

INFLUENCIA DE LOS FACTORES METEOROLÓGICOS Y GEOGRÁFICOS EN LA DIFUSIÓN Y TRANSPORTES DE SUSTANCIAS CONTAMINANTES

INFLUENCE OF THE METEOROLOGICAL AND GEOGRAPHICAL FACTORS IN THE DIFFUSION AND TRANSPORTATