

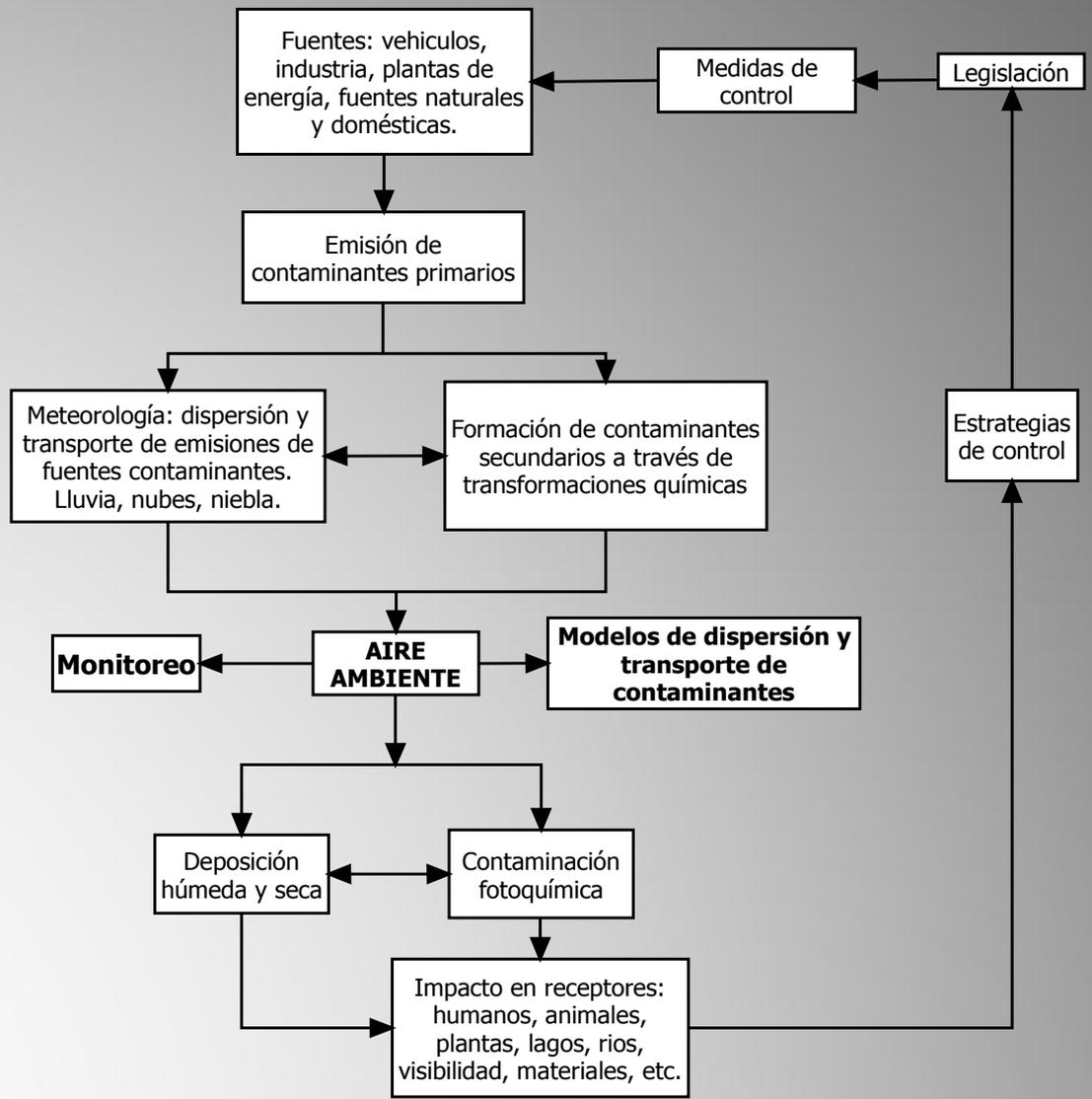
MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE

Gobierno del Distrito Federal
Secretaría del Medio Ambiente
Dirección General de Gestión Ambiental del Aire
Dirección de Monitoreo Atmosférico

Contenido

1. El monitoreo de la calidad del aire
2. Métodos
3. Meteorología
4. Control de calidad
5. Modelación

Monitoreo de la Calidad del Aire



El Monitoreo de la Calidad del Aire

La **contaminación del aire** puede verse como el impacto en la atmósfera de las emisiones de gases y partículas producidas por el hombre.

El **monitoreo atmosférico** proporciona información cuantitativa sobre la concentración y depósito, sin embargo solamente proporciona información a ciertos niveles y en ciertas localidades.

- El monitoreo debe realizarse en tantos sitios como sea posible.
- Debe ser representativo.
- Debe realizarse de manera continua.
- Los resultados deben ser reproducibles.
- Las mediciones deben ser lo más exactas y precisas posibles.

Métodos

Las técnicas de monitoreo atmosférico se dividen en aquellas que se emplean en mediciones en la atmósfera baja y las que se emplean para mediciones en la región media y superior (troposfera superior y estratosfera).

Los requerimientos para el monitoreo en la troposfera baja están definidos por las necesidades regulatorias y está enfocado a los contaminantes criterio en el aire ambiente y al monitoreo rutinario de la calidad del aire. El monitoreo en la región media y superior de la atmósfera está definido por las necesidades de la investigación científica.

Los factores que deben tomarse en consideración cuando se selecciona un método de monitoreo incluyen: la especie que será medida, la incertidumbre requerida, la escala temporal, cobertura espacial, las características de la región y la ubicación del instrumento.

Métodos

Métodos estandarizados.

En el caso del monitoreo de la calidad del aire, el principal objetivo es el de **satisfacer la legislación** y ésta establece claramente los requerimientos para el monitoreo. Las especies que generalmente se incluyen son O_3 , SO_2 , NO_2 , CO, Pb, PM y benceno.

La legislación especifica los objetivos, los valores límite, el principio de operación y la estrategia de monitoreo. Los resultados de la medición generalmente se emplean para calcular los valores promedio durante lapsos de tiempo específicos que permitan su comparación con los objetivos de calidad del aire.

Método de referencia

El procedimiento de análisis y medición descrito en una NOM, que debe aplicarse para determinar la concentración de un contaminante en el aire ambiente y que sirve también, en su caso, para contrastar el método equivalente, cuando éste se haya establecido por la Secretaría.

Método equivalente

El procedimiento de análisis y medición para determinar la concentración de un contaminante en el aire ambiente, señalado como tal en una NOM por producir resultados similares a los que se obtienen con el Método de Referencia, el cual puede aplicarse en sustitución de éste.

El uso de un instrumento certificado no garantiza por si mismo la calidad de los datos, es necesario tomar en cuenta aspectos como los procedimientos de operación, el control y aseguramiento de la calidad, la operación del instrumento y el manejo de los datos.

Métodos

Monóxido de carbono. Norma Oficial Mexicana NOM-034-SEMARNAT-1993.

Método de referencia: Absorción infrarroja.

Método equivalente: Fotometría de correlación de filtro de gas.

Partículas suspendidas totales. Norma Oficial Mexicana NOM-035-SEMARNAT-1993.

Método de referencia: Muestreo con alto volumen y análisis por gravimetría.

Ozono. Norma Oficial Mexicana NOM-036-SEMARNAT-1993

Método de referencia: Quimiluminiscencia

Método equivalente: Fotometría UV

Dióxido de nitrógeno. Norma Oficial Mexicana NOM-037-SEMARNAT-1993

Método de referencia: Quimiluminiscencia

Dióxido de azufre. Norma Oficial Mexicana NOM-038-SEMARNAT-1993

Método de referencia: Pararosanilina

Método equivalente: Fluorescencia

PM2.5. Sin especificación

PM10. Sin especificación

Plomo. Sin especificación

El Monitoreo de la Calidad del Aire

El monitoreo de los gases contaminantes y de la concentración de aerosoles es un prerequisite fundamental para el entendimiento de los procesos físicoquímicos en la atmósfera.

La medición de un conjunto particular de especies sobre un período de tiempo frecuentemente no se considera como un reto científico, sin embargo el éxito de una serie de datos radica en la ejecución cuidadosa y sostenida de las mediciones.

El monitoreo de los contaminantes en la atmósfera es un reto para las técnicas analíticas empleadas.

Métodos

“There are nearly as many techniques for monitoring as there are reasons to monitor”

En términos de su **especialización** las técnicas de monitoreo se pueden dividir en técnicas especializadas, en donde un instrumento mide una sola especie, y las técnicas universales en las cuales un instrumento puede determinar un conjunto de especies.

En términos de la **cobertura espacial** de la medición, los equipos se pueden dividir en mediciones in situ y mediciones remotas. Las mediciones in situ permiten determinar la concentración en un punto en el espacio, el cual se encuentra muy cerca del instrumento, mientras que las técnicas remotas generalmente proporcionan información de la concentración de los contaminantes en un volumen relativamente grande de aire, de aquí que las mediciones tienden a ser más representativas.

Métodos

Table 1.1 Overview of species of relevance to atmospheric chemistry research and measurement techniques

Species	UV/ vis	FT-IR	TDLS (IR)	GC	MS (CIMS)	Fluorescence	
						Chemolum- inescence	Other
NO	O	O	O			+	
NO ₂	+	O	+			+	MI-ESR ^a
NO ₃	+						MI-ESR, LIF
HNO ₂	+						Denuder
HNO ₃		O	O				Denuder
OH	+				O		LIF
HO ₂ /RO ₂			?		+		LIF, Ch. A ^b
H ₂ O ₂		O	+			+	
O ₃	+	O	O			O	Electrochemistry ^c
HCHO	+	O	+				Derivat. ^d
RCHO							Derivat. ^d
Alkanes				+			
Olefins				+	O		
Aromatic	+			+	O		
CO			O	+		+	
DMS				+			
SO ₂	+		O			+	
N ₂ O			+	+			
CFC's		+		+			
HX ^e		+					Wet chemistry
XO ^e	+				O	+	
HOX ^e			?				

Symbols denote: well measurable (+), measurable (O), not measurable (empty field)

UV/vis UV/visible spectroscopy, FT-IR Fourier-transform IR Spectroscopy, TDLS tunable diode laser spectroscopy, GC gas chromatography, MS (CIMS) mass spectrometry (chemical ionisation mass spectrometry)

^a Matrix isolation-electron spin resonance

^b Chemical amplifier

^c Electrochemical cell

^d Derivatisation + HPLC

^e X = Halogen atom (F, Cl, Br, I)

Fuente: Kim, Y. J.; Platt U. Advanced environmental monitoring, 2008.

Métodos

- La técnica debe ser lo suficientemente **sensible** como para detectar las especies, considerando las concentraciones ambientales.
- Las técnicas de medición deben ser **específicas**, los resultados de las mediciones de una especie particular no debe estar influenciada negativa o positivamente por otras especies presentes en el aire.
- **Precisión y exactitud.**
- **Tiempo de respuesta.**
- El método debe ser no intrusivo, es decir **no interferir** con las mediciones que se realicen con otros instrumentos.
- **Facilidad para la reducción de la información.**
- **Otros requisitos:** peso, tamaño, necesidades de calibración, simplicidad de diseño, facilidad de uso, capacidad de operación en tiempo real, operación autónoma.
- **Disponibilidad comercial.**

Métodos

Técnicas de muestreo

Los métodos de muestreo se dividen en tres categorías: recolección de muestras para análisis posterior, muestreo directo con análisis en línea y muestreo remoto.

Muestreo con recolección de muestra para análisis posterior

- **Pasivo:** No requiere de flujo, se coloca directamente a la atmósfera y obtiene la muestra por difusión.
- **Activo:** Conduce un volumen de aire a un medio de colección.

Muestreo directo con análisis en línea

- Son unidades autocontenidas que combinan el muestreo activo con el análisis en línea.

Muestreo remoto

- Mide la concentración de los compuestos atmosféricos en una localidad o localidades separadas del equipo de medición.

Métodos

Muestreadores difusivos y de permeación

Existen dos categorías de muestreadores pasivos: muestreadores difusivos y muestreadores por permeación.

- Los muestreadores pasivos se colocan en el aire que será monitoreado y colectan la muestra en un periodo relativamente largo por difusión en el material de muestreo. Después del muestreo son sellados y se envían al laboratorio para análisis. Se emplean frecuentemente en muestreos de exposición personal. La desventaja más importante es que no tiene un método directo de evaluar el volumen de la muestra.

En su diseño básico consisten de un tubo de diámetro pequeño que contiene el absorbente. La distancia entre la entrada y la superficie el absorbente define la longitud de difusión.

Métodos

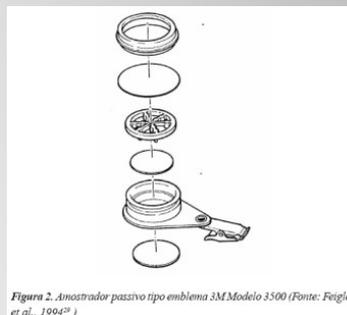
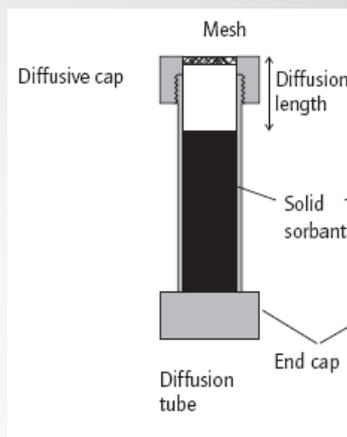


Figura 2. Amostrador pasivo tipo emblema 3M Modelo 3500 (Fuente: Feigley et al., 1994²⁹)



Métodos

Muestreo activo

Para compensar los largos tiempos de exposición de los muestreadores pasivos, los muestreadores activos emplean una bomba que conduce el aire a través de una trampa que contiene un medio absorbente.

La técnica permite alcanzar límites de detección menores. Sin embargo, tienen el riesgo de saturar el sorbente

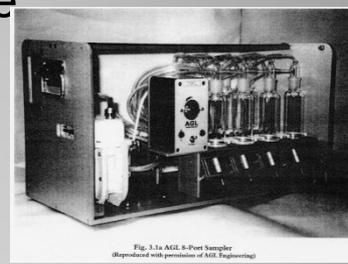
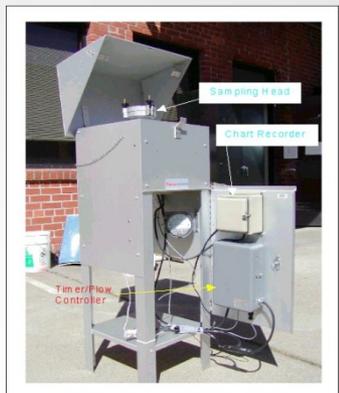


Fig. 3.1a. AGI 8-Port Sampler (Reproduced with permission of AGI Engineering)



Optional gauge

- Quickly confirm vacuum or pressure inside canister.
- Monitor pressure changes.
- Fully protected by canister frame.
- Can be heated to 90°C during cleaning.



High-quality vacuum gauge



Enhanced valve and canister bracket
Canister holder and valve bracket protect canister, tube stub, and valve.

2 or 3 Port high quality valve
Metal-to-metal seal, 2/3 turn with stainless steel diaphragm.

Your TO-Cans™ and SilcoCans™ are an investment! We offer check-ups and reconditioning when needed.

Serial-controlled label
For quick, sure identification.

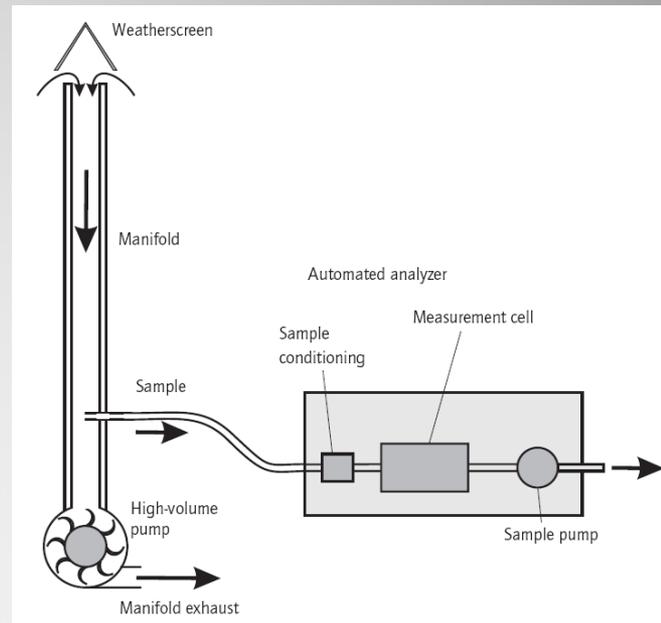


Métodos

Sistemas de medición automatizados

Proveen mediciones continuas de la concentración de uno o más gases. Son unidades auto-contenidas con una bomba interna o externa.

En estos instrumento la bomba no debe interferir con la muestra por esta razón se coloca después de la etapas de colección.



Métodos

Dióxido de azufre

- Principio de operación: fluorescencia por UV.
- Sensibilidad: 0.1 ppb
- Interferencias: Responde de manera positiva al vapor de agua e hidrocarburos aromáticos.

Dióxido de nitrógeno

- Método: quimiluminiscencia
- Sensibilidad: 1 ppb
- Interferencias: Responde de manera positiva por la reducción de otras especies que contienen nitrógeno. En la Ciudad de México esta interferencia puede ser de 20 hasta 100 ppb.

Ozono

- Método: absorción en el UV
- Sensibilidad: 0.1 ppb
- Interferencias: Responde de manera positiva al vapor de mercurio, agua, dióxido de azufre y compuestos orgánicos aromáticos. En la Ciudad de México esta interferencia puede ser de 10 hasta 50 ppb.

Métodos

Monóxido de carbono

- Principio de operación: absorción en el IR.
- Sensibilidad: 0.01 ppm
- Interferencias: Responde de manera positiva al vapor de agua y compuestos orgánicos.

Partículas suspendidas

- Método: gravimetría, atenuación beta
- Sensibilidad: 0.01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Interferencias: Punto de corte, tamaño y composición de las partículas.
Responde de manera positiva a la presencia de humedad o de hollín en el aire.
Responde de manera negativa a la presencia de compuestos orgánicos e inorgánicos semivolátiles.

Compuestos orgánicos volátiles.

- Método: espectroscopia, cromatografía de gases.

Espección de partículas

Continuous Elemental Measurements (University of Maryland)

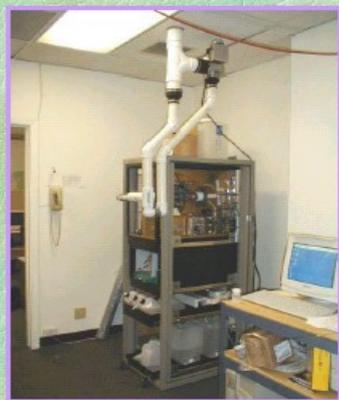


Elements (Al, Ca, Fe, Cu, Cr, Mn, Zn, Cd, As, Sb, Pb, Ni, V, and Se) by Semicontinuous Elements in Aerosol System (SEAS)



Continuous Gas and Particle Speciation Monitors

Andersen



HCl, HNO₂, HNO₃, SO₂, NH₃

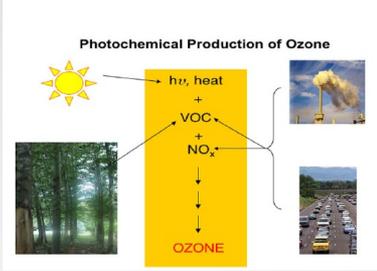
Georgia Institute of Technology Particle Into Liquid Sampler (PILS)



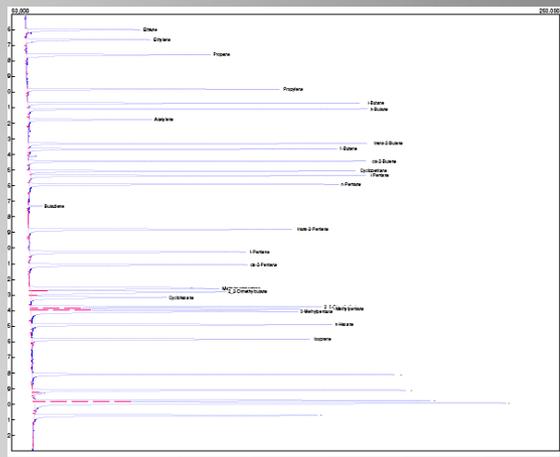
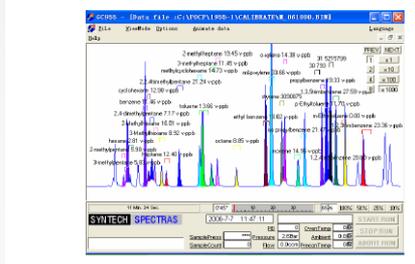
Br⁻, Cl⁻, NO₂⁻, NO₃⁻, PO₄⁼, SO₄⁼, NH₄⁺, Na⁺, Mg⁺⁺, K⁺, Ca⁺⁺, formate, acetate, oxylate

Métodos

BTEX, COVs, CPO



AMBIENT MEASUREMENT



Métodos

Otras técnicas:

Differential Optical Absorption Spectroscopy (DOAS)

Fourier Transformed Infrared Spectroscopy (FTIR)

Infrared Laser Absorption Spectroscopy (LAS)

Percepción remota

Monitoreo de la Calidad del Aire :

Redes de monitoreo

Una red de monitoreo consiste de un conjunto de instrumentos diseñados para el monitoreo de la calidad del aire, distribuidos de tal manera que permitan obtener mediciones in situ de la composición química del aire, así como también de los parámetros físicos de micro y meso escala.

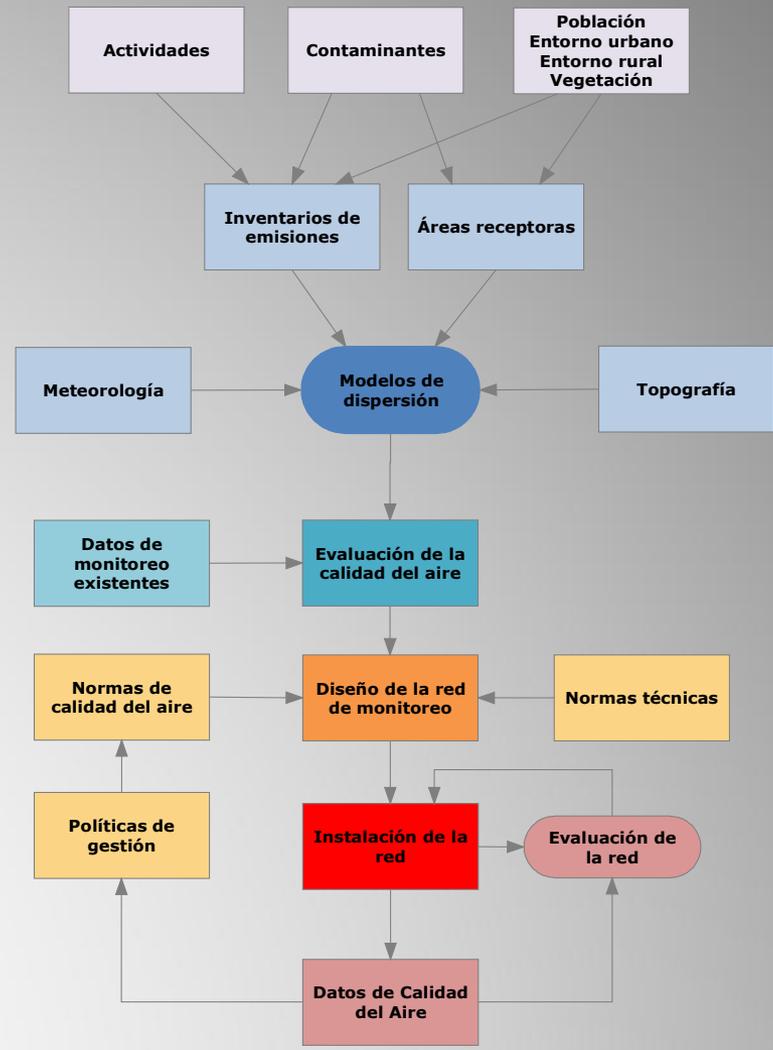
Objetivos:

- 1) Determinar las concentraciones representativas de los contaminantes en áreas de alta densidad poblacional.
- 2) Determinar el impacto en los niveles de contaminación de las fuentes de emisión
- 3) Determinar las concentraciones de fondo de los contaminantes
- 4) Determinar el alcance del transporte regional
- 5) Determinar las concentraciones más altas esperadas en el área cubierta por la red
- 6) Determinar los impactos en el bienestar de la población en áreas remotas o rurales
- 7) Evaluar el alcance y cumplimiento de las políticas de gestión y control de la contaminación

8) Alimentar modelos numéricos de dispersión, pronóstico y fotoquímica

Monitoreo de la Calidad del Aire:

Redes de monitoreo



Monitoreo Atmosférico: Meteorología

Parámetros

- Temperatura del aire
 - Unidades: K
 - Intervalo: 180 - 310 K
- Dirección y velocidad del viento
 - Unidades: m/s, grados
 - Intervalo: 0 – 100 m/s
- Presión
 - Unidades: mbar, Pa
 - Intervalo: 0-1023 bar
- Humedad
 - Unidades: relativa=%, absoluta= mbar, T_{dew}
 - Intervalo: relativa= 0-100%, absoluta= 0 - 0.23 mbar, 180 - 310K
- Visibilidad
 - Unidades: km
 - Intervalo: 0.1 – 100 km
- Distribución de las nubes
- Tipo de nubes
- Tipo y cantidad de precipitación

Temperatura del aire

Termómetro de líquido

- Principio: Dependencia del volumen en función de la temperatura, $\Delta V = V_0(\alpha_1 - \alpha_2) \Delta T$.
- Desventajas: No proporciona información continua.

Termómetro de resistencia

- Principio: Dependencia positiva de la resistencia eléctrica de un bimetálico en función de la temperatura, $T = 20 \text{ °C} + (R/R_{20} - 1) / \alpha$
- Desventajas:

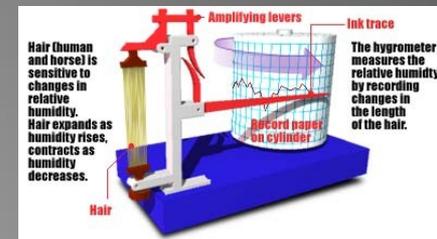
Termistor

- Principio: Dependencia negativa de la resistencia de un semiconductor en función de la temperatura.
- Desventajas:

Humedad

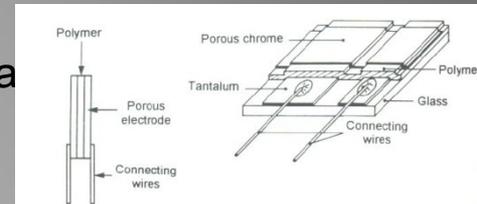
Higrómetro

- Principio: Registro del cambio en la longitud del cabello humano en respuesta a los cambios de la humedad relativa. El cambio de la longitud se debe al rompimiento reversible de los enlaces de hidrógeno en la queratina en presencia de vapor de agua.
- Desventajas: Tiene un tiempo de respuesta lento.



Higrómetro de capacitancia

- Principio: Consiste en un polímero higroscópico colocado entre dos electrodos metálicos. El polímero aumenta su volumen en presencia de vapor de agua, disminuyendo la capacitancia.
- Desventajas: Se contamina muy fácilmente



Higrómetro de absorción

- Principio: La concentración de vapor de agua se puede medir por espectroscopía de absorción.

Humedad

Higrómetro de punto de rocío

- Principio: Detección del cambio en la reflectancia provocada por el rocío sobre un espejo con temperatura controlada.
- Ventajas: gran exactitud.

Psicrómetro

- Principio: Diferencia de la temperatura entre dos termómetros ventilados, uno de los cuales está cubierto con una tela húmeda. La diferencia de temperatura es proporcional a la humedad relativa. $e = e_{\text{sat wet}} - c (T_{\text{dry}} - T_{\text{wet}})$.
- Desventajas: no proporciona datos continuos.

Presión

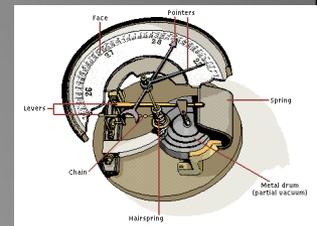
Barómetro de mercurio

- Principio: el peso del aire es balanceado por el peso del mercurio en un tubo con un extremo abierto, $\Delta p = p_2 - p_1 = \rho gh$.
- Desventajas: poco adecuado para mediciones rutinarias.



Barómetro aneroide

- Principio: una cámara sellada con aire a una presión interna reducida se contrae o expande con los cambios de la presión.
- Ventajas: Se puede adaptar para mediciones rutinarias.



Transductor de presión

- Principio: Un cambio en la presión externa produce una deformación física de los medidores de tensión que están fijos al diafragma del transductor de presión, esta genera un voltaje diferencias proporcional a la presión.
- Ventajas: Compacto, gran precisión.



Monitoreo Atmosférico: Meteorología

Dirección y velocidad de viento

Veleta

- Principio: la veleta se encuentra sobre un pivote que permite que se alinee a con el flujo de viento.
- Ventajas:



Windsock

- Principio: la bolsa se alinea con el flujo viento y los cambios en la forma se deoenden de la velocidad (cualitativamente).
- Ventajas:



Anemómetro de copas

- Principio: las diferencias de presión producen una fuerza que hace girar las copas a una velocidad proporcional a la velocidad del viento.
- Desventajas: mide la velocidad en el plano horizontal, tiempo de respuesta lento, tiende a sobreestimar la velocidad.



Monitoreo Atmosférico: Meteorología

Dirección y velocidad de viento

Anemómetro sónico

- Principio: determinación de la velocidad del sonido.
- Ventajas: mide el viento en los 3 componentes, rápido, no presenta inercia, puede determinar la temperatura virtual simultáneamente.



Anemómetro térmico

- Principio: remoción de calor por el viento de un filamento calentado.
- Ventajas: buen tiempo de respuesta, muy frágil.

Monitoreo Atmosférico: Meteorología

Precipitación

Pluviómetro

- Principio: mide la cantidad de lluvia que cae dentro de un contador de volumen. Puede usar un calentador para derretir el granizo o el hielo.
- Desventajas: puede presentar saturación, el viento puede afectar las mediciones de manera local.



Contador óptico de lluvia

- Principio: mide la cantidad de partículas que pasan a través de un haz de luz.
- Ventajas: no es afectado por el viento, no presenta saturación



Mediciones en la vertical

Radiosonda

- Paquete instrumental pequeño que contiene monitores para temperatura, presión, humedad relativa, conectado a un globo llenado con helio. El globo tiene un alcance de hasta 30 km. Los datos son enviados a tierra por radio.



Ozonosonda

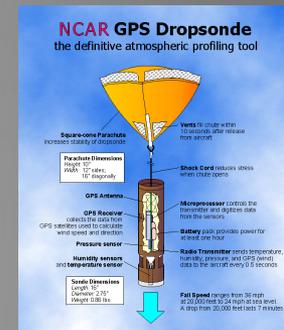
- Radiosonda con un monitor para ozono.

Rawisonda

- Radiosonda que ubica su posición en el espacio y tiempo permitiendo la determinación de la velocidad y dirección del viento.

Dropsonda

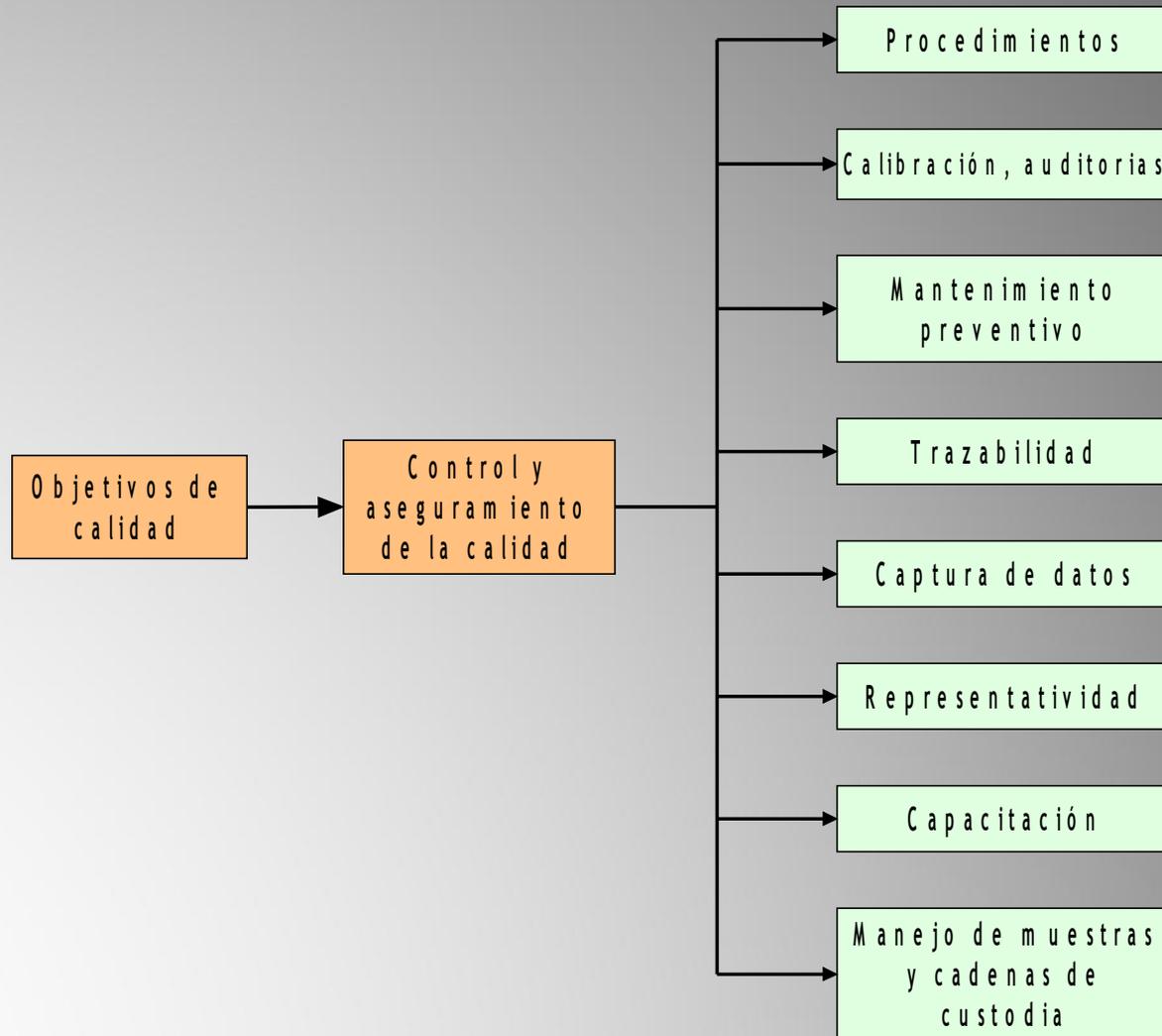
- Sonda que en vez de que se eleve con un globo, se deja caer desde un aeroplano con un paracaída.



Me te o r o l o g í a

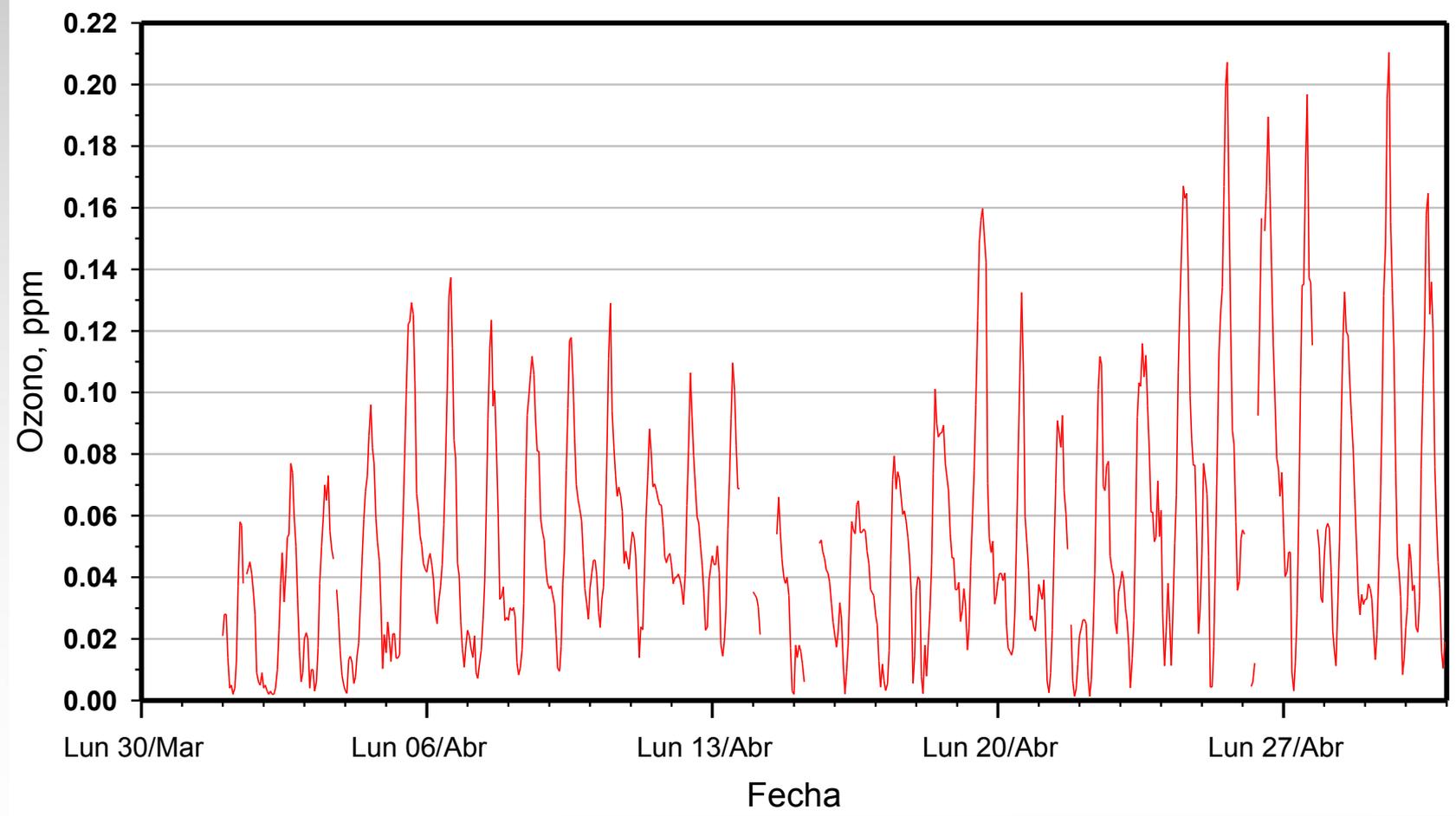
- **RADAR (RAdio Detection And Ranging)**
 - Principio: medición de las ondas de radio reflejadas por las gotas de lluvia. A partir de la medición del tiempo de emisión y detección se calcula la distancia, la intensidad de la señal depende de la cantidad, tamaño y tipo de partículas (agua, hielo, nieve).
 - Desventajas: dependencia important del radio de la partícula y del tipo de dispersión.

Monitoreo de la Calidad del Aire: Control de Calidad



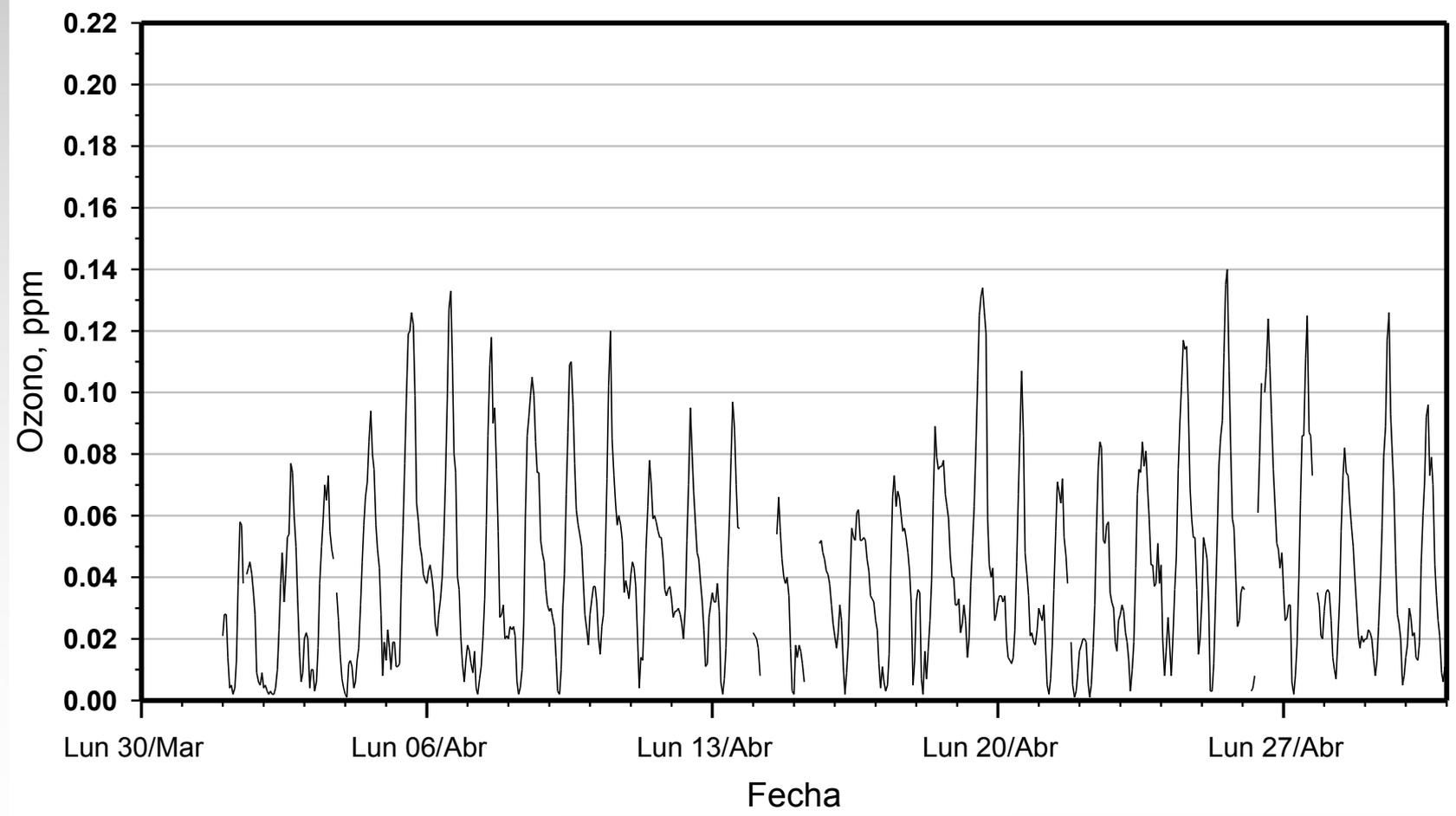
Control de Calidad

Resultados del monitoreo de ozono



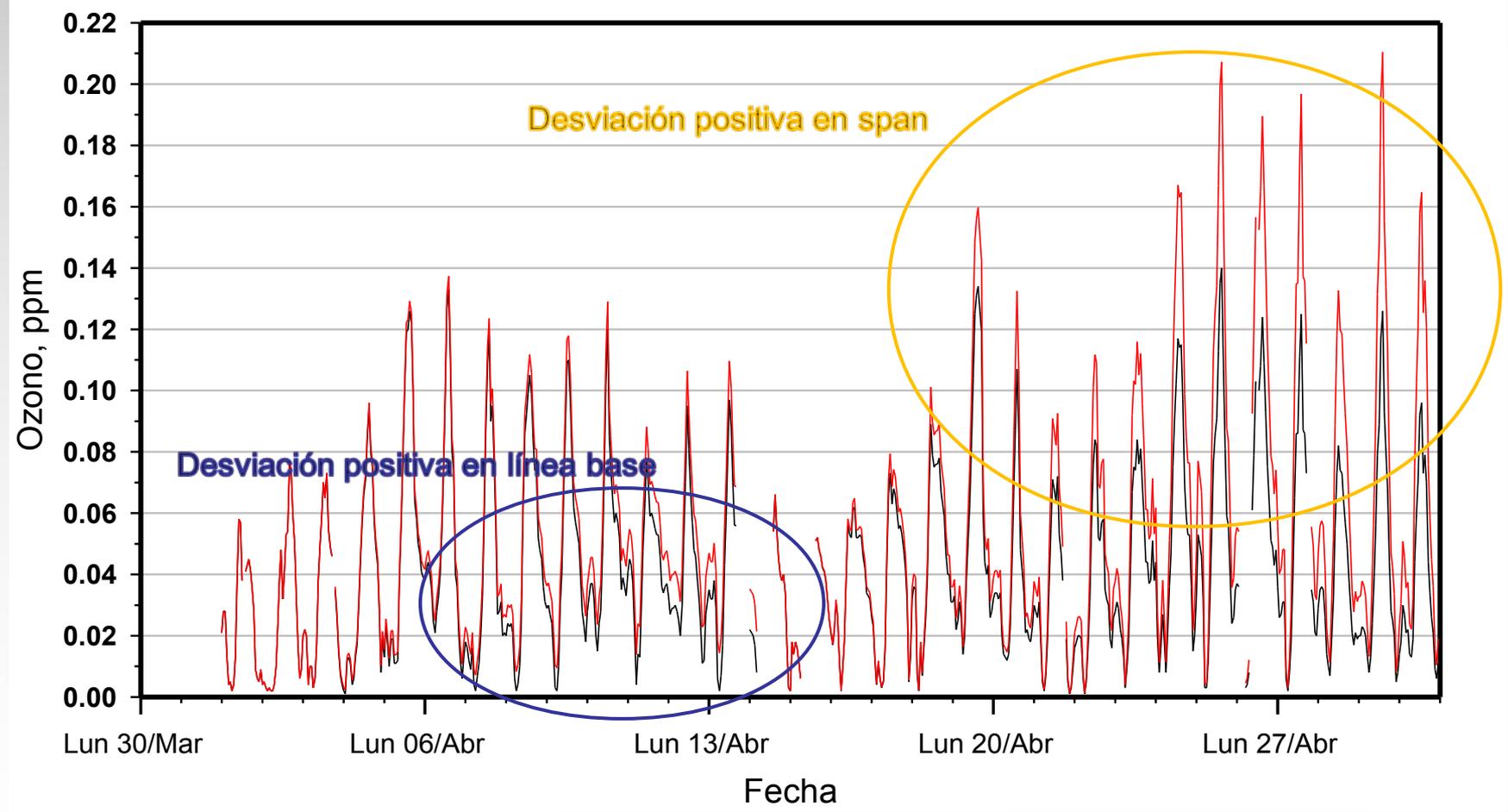
Control de Calidad

Resultados del monitoreo de ozono

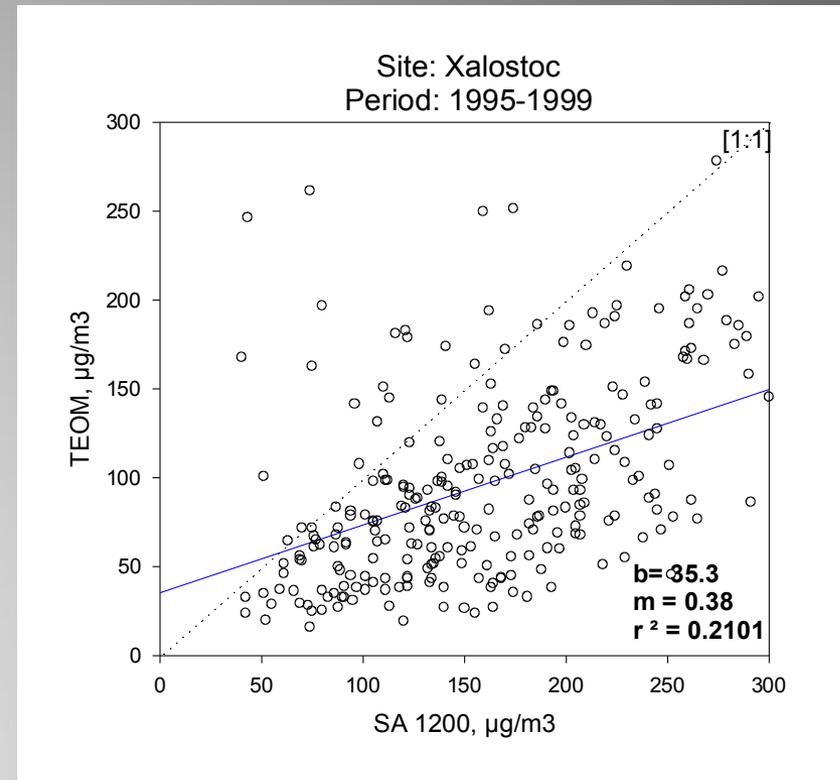
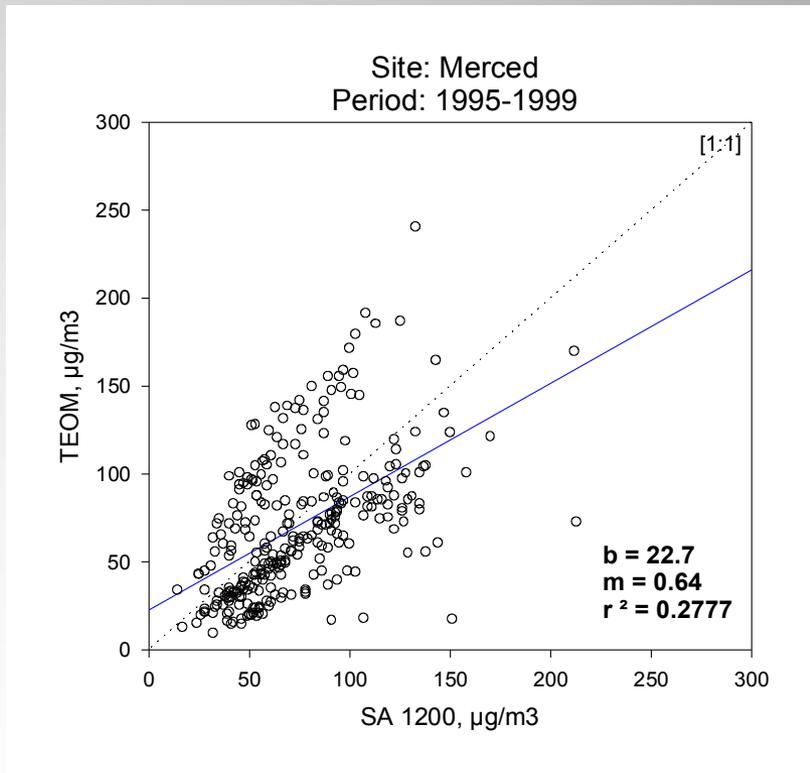


Control de Calidad

Resultados del monitoreo de ozono

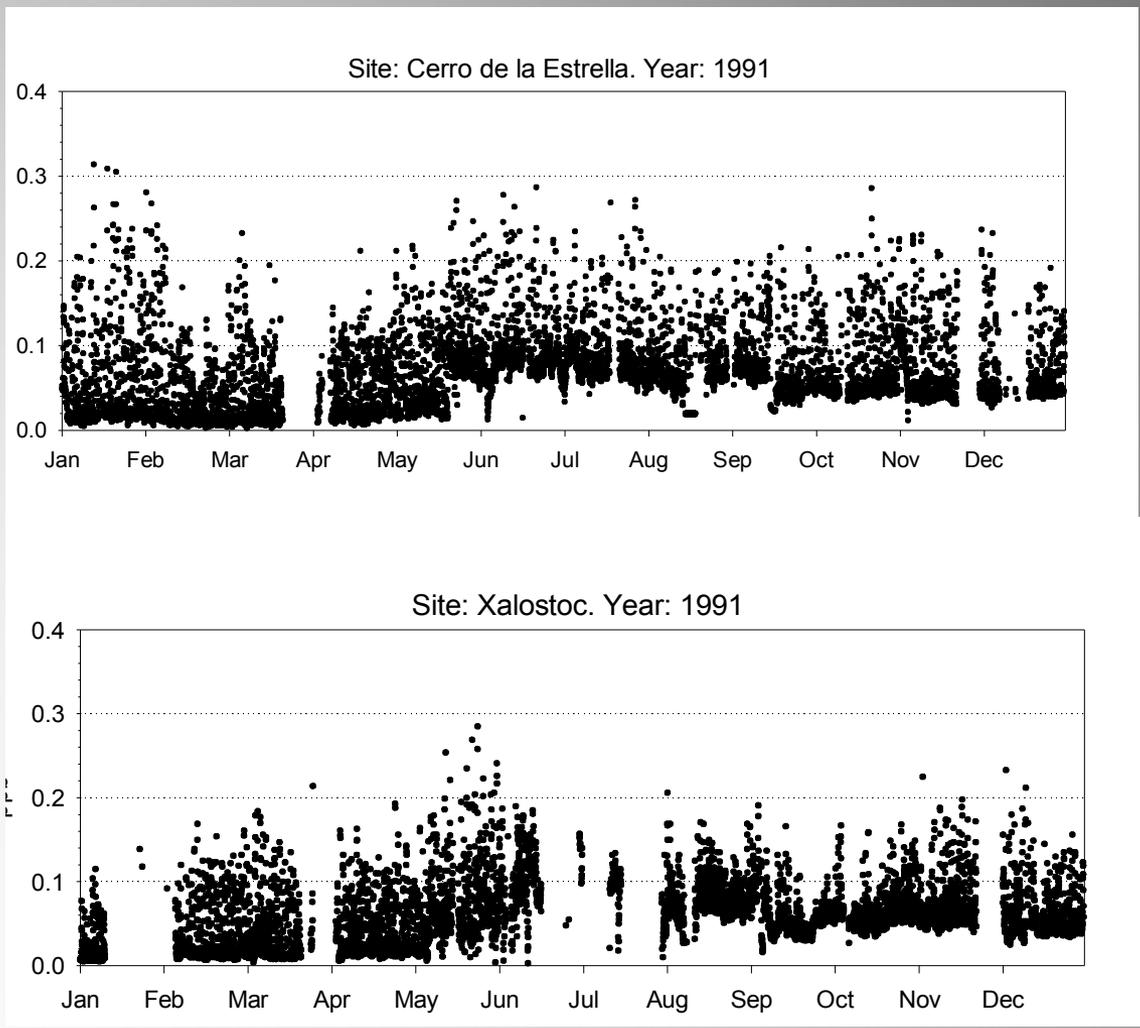


Monitoreo de PM₁₀ ¿Método de referencia o método equivalente?



Control de Calidad

¿Ozono?



Control de Calidad

¿Ozono?

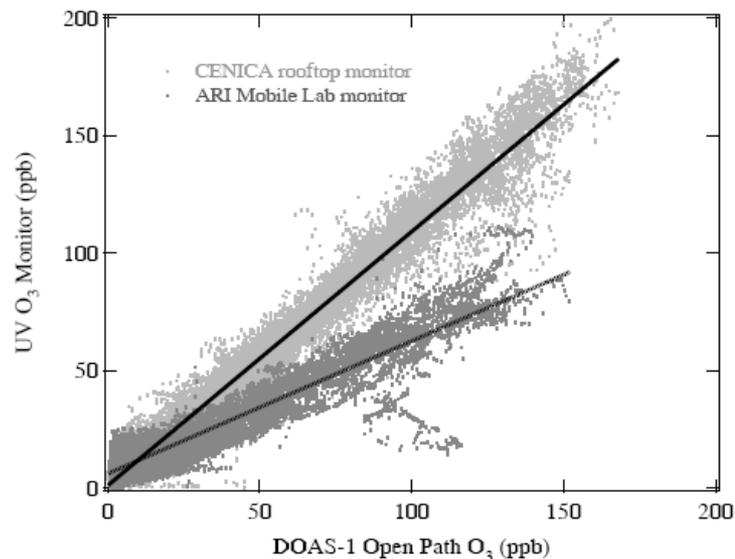


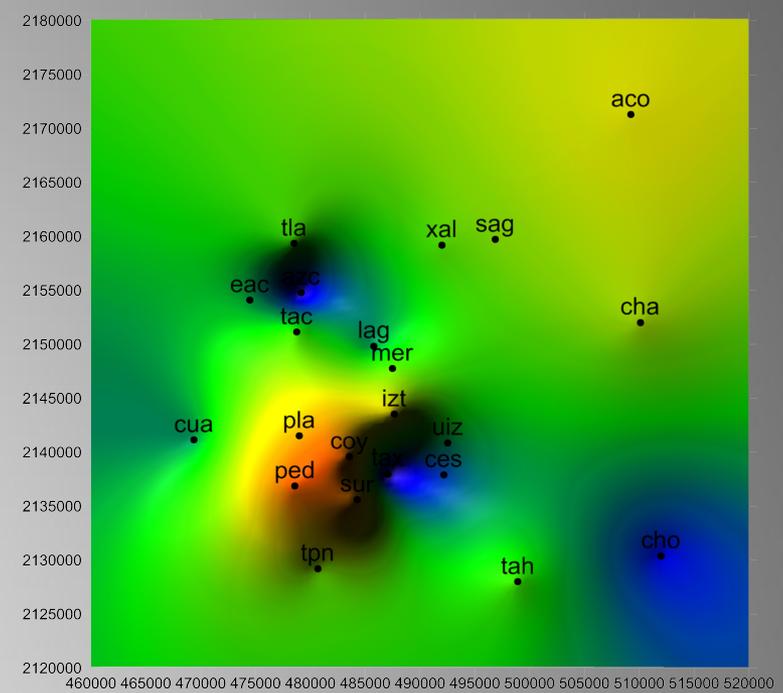
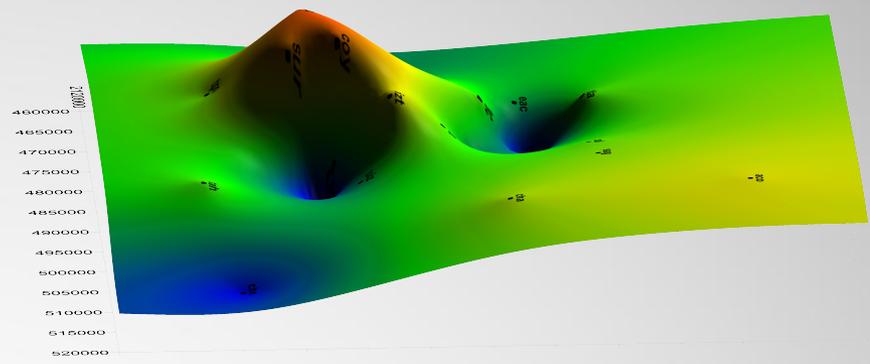
Fig. 6. Linear regressions for UV O₃ monitors versus DOAS-1 open path measurement of O₃ at CENICA site. Data from two different UV O₃ monitors are shown: the CENICA monitor located on the roof of their headquarters building (light gray points) and the monitor on board the ARI Mobile Lab (dark gray points). The linear fits (with 2 σ uncertainties reported from the fit only) are:

CENICA rooftop monitor (solid line): slope= 1.08 ± 0.01 ,
intercept= 1.1 ± 0.1 , $R^2=0.97$

ARI Mobile Lab monitor (dashed line): slope= 0.56 ± 0.01 ,
intercept= 6.0 ± 0.1 , $R^2=0.88$.

E. J. Dunlea et al.: Evaluation of UV ozone monitors. *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 3163–3180, 2006

Control de Calidad



Monitoreo de la calidad del aire: Modelación

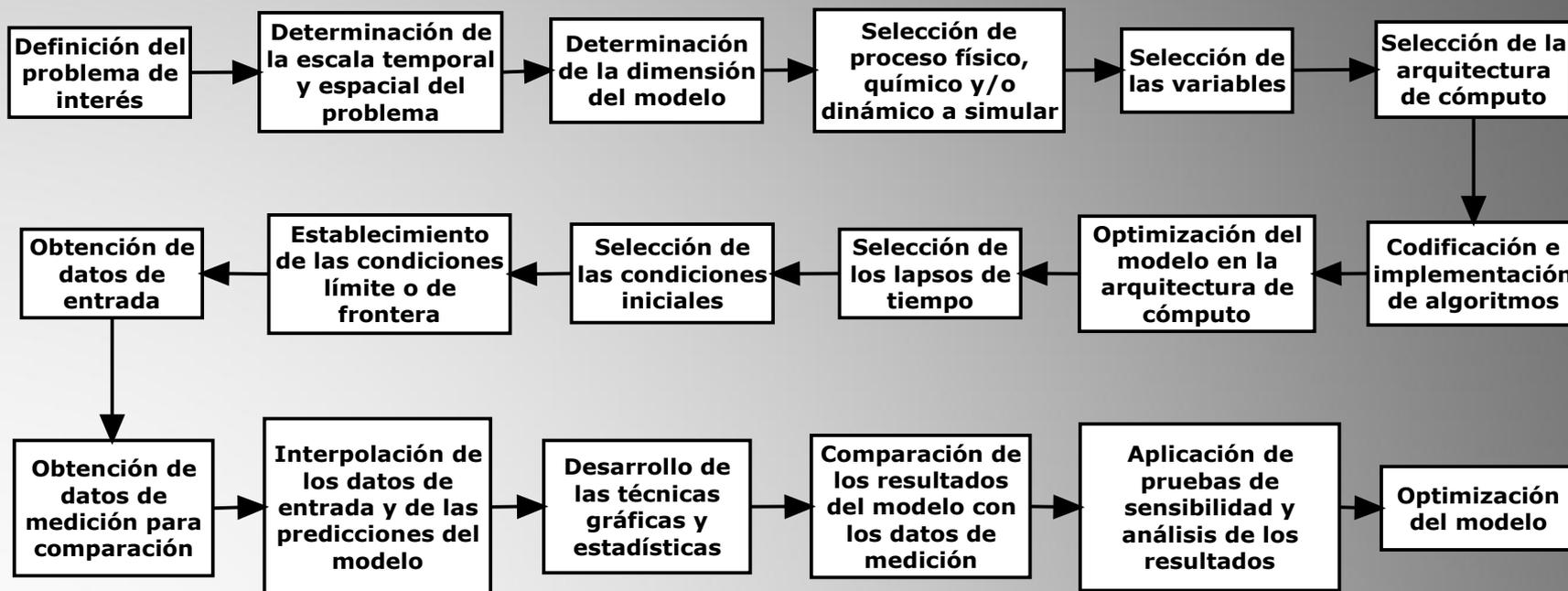
La modelación de la contaminación del aire es un intento para describir la relación causal entre las emisiones, las concentraciones atmosféricas y el depósito.

Existen tres categorías de información requeridas por los modelos de calidad del aire:

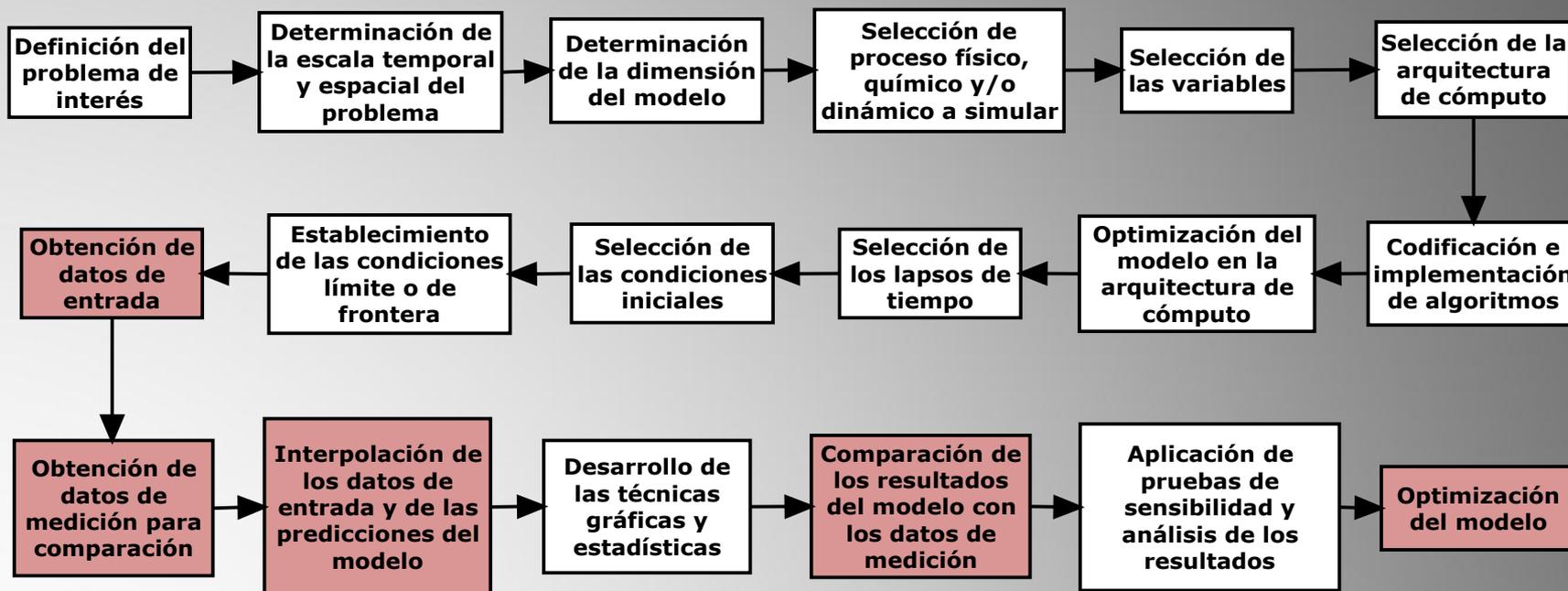
1. Datos de calidad del aire
2. Datos de emisiones
3. Información meteorológica

Esta información se emplea para definir las condiciones iniciales y de frontera para el modelo. Esta información es necesaria para que el modelo considere la conservación de masa.

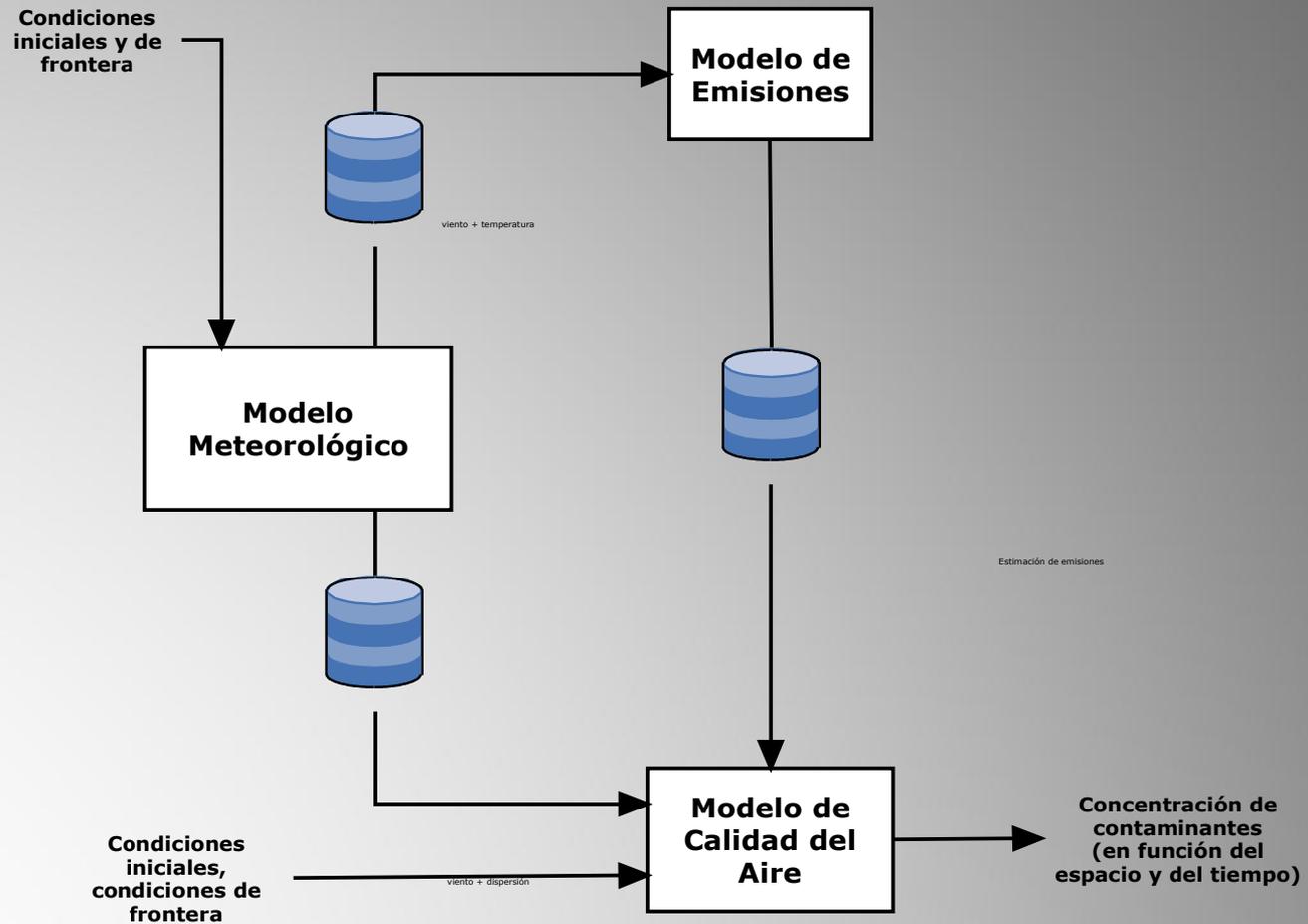
Pasos para la formulación de un modelo



Pasos para la formulación de un modelo



Modelación de la calidad del aire



Necesidades actuales para la modelación de la calidad del aire

- Caracterización de los aerosoles atmosféricos (composición, distribución, número, fuentes, propiedades).
- Compuestos orgánicos tóxicos y precursores de ozono (especiación, distribución, concentración)
- Medición efectiva de especies nitrogenadas (NO_x, NO_y, NO_z, etc.)
- Medición continua de los parámetros físicos en la vertical (temperatura, humedad, viento, presión, etc.)

Gracias por su atención

Armando Retama Hernández

aretama@sma.df.gob.mx

<http://www.sma.df.gob.mx/simat/>