

PREGUNTAS

Tabla 3. Relaciones $PM_{2.5}/PM_{10}$ para Lima Metropolitana y otras ciudades

País	Ciudad/zona	Estación	$PM_{2.5}/PM_{10}$
Perú	Lima norte	Santa Luzmila	0,50
	Lima sur	María Auxiliadora	0,60
	Lima este	Hipólito Unanue	0,66
	Lima centro	Conaco	0,75
	Callao	Callao	0,72
		Promedio de Lima	0,65
Colombia*	Bogotá		0,60
México*	México DF		0,50 -0,70
Chile*	Santiago		0,40 -0,60
Inglaterra*	Birmingham		0,50 -0,80
España*	Barcelona		0,60

Fuente: *Pandey et al (2012) y Galvis et al (2006)

Anales Científicos, 79 (2): 334 - 340 (2018)
ISSN 2519-7398 (Versión electrónica)
DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v79i2.992>
Website: <http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/index>
© Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Perú

Presentado: 08/10/2018
Aceptado: 21/12/2018

Evaluación espaciotemporal del material particulado $PM_{2.5}$ y su relación con las variables meteorológicas en la Universidad Nacional Agraria La Molina

Spatiotemporal evaluation of particulate matter $PM_{2.5}$ and its relationship with the meteorological variables at the Universidad Nacional Agraria La Molina

Sergio A. Pacsi Valdivia^{1*} y Federico Augusto Murriel Gonzales

* Autor de correspondencia

Tabla 2. Análisis de correlación de Spearman (r) y valor p entre las concentraciones de $PM_{2.5}$ y la temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar

Variable Meteorológica	r	Valor p
Temperatura	-0.401	0.001
Humedad Relativa	0.474	0.000
Velocidad del Viento	-0.573	0.000
Radiación Solar	-0.339	0.004

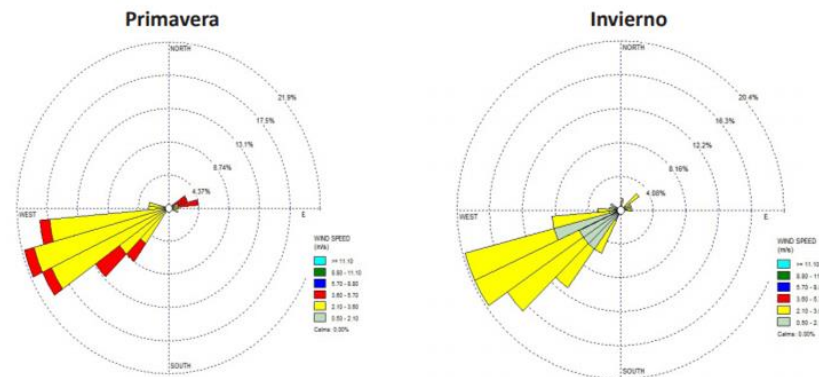
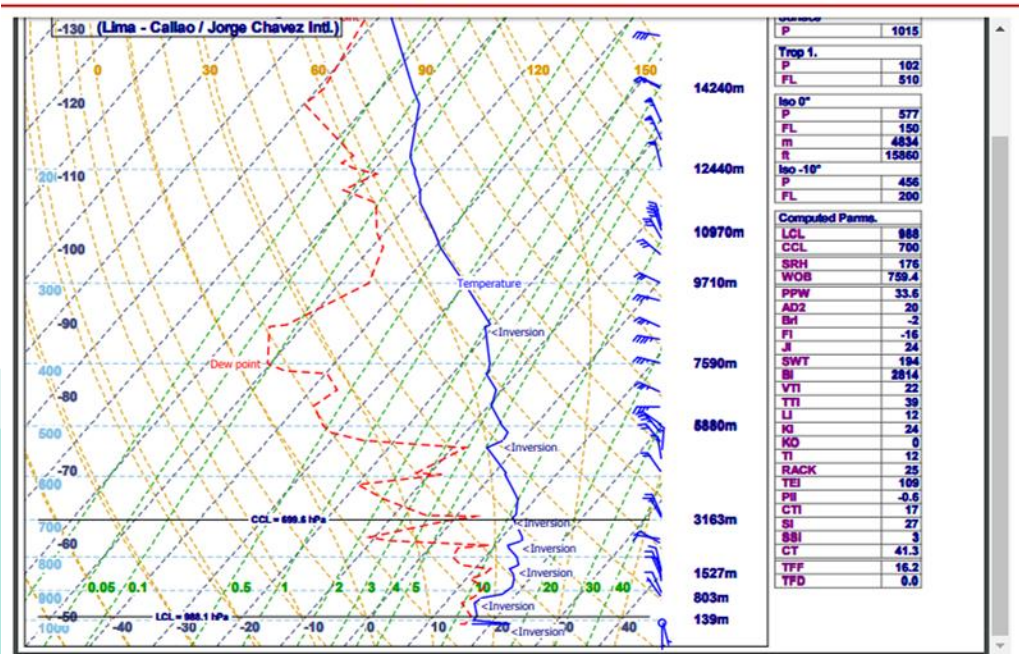


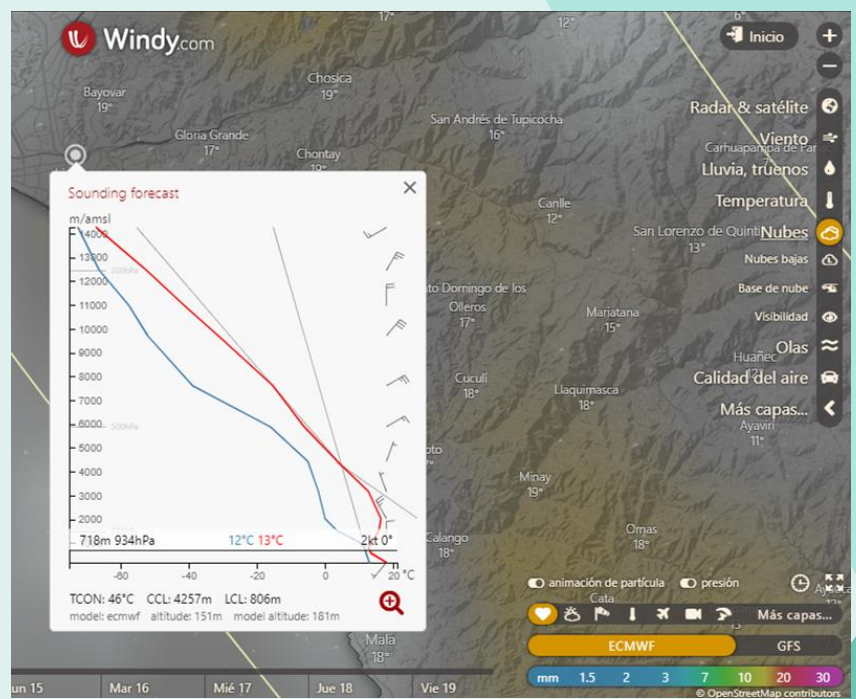
Figura 6. Rosa de vientos para la estación Alexander Von Humboldt de la UNALM, para la primavera e invierno del año 2016

Sondajes - Diagrama Termodinámico de Lima-Callao



El Diagrama Termodinámico (DT) es la gráfica que representa el comportamiento vertical termodinámico de una porción de atmósfera definida por tres variables: presión, temperatura y humedad (representadas por un radiosonda).

<http://www.corpac.gob.pe/app/Meteorologia/tiempo/sondajes.php>

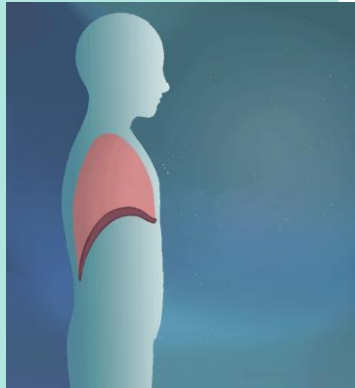


<https://www.windy.com/sounding/-12.037/-77.031?clouds,-12.294,-76.952,10,i:pressure>

ERA5

<https://cds.climate.copernicus.eu/#/search?text=ERA5&type=dataset>

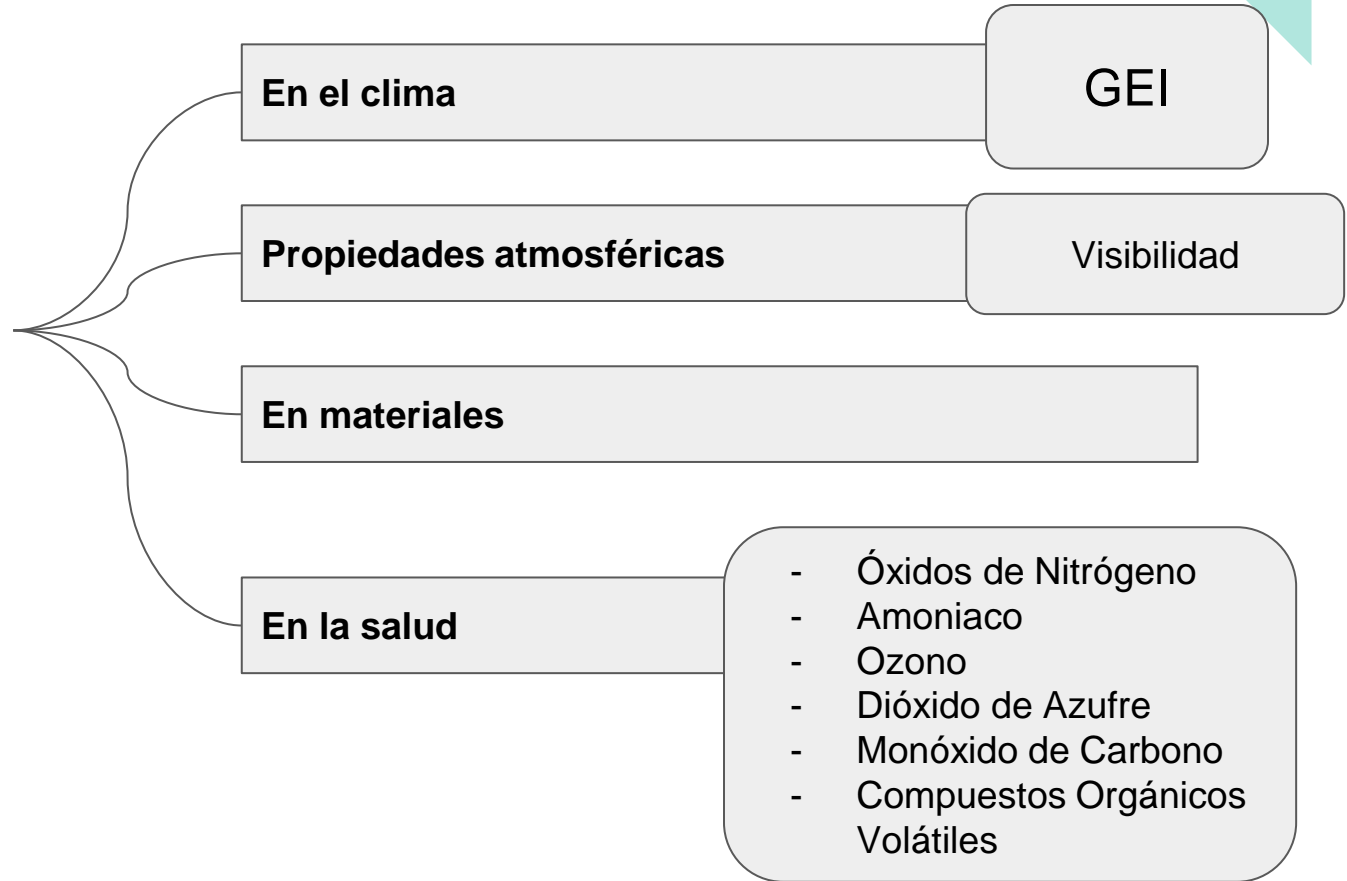
CARACTERÍSTICAS Y EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE + MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE GASES PARTE 1



PEGGI CARHUALLANQUI
GABO SICHA

Características y efectos

Efectos



GEI - Gases de Efecto Invernadero

GEI	[] pre industrial (ppbv)	[] 1994 (ppbv)	Permanencia en la atmósfera (años)	Índice de Poder de Calentamiento Global
CO ₂	278000	358000	>100	1
CH ₄	700	1721	12 +/- 3	21
N ₂ O	275	311	120 - 150	296 - 310
CCl ₂ F ₂	0	0.503	102	6200 - 7100
CHClF ₂	0	0.105	12.1	1300 - 1400
CF ₄	0	0.07	50000	6500
SF ₈	0	0.032	3200	22000 - 23900

Características y Efectos

- Gas incoloro de olor irritante y picante
- Densidad 2.2 veces la del aire
- Inflamable y no explosivo
- Tiempo de permanencia: 40 días (reactivo)
- Emisión global: 70 millones de toneladas/año
- Origen: combustión de productos fósiles



Daños de la lluvia ácida:

- Al suelo
- En bosques
- Vida acuática de lagos
- En esculturas y edificios de valor histórico
- Daños en salud humana



Características y Efectos

- Gas incoloro, inodoro e insípido, abundante en alrededores de grandes ciudades.
- Tiene una alta toxicidad, porque presenta gran afinidad con la hemoglobina (**200 veces más que el oxígeno**) = carboxihemoglobina
- Tiempo de permanencia: 😊
- Emisión global: 😊
- Origen: combustión incompleta

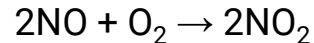
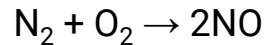
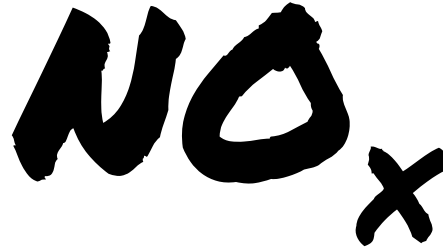


Reacción: 😊

Concentración de (mg/Nm ³)	COHb en sangre (%)	Efectos
<4	<1	No hay efectos
4 - 12	1 - 2	Efectos sobre la conducta
12 - 35	2 - 5	En el sist. nervioso central.
35 - 74	5 - 10	Alteraciones cardiacas y pulmonares
74 - 625	10 - 80	Dolor de cabeza, fatiga somnolencia, coma, fallos respiratorios y muerte.

Características y Efectos

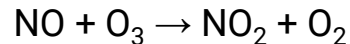
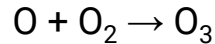
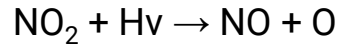
- Formado naturalmente en la atmósfera, en altas temperaturas.
- 1300 - 2500 °C (reacción)
- Tiempo de permanencia: 24 horas (reactivo)
- Origen: combustión (74%), producidos por oxidación incompleta del N_2 del aire en motores de combustión interna



Efectos en la salud:

Características y Efectos

- Resultado de diversas reacciones fotoquímicas, donde participan NO_2 , O_2 y luz ultravioleta.
- Puede dañar el revestimiento de los pulmones.
- Afectan a los cultivos



Efectos en la salud:

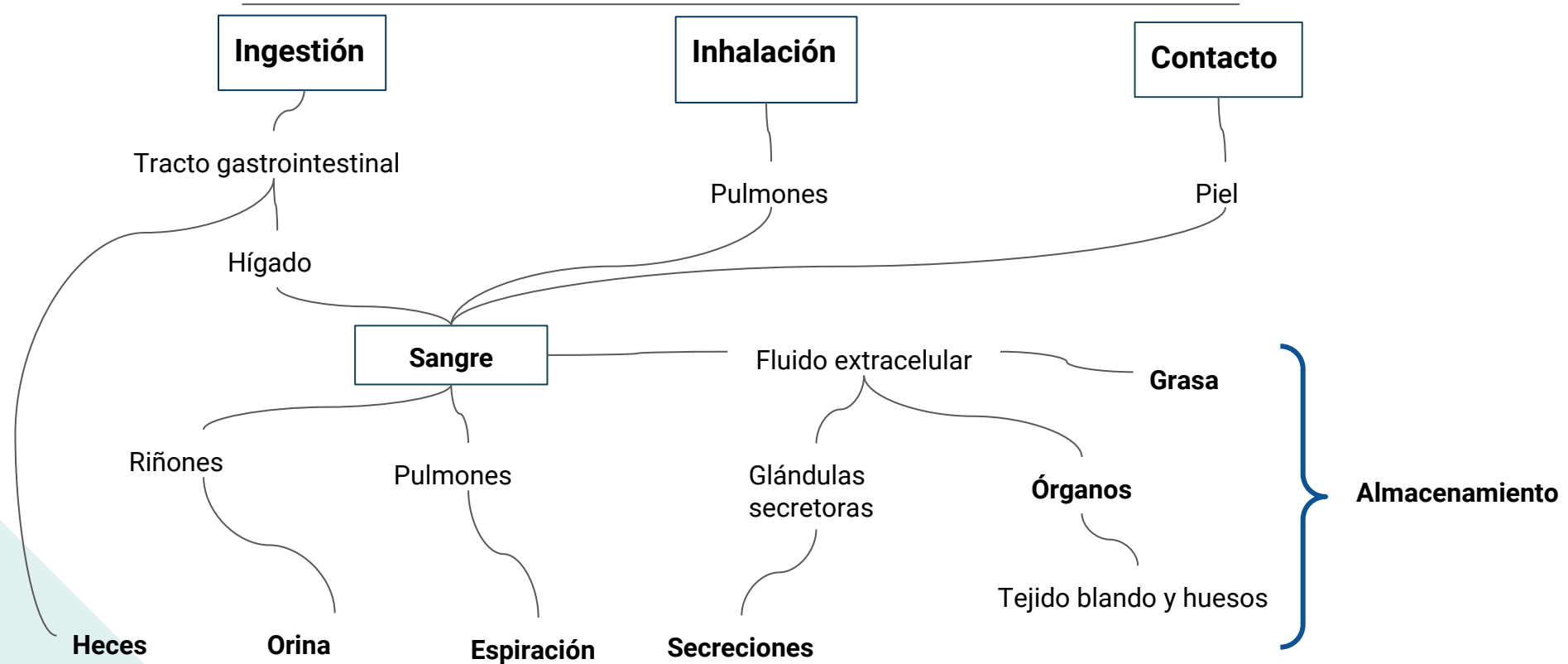
Características y Efectos

- Favorecen la fotodisociación del NO_2
- Son los más numerosos de los grupos químicos
- Clasificación: Alcanos, alquenos, alquinos, aldehídos, cetonas y halocarbonos.
- Origen:
 - Quema de combustibles fósiles
 - Emisiones de la vegetación
 - Emisiones del gas natural
 - Procesos industriales

COVs

Efectos en la salud:

Vías de Acceso en el cuerpo



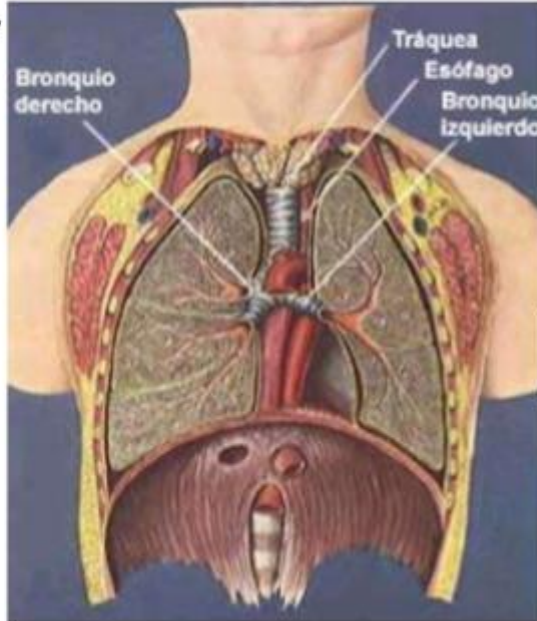
Efectos en la salud

Enfermedades Restrictivas

Tipos
daño
pulmo

Parénquima pulmonar

- Granulomas
- b. Neumonitis intersticiales
- c. Neumoconiosis
- d. Fibrosis pulmonares idiopáticas
- e. Edema pulmonar cardiogénico
- f. Síndrome de dificultad respiratoria aguda del adulto



Extraparenquimatosas

Neuromusculares

Pared torácica

Pleurales

Lesiones que ocupan espacio

ria

s

is)

S

016
YO

Los efectos en la salud depende de:

❑ Contaminante

- Naturaleza física, química y toxicológica
- Perfil dosis - efecto
- Concentraciones ambientales

❑ Organismo

- Condiciones biológicas y metabólicas

❑ Exposición

- Patrón de exposición: magnitud, frecuencia y duración.

Protocolo



Resolución Ministerial *N° 093 -2019-MINAM*

Lima,
29 MAR 2019

VISTOS; el Memorando N° 00188-2019-MINAM/VMGA, del Viceministerio de



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

MINISTERIO DEL AMBIENTE

PROTOCOLO NACIONAL DE MONITOREO
DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AIRE



NOVIEMBRE 2019

A) Generalidades

Antecedentes

A.2 Antecedentes

En el año 2001, mediante Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, se aprobaron por primera vez en el país los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire. En este instrumento normativo se establecieron valores ECA para seis parámetros, los cuales se señalan a continuación:

- Material particulado menor a 10 micras (PM_{10}).
- Monóxido de carbono (CO).
- Dióxido de nitrógeno (NO_2).
- Dióxido de azufre (SO_2).
- Ozono (O_3).
- Plomo (Pb) en PM_{10} .

En el año 2017, con el objetivo de actualizar y unificar la normativa en materia de ECA para Aire, se aprobó el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, a través del cual se actualizan los ECA para Aire, quedando establecidos diez parámetros:

- Material particulado con menor a 10 micras (PM_{10}).
- Material particulado con menor a 2,5 micras ($PM_{2,5}$).
- Monóxido de carbono (CO).
- Dióxido de nitrógeno (NO_2).
- Dióxido de azufre (SO_2).
- Ozono (O_3).
- Plomo (Pb) en PM_{10} .
- Benceno (C_6H_6).
- Mercurio Gaseoso Total (MGT).
- Sulfuro de Hidrógeno (H_2S).

B) Objetivos y Alcances

*Criterios de diseño
y operación*



*Incorporar criterios de
contaminantes del aire no
regulados*



Objetivo General:

**Estandarizar los criterios técnicos
para el monitoreo ambiental del aire**

*Métodos de referencia y
equivalentes*

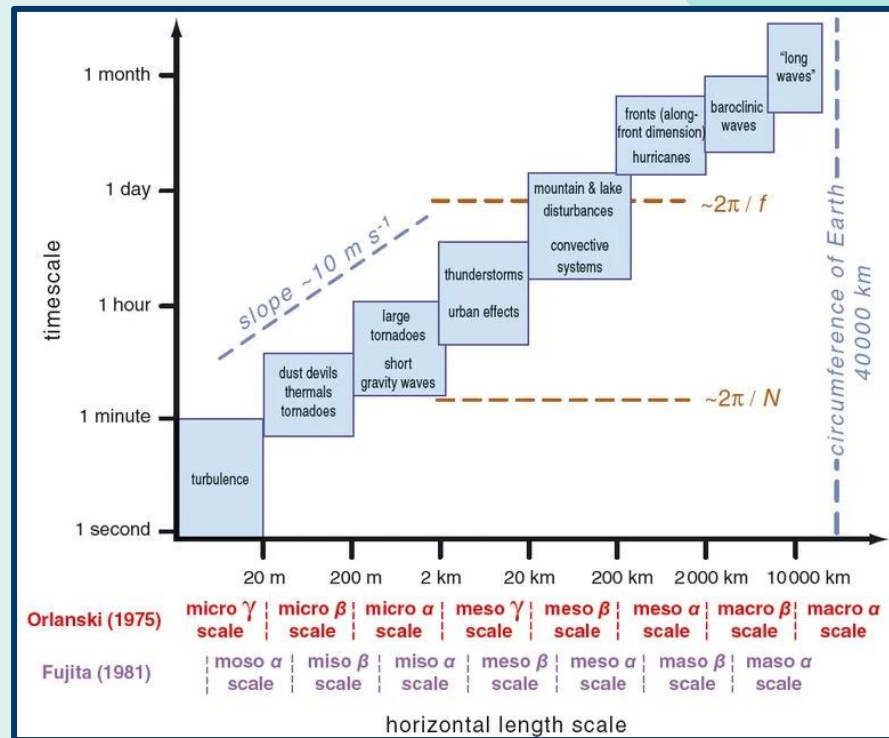


*Aseguramiento y control de
calidad de la calidad de la
información generada*



Alcance

- Aplicables a toda persona natural o jurídica, pública o privada.
- Aplicado a todo monitoreo realizado en ambientes exteriores en escalas microescalas, media, local y urbana



Fuente:

<https://www.tiempo.com/noticias/ciencia/escalas-y-horizontes-de-prediccion.html>

C) Diseño de redes para el monitoreo

Enfoques de Trabajo

Monitoreo vinculado a planes de acción para la mejora de la calidad del aire

- En zonas de atención prioritaria como en cualquier otro, donde se localizan centros poblados.

Monitoreo en áreas asociadas a actividades extractivas, productivas y/o servicios

- A cargo de los titulares de la actividad o la autoridad competente (fiscalización).
- Mínimo dos estaciones: barlovento y sotavento.

Monitoreo orientado a la prevención/evaluación de riesgos en salud ambiental

- Toda investigación académica en materia de calidad de aire.
- Información confiable, comparable y representativa, para la formulación de medidas y/o estrategias.
- Evaluaciones epidemiológicas.

Tabla 1. Número mínimo de estaciones de monitoreo de calidad del aire, según el criterio poblacional

Población (miles de habitantes)	Número mínimo de estaciones de monitoreo
0 - 249	1
250 - 749	2
750 - 999	3
1000 - 1499	4
1500 - 1999	5
2000 - 2749	6
2750 - 3749	7
3750 - 4749	8
4750 - 5999	9
≥ 6000	10

Fuente: Directiva 2008/50/CE de la Comunidad Europea.

Estación urbana:

Estación sub-urbana:

Estación rural:

pecuaria

Estación de tráfico:

Estación industrial:

Estación de fondo:

barlovento

Estación de microescala:

Estación de escala media:

Estación de escala local:

Estación de escala urbana:

Estación de mesoescala:

Estación sinóptica:

completos.

Estación de escala global:

km.

Por su finalidad

Área urbana representativa

Mezcla entre zona urbanizada con áreas no urbanizadas

Área rural representativa con actividad agrícola o

concentraciones vinculadas a las emisiones de tráfico terrestre

concentraciones vinculadas a emisiones industriales

Determinar la línea base de la actividad, así también en

Por su Escala

Fenómenos que ocurren de 0 - 100 m.

Fenómenos que ocurren de 100 - 0.5 km.

Concentraciones en un área de rango 0.5 - 4 km.

Concentraciones en un área de 4 - 50 km.

Fenómenos que ocurren de 50 - cientos de km.

Movimientos de los sistemas meteorológicos

Fenómenos que ocurren a escalas mayores de 5000

C.3. Determinación de los parámetros de calidad del aire a monitorear

Tabla 2. Parámetros a priorizar en función a las fuentes vinculadas

Fuentes vinculadas	Parámetros a priorizar	Referencia bibliográfica
Parque automotor, vías pavimentadas y zonas urbanas	PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO ₂ , NO ₂ , CO, C ₆ H ₆ y O ₃ (ozono debido a la emisión de precursores)	<ul style="list-style-type: none"> • EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 (1.A.3.b.iv Road transport 2018). • AP 42, chapter 13.2.1: Paved Roads.
Producción / Fundición del Hierro y el Acero	PM ₁₀ , PM _{2.5} , NO ₂ y CO	<ul style="list-style-type: none"> • AP-42, chapter 12.5: Iron and Steel Production. • AP-42, chapter 12.13: Steel Foundries.
Fundición y/o refinación metálica (no ferrosa)	PM ₁₀ , PM _{2.5} , SO ₂ , metales pesados ² (Pb, As y MGT)	<ul style="list-style-type: none"> • AP-42, chapter 12.3, 12.6, 12.7 Primary Copper, Lead and Zinc Smelting. • AP-42, chapter 12.9, 12.11, 12.14 Secondary Copper, Lead and Zinc Smelting. • Convenio de Minamata. Anexo D. Lista de fuentes puntuales de emisiones de mercurio y compuestos de mercurio a la atmósfera.
Extracción de minerales metálicos	PM ₁₀ , PM _{2.5} , metales pesados ¹ (Pb, As y MGT)	<ul style="list-style-type: none"> • AP-42, chapter 11.24 Metallic Minerals Processing. • Convenio de Minamata. Anexo C. Extracción de oro artesanal y en pequeña escala.

C.3. Determinación de los parámetros de calidad del aire a monitorear

Fuentes vinculadas	Parámetros a priorizar	Referencia bibliográfica
Establecimientos de venta al público de Combustibles Líquidos	C_6H_6	<ul style="list-style-type: none"> AP 42, chapter 5.2: Transportation and Marketing of Petroleum Liquids. Silva, L. et al. Section 5. Air Quality: Contribution to atmospheric benzene concentrations of the petrol stations in a mid-sized city. Management of Natural Resources, Sustainable Development and Ecological Hazards II.
Industria de Procesamiento Combustibles	PM_{10} , $PM_{2.5}$, SO_2 , NO_2 , CO y C_6H_6	<ul style="list-style-type: none"> AP 42, chapter 5.1: Petroleum Refining.
Producción de Cemento	PM_{10} , $PM_{2.5}$, SO_2 , NO_2 , CO , y MG	<ul style="list-style-type: none"> AP 42, chapter 11.6: Portland Cement Manufacturing. Portland Cement Association. Mercury Emission and Speciation from Portland Cement Kilns (2003). Convenio de Minamata. Anexo D. Lista de fuentes puntuales de emisiones de mercurio y compuestos de mercurio a la atmósfera.
Industria de Harina de Pescado	PM_{10} , $PM_{2.5}$ y H_2S	<ul style="list-style-type: none"> AP 42, CH 9.13.1: Fish Processing.
Procesamiento de la caña de azúcar	PM_{10} , $PM_{2.5}$, SO_2 , NO_2 , CO y C_6H_6	<ul style="list-style-type: none"> AP 42, CH 9.10.1.1: Sugarcane Processing. CTBE/CNPEM. Sugarcane Life Cycle Inventory (2012).
Producción de ladrillos	PM_{10} , $PM_{2.5}$, NO_2 , SO_2 y CO	<ul style="list-style-type: none"> AP-42, chapter 11.3 Brick and Structural Clay Product Manufacturing.

Nota:

C.4. Determinación de la frecuencia y períodos de monitoreo

Tabla 3. Requisitos de frecuencia y periodos de monitoreo para redes vinculadas a planes de acción para la mejora de la calidad del aire o a la prevención/evaluación de riesgos en salud ambiental, (por estación de monitoreo al año)

Tipo de tecnología	Tipo de monitoreo	Período a promediar (en base al ECA)	Mínima suficiencia de información válida requerida	Frecuencia mínima por muestra o registro
Automática	Continuo	1 hora	>75% (45 minutos)	Continua
		8 horas	>75% (6 horas)	Continua
		24 horas	>75% (18 horas)	Continua
		Mensual	>75% (23 días)	Continua
		Anual	>75% (9 meses)	Continua
Manual	Discontinuo	1 hora	>90% (54 minutos)	Una muestra horaria cada 6 días
		8 horas	>90% (7 horas)	Una muestra octohoraria cada 6 días
		24 horas	>90% (22 horas)	Una muestra diaria cada 6 días
		Mensual	>14% (5 días)	Sobre la base de muestreos diarios: Una muestra diaria cada 6 días, o Sobre la base de muestreos mensuales: Una muestra integrada de un mes ¹²
		Anual	>14% (2 meses)	Sobre la base de muestreos diarios: • Una muestra diaria cada 6 días, o • 30 muestras diarias contiguas para verano y 30 muestras diarias contiguas para invierno, o Sobre la base de muestreos mensuales: Una muestra integrada de un mes para verano y una muestra integrada de un mes para invierno

Fuente: Basado en EPA-454/B-17-001 (2017) y la Directiva 2008/50/CE.
Elaboración propia (2018).



C.5. Accesibilidad, seguridad y disponibilidad de energía



D) Métodos de monitoreo de la calidad: por su tecnología

El mecanismo de toma de muestra se orienta a la captura del analito o sustancia de interés



INGRESO DE LA MUESTRA DE AIRE

Se debe contar con una entrada u orificio

- *Automáticos (bomba de succión)
- Difusión pasiva (interacción aire-analito)

CASO EQUIPOS AUTOMÁTICOS

-Análisis *in situ*

- *cámara analítica u otro dispositivo que analice la sustancia

MEDIO DE COLECCIÓN

Puede ser :

- Físico : filtro
- Químico: Carbón activado o el tetracloromercurato

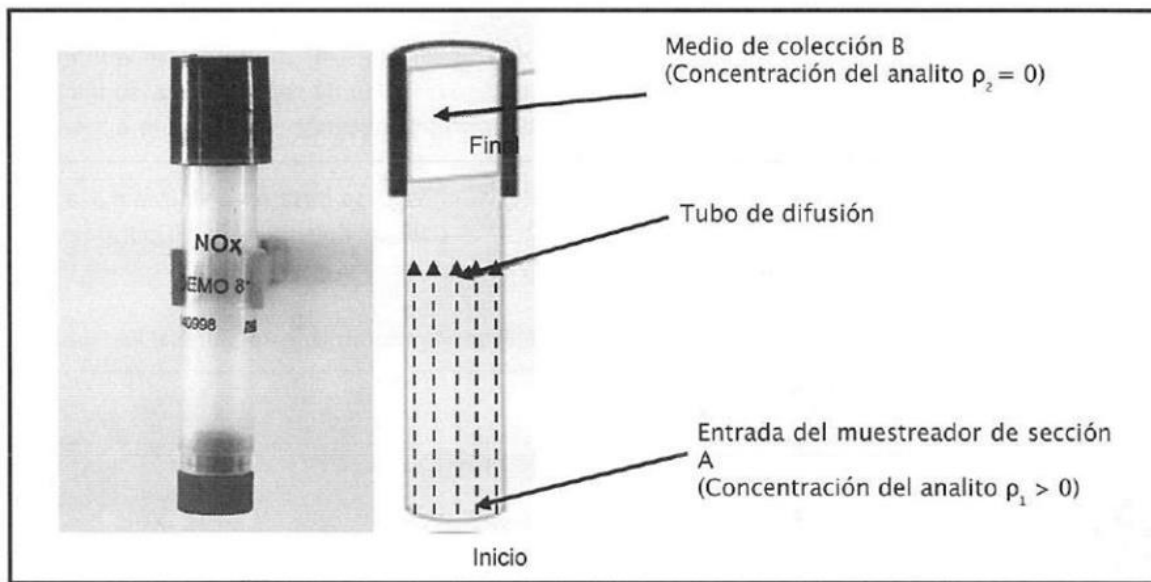
CONTROLAR Y MEDIR EL PASO DEL AIRE

- Controlador y medidor de flujo (activo o automático)
- flujo teórico basado en difusión molecular (pasivos)

D.1 SISTEMAS MANUALES PASIVOS

Los muestreador pasivos, al ser métodos simples, solo permiten brindar una **aproximación** acerca del estado de la calidad del aire

Figura 1. Diagrama de muestreador de difusión pasiva



Fuente: Passam Ag (2018) y Zapata, C. et al (2008).



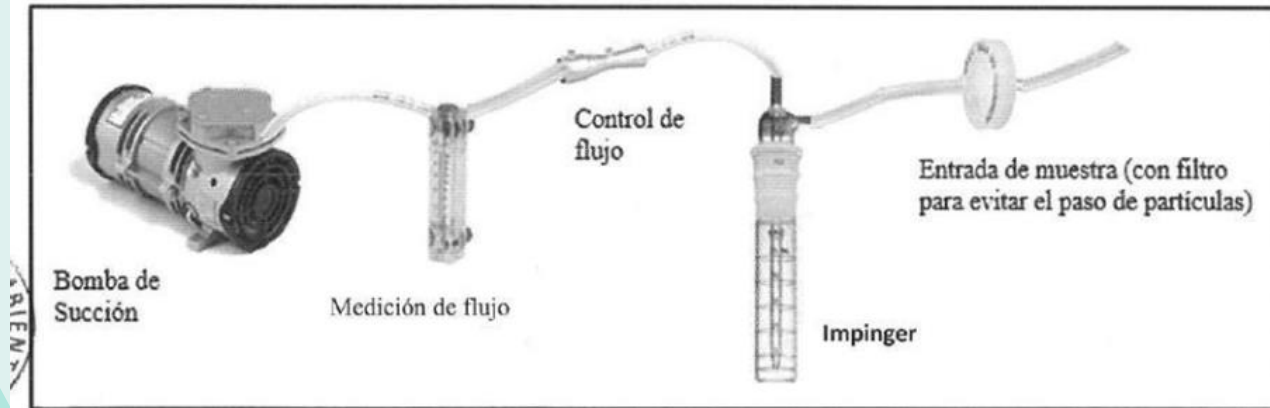
El aire ingresa por la entrada (sección A). Una vez dentro del tubo muestreador, el **analito** que forma parte del aire ingresado es **absorbido** en la posición final por el medio de colección B. Proceso durante 1 mes

