

CONTAMINACION DEL AIRE Y METEOROLOGIA

Por Julián Bedoya

Profesor Asociado Universidad Nacional
Ingeniero Industrial U. Nacional Medellín
Master of Science Industrial Engineering y
Candidato para Ph.D. Purdue University
Dirección: A.A. 1595 Medellín, Colombia

INTRODUCCION

El problema básico de la contaminación del aire se puede enunciar en términos muy sencillos. Esencialmente se tiene una fuente de contaminantes con una intensidad de emisión Q (masa por unidad de tiempo) y se desea calcular la concentración o (masa por unidad de volumen) en cualquier punto alrededor de la fuente de acuerdo a las condiciones meteorológicas (Nriagu, 1978). La primera etapa para resolver este problema consiste en entender lo mejor posible el comportamiento de la atmósfera y su capacidad para diluir los contaminantes que recibe. El principal objetivo de este trabajo es el de explicar brevemente algunos de los fenómenos meteorológicos más comunes y su relación con la dispersión de contaminantes en el aire.

RADIACION SOLAR

El sol provee alrededor del 99,97 por ciento de la energía calorífica requerida para los procesos físicos y químicos que se desarrollan en el sistema tierra-atmósfera. El Sol irradia alrededor de 56×10^{26} calorías/minuto. Una concha esférica con un radio de 1.5×10^{13} cm (distancia promedio de la Tierra al Sol) y con centro en el Sol recibe aproximadamente 2.0 ly/min ($S = 56 \times 10^{26} / 4\pi (1.5 \times 10^{13})^2 \text{ cal/min-cm}^2$), donde $\text{ly} = \text{langley (cal/min)}$. El total de la energía solar interceptada por la Tierra es igual a $\pi a^2 S$, donde a es el radio de

la Tierra ($6.37 \times 10^8 \text{ cm}$) o sea alrededor de $2.55 \times 10^8 \text{ cal/min}$ o $3.67 \times 10^{21} \text{ cal/día}$ (Wark y Warner, 1976). Si toda esta energía se almacena, sería suficiente para satisfacer las necesidades industriales y domésticas de todo el mundo durante 100 años. Por supuesto esto no se podría hacer porque no habría suficiente energía para calentar el aire y evaporar el agua produciendo una paralización de la circulación general de la atmósfera y del ciclo hidrológico. Teniendo en cuenta la declinación del Sol, se puede afirmar que Colombia recibe, en promedio, alrededor de 900 cal/cm^2 por día (asumiendo 7.5 horas de luz solar perpendicular).

La máxima intensidad de la energía solar ocurre a longitudes de onda entre 0.4 y 0.8 μ , que es esencialmente la porción visible del espectro electromagnético. La Tierra, considerada como un cuerpo negro a 288°K , irradia una onda larga con la máxima intensidad entre 4 y 12 μ (cerca de la energía infrarroja), representando cerca del 47 por ciento de la radiación solar recibida (Munn, 1966). Una buena parte de esta radiación infrarroja es absorbida por el vapor de agua y el dióxido de carbono existentes en la atmósfera. Pero como ambos son transparentes a la radiación solar, se produce un aumento neto de la temperatura de la atmósfera de acuerdo con la cantidad de estas dos sustancias presentes en el aire. Este fenómeno recibe el nombre de "Efecto del Invernadero".

Por otra parte, partículas y aerosoles existentes en la atmósfera tienden a bloquear el peso de la radiación solar hacia la superficie terrestre por medio de los fenómenos de reflexión y refracción, lo cual produce una disminución de la temperatura en una forma opuesta al "efecto del invernadero". Es difícil predecir cuál de estos dos fenómenos predominará sobre la temperatura de la atmósfera en las próximas décadas, si las emisiones producidas por el hombre permanecen sin control.

La temperatura de la atmósfera es importante porque es uno de los factores decisivos en la predicción de la dispersión de contaminantes en sentido vertical. Se necesita tener las partes superiores de la atmósfera a más bajas temperaturas que las de la superficie terrestre para poder tener flujo de gases contaminantes hacia las partes más altas de la atmósfera, de acuerdo a principios básicos de termodinámica y difusión de gases.

VIENTO

El Sol, la Tierra y la atmósfera terrestre forman un inmenso sistema dinámico. El calentamiento diferencial del aire produce gradientes de presión, que a su

vez producen movimientos horizontales de la atmósfera. La diferencia de temperatura entre los polos y la zona tórrida, y entre los continentes y los océanos, produce movimientos de aire en gran escala. Vientos locales, tales como las brisas marinas, se producen por medio de diferencias locales de temperatura. El régimen de vientos en un valle, como el Valle del Aburrá, es muy especial, pues los vientos están determinados por la topografía y el calentamiento diferencial entre la base del valle y el pico de las montañas. En días soleados, el aire de las montañas se calienta primero y asciende dejando un vacío que lo llena el aire del valle. Durante la noche este aire se enfría y se estanca en las montañas, pero el aire del valle está un poco más caliente y empieza a ascender lo cual produce una circulación del aire de las montañas hacia el valle. Estos dos ciclos se muestran esquemáticamente en la figura 1. Al nivel de la superficie del valle este fenómeno se observaría como un cambio de 180° grados en la dirección del viento.

La región vertical donde se notan los fenómenos superficiales de cambio de temperatura y turbulencia producida por el terreno se llama la capa planetaria limítrofe y tiene una altura variable

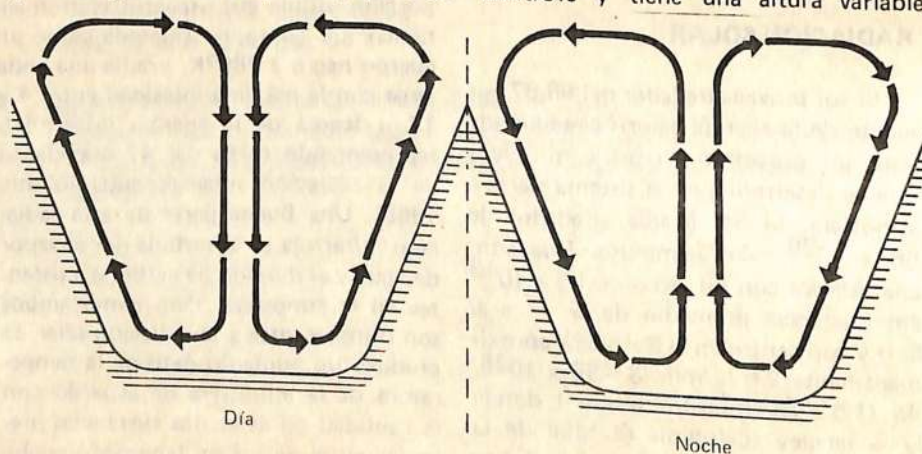


Figura 1. Régimen de vientos en un valle

desde unos pocos metros hasta 2000 ó 3000 metros de altura. A estas alturas es importante anotar que las irregularidades del terreno producen una fuerza friccional que reduce la velocidad del viento cerca a la superficie en la capa planetaria, razón por la cual esta capa también recibe el nombre de la capa de los efectos friccionales del viento.

La dirección y velocidad del viento son buenos indicadores de la ubicación y concentración de contaminantes en una área determinada. A medida que el viento transporta los contaminantes también los dispersa en sentido horizontal y vertical. Es de anotar que a diferentes alturas de la capa atmosférica se encuentran cambios en la dirección y fuerza de los vientos que producen formas muy complejas de dispersión de contaminantes. La concentración de contaminantes en un lugar determinado es función de la dirección del viento y de su velocidad.

ESTABILIDAD ATMOSFERICA

El método de la estabilidad atmosférica es uno de los métodos más ampliamente usados con miras a calcular la calidad del aire ambiental. Una atmósfera estable es una que no exhibe mucha mezcla o movimiento vertical, por lo tanto los contaminantes emitidos cerca de la superficie tienden a permanecer allí. La estabilidad atmosférica depende del gradiente de temperatura, lo cual produce mezcla por medio de los efectos termales (Perkins, 1974). Otro tipo de mezcla se produce por la turbulencia mecánica creada por la acción de fricción del viento.

La estabilidad se determina por medio de la comparación del gradiente de temperatura real con el adiabático. Usando la primera ley de la termodinámica

y la ecuación de los gases ideales se puede calcular el gradiente adiabático de temperatura, el cual es de -0.0098°C por metro. Esto significa que por cada 100 metros adicionales de altura en la atmósfera la temperatura disminuye en 1°C aproximadamente. Si el gradiente real de temperatura es menor que el adiabático, la atmósfera es inestable, si son iguales es neutra, y si el real es mayor que el adiabático la atmósfera es estable. La atmósfera es un sistema muy dinámico y uno de los parámetros que cambia continuamente es el de la estabilidad, la cual depende de factores tan variados como la hora del día, la presencia de nubes, el tipo de vientos, la temperatura de la superficie y la cantidad y tipo de contaminantes.

Slade (1968) presenta una tabla para determinar la estabilidad atmosférica de acuerdo con el método sugerido por Pasquill (1962, 1974). Véase la Tabla No. 1.

Esta clasificación sirve para obtener los parámetros de dispersión que se usan en conjunto con la información sobre la velocidad y dirección del viento para estimar los niveles de contaminación en un lugar determinado (Turner, 1970). Otro método usado para determinar estos parámetros de dispersión es el uso de la desviación típica del cambio en la dirección del viento. Desafortunadamente, es relativamente difícil obtener buenas mediciones de esta cantidad, pero los resultados de algunas investigaciones que se están desarrollando en la Universidad de Purdue, Estados Unidos, son prometedores (Bedoya, 1979). El fin primordial de la investigación es el de reemplazar la clasificación cualitativa de la estabilidad atmosférica por una medición que se puede realizar más fácilmente y sea más tangible.

TABLA 1
CLASIFICACION DE LA ESTABILIDAD ATMOSFERICA

Velocidad del Viento (m/seg)		0.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	5.5	5.5
Hora	cubierta de nubes									
DIA 6-6	soleado	A	A	A	B	B	B	C	C	C
	sol moderado	A	A	B	B	B	C	C	C	D
	no sol	A	A	A	C	C	C	C	D	D
NOCHE 6-6	nublado	E	E	E	E	E	D	D	D	D
	no nubes	F	F	F	F	F	E	E	D	D

A = Muy inestable B = Moderadamente inestable
 C = Ligeramente inestable D = Neutral
 E = Ligeramente estable F = Estable

Fuente: Meteorology and Atomic Energy 1968

CONCLUSION

En este artículo sólo se han tratado tres de los fenómenos meteorológicos más comunes y de su relación con la dispersión de contaminantes de una manera muy esquemática. No se debe olvidar que hay otros factores con una influencia decisiva en los fenómenos de dispersión atmosférica. La altura de la capa planetaria y de la inversión, las lluvias, la topografía, la altura de la fuente contaminante, y la velocidad y temperatura de los gases emitidos, son algunos de los que se pueden mencionar aquí y que se necesita considerar al aplicar modelos matemáticos para estudiar la difusión de contaminantes en la atmósfera. Un buen modelo matemático para predecir la calidad del aire ambiente debe considerar todos estos factores y usar supuestos lo más cercanos a la realidad que sea posible.

RESUMEN

Este artículo describe tres fenómenos meteorológicos y su relación con la dispersión de contaminantes. La radiación solar y sus efectos térmicos, el viento como medio transportador y como creador de turbulencia y la estabilidad atmosférica como un sistema práctico

para determinar los niveles de la calidad del aire. La estabilidad atmosférica se define usando la velocidad del viento, la cubierta de nubes y la hora del día. También se sugiere su definición usando la desviación típica de la dirección del viento. Por último se resalta la complejidad de la aplicación de modelos matemáticos en contaminación del aire, ya que requieren un conocimiento muy claro de todos los fenómenos meteorológicos.

ABSTRACT

This paper describes three meteorological phenomena and their connection with air pollution dispersion. Solar radiation and its thermal effects, wind as transportation vehicle and as turbulence generator, and atmospheric stability as a useful methodology in determining air quality levels. A scheme to determine atmospheric stability using wind speed, cloud and hour of day is presented. The standard deviation of the wind direction is also suggested for determining atmospheric stability. Finally the paper stresses the complexity of the application of air pollution mathematical models due to the requirement of a clear understanding of all the meteorological phenomena.

BIBLIOGRAFIA

Bedoya, Julián, *Investigación en Progreso*, Purdue University, 1979

Munn, R. E., *Descriptive Meteorology*, Academic, N.Y. 1966

Nriagu, Jerome O., *Sulfur in the Environment, Part I*, John Wiley and Sons, N.Y., 1978

Pasquill, F., *Atmospheric Diffusion*, 2nd ed., Halstead Press N.Y., 1974

Pasquill, F., *Atmospheric Diffusion*, D. Van Nostrand Co. Ltd., N.Y., 1962

Perkins, Henry C., **Air Pollution**, McGraw-Hill, N.Y., 1974

Slade, D., editor, **Meteorology and Atomic Energy 1968**, U.S. Atomic Energy Commission, Julio 1968. p. 43-48

Turner, D. B., **Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates**, U.S. Environment Protection Agency AP-26, 1970

Wark, Kenneth y Cecil F. Warner, **Air Pollution: Its Origin and control**, Harper and Row, N.Y., 1976

**seguridad
social integral**



a los profesionales

**nuestro.
ofrecimiento.**

- ahorro
- crédito
- salud
- solidaridad
- turismo
- compra y
- seguro de vehículo

Coomeva  **Cida**

cr. 50 n° 58-14 tels: 543254 543186