de contaminantes:



ANÁLISIS DE UN EPISODIO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN MONTEVIDEO

- Concentraciones de contaminantes:

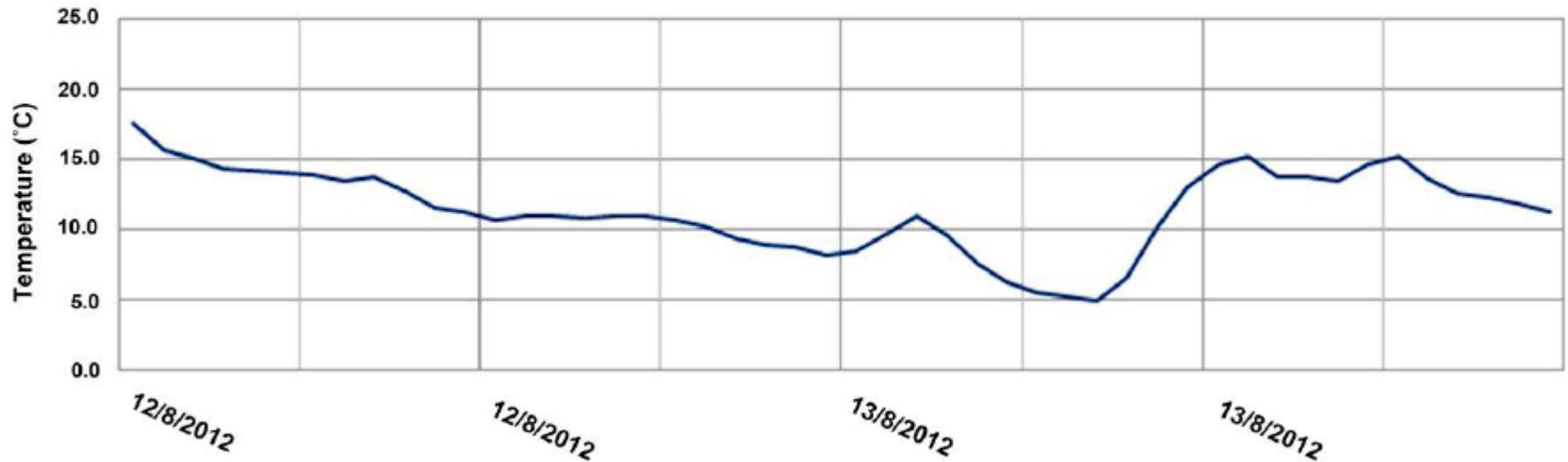


J. Cataldo, E. González, *Analysis of the Relation between Particle Matter Concentration and Meteorological Parameter at Montevideo City*. *Open Journal of Air Pollution*, 7: 120-139., 2018.

ANÁLISIS DE UN EPISODIO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN MONTEVIDEO

- Parámetros meteorológicos:

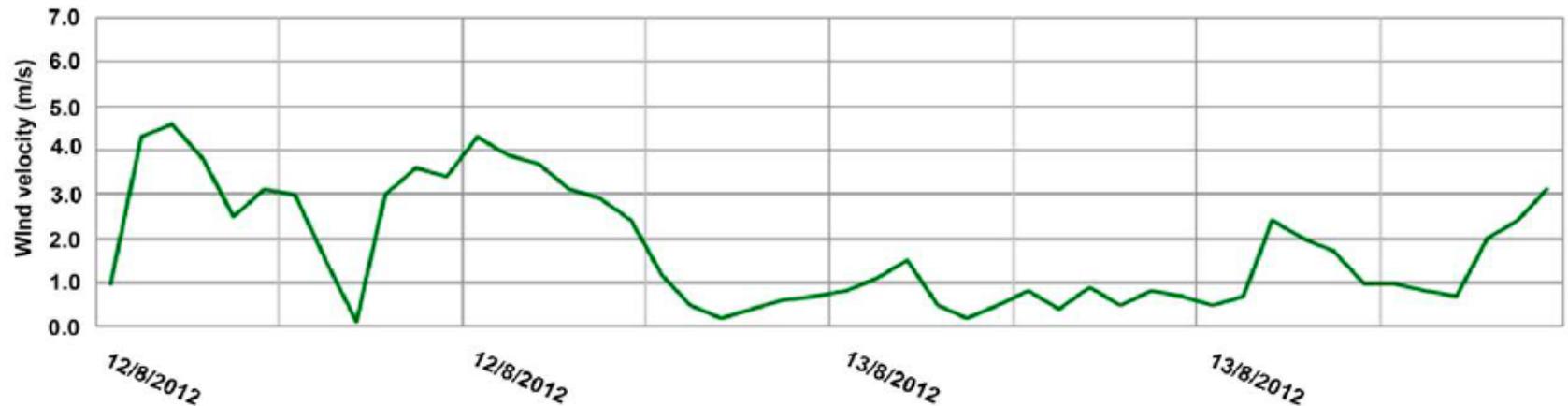
La Teja, Temperature (°C), 12/8/2012 to 13/8/2012



ANÁLISIS DE UN EPISODIO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN MONTEVIDEO

- Parámetros meteorológicos:

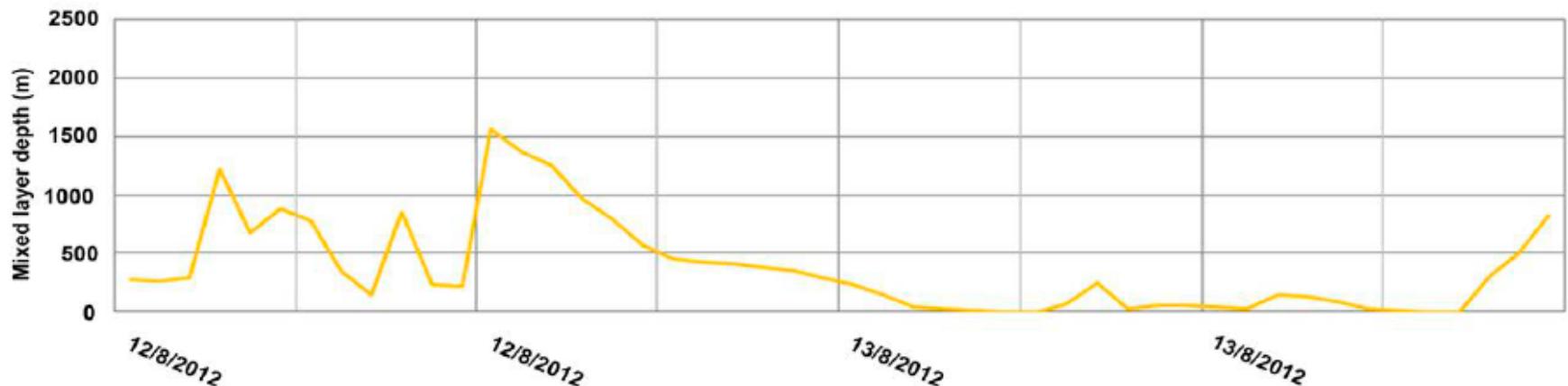
La Teja, Wind velocity, 12/8/2012 to 13/8/2012



ANÁLISIS DE UN EPISODIO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN MONTEVIDEO

- Parámetros meteorológicos:

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



ANÁLISIS DE UN EPISODIO DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA EN MONTEVIDEO

- 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 de viento ($< 3\text{ m/s}$) y alturas de la capa de mezcla ($\leq 10\text{ m}$). Estas condiciones de velocidad de 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**).

HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE LA CALIDAD DE AIRE