D.2 SISTEMAS MANUALES ACTIVOS

D2.2. MÉTODO ACTIVO PARA GASES AMBIENTALES

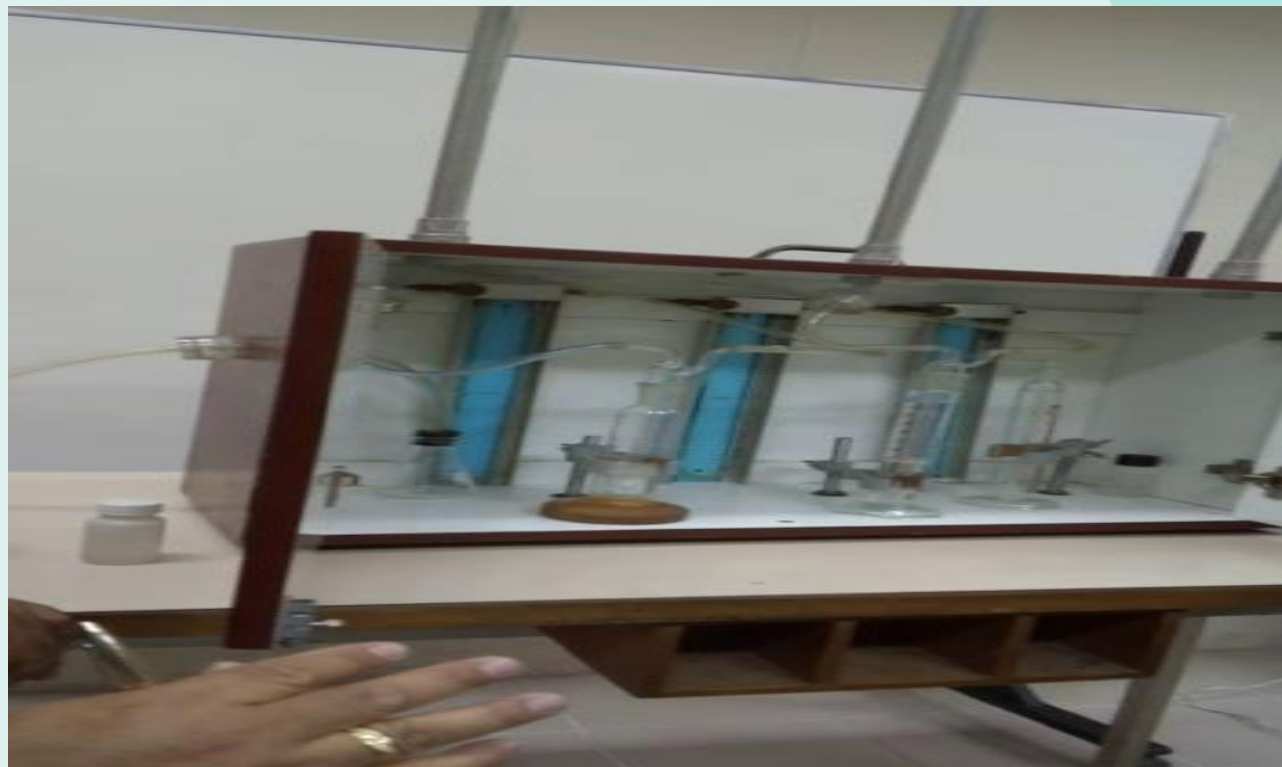
- El tren de muestreo ambiental, el cual está conformado por un conjunto de **impingers** o frascos colectores para cada gas
- Estos tienen dos conexiones: Una para el ingreso y para la salida además su transporte hacia el dispositivo control, dispositivo de medición de flujo y bomba de succión.
- Cada impinger contiene una **sustancia líquida adsorbente** como medio de colección
- Para calcular concentración, se debe dividir la masa del gas ambiental entre el volumen de la muestra (flujo del equipo * periodo de muestreo)

Figura 3. Esquema referencial de los componentes de un tren de muestreo ambiental



Elaboración propia (2018).

TREN DE MUESTREO





D.3. SISTEMAS AUTOMÀTICOS

Utilizan una **bomba de succiòn**, el objetivo de estos equipos no es coleccionar muestras, sino determinar su concentraciòn en una càmara de anàlisis, que usualmente utilizan mètodos òpticos (entre ellos, la fluorescencia UV, la quimioluminiscencia,)

D3.2. Mètodos automàticos para gases ambientales

Succionan muestras de aire, no son coleccionadas en sustancias absorbentes, sino, directamente por **metodologia òpticas** determinan el analito

Concentraciòn de analito es igual a masa(en la càmara de mediciòn) entre volumen de la muestra generando unidades de $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tabla 5. Métodos automáticos de la calidad del aire

Parámetro	Periodo	Método de referencia
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	Fluorescencia Ultravioleta
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hora	Quimioluminiscencia
Mercurio Gaseoso Total (MGT)	24 horas	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora / 8 horas	Infrarrojo No Dispersivo (NDIR)
Ozono (O ₃)	8 horas	Fotometría de Absorción Ultravioleta
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 horas	Fluorescencia Ultravioleta
Benceno (C ₆ H ₆)	anual	Cromatografía de gases

Fuente: Decreto Supremo

MÉTODOS, TÉCNICA Y MARCA

Parámetro contaminantes	Fecha primer registro	Fecha último registro	Metodo	Técnica	Marca
Material Particulado menor a 10 micras (PM10)	26/05/2010	10/06/2020	Automatico	Microbalanza oscilatoria Monitor TEOM 1405	THERMO SCIENTIFIC
Material Particulado menor a 2.5 micras (PM2.5)	26/05/2010	10/06/2020	Automatico	Atenuacion de Rayos Beta Monitor 5014i	THERMO SCIENTIFIC
Dioxido de Azufre SO2	26/05/2010	10/06/2020	Automatico	Fluorescencia UV Analizador 100E	TELEDYNE
Oxidos de Nitrogeno NO2	26/05/2010	10/06/2020	Automatico	Quimioluminiscencia Analizador 200E	TELEDYNE
Monoxido de Carbono CO	26/05/2010	10/06/2020	Automatico	Infrarrojo No Dispersivo Analizador T300	TELEDYNE
Ozono Troposferico O3	26/05/2010	10/06/2020	Automatico	Fotometria UV Analizador 400E	TELEDYNE

- **D.4. sistemas híbridos**

Combinan diversas metodologías (**pasivas, activas u automáticas**) para determinar concentraciones

Dependen de los objetivos planteados en la monitoreo

Esto está referido a combinar métodos de monitoreos de material particulado y gases

- **EJEMPLO**

Industria de Cemento:

Análisis según protocolo :PM10, PM2.5, SO2, NO2, CO y MGT

Sin embargo no cuento con los recursos, priorizo PM10, PM2.5 y NO2

Resultados

PM10, PM2.5 y O3 ----> métodos automáticos

SO2, CO ----- > Sistemas activos o pasivos

GRACIAS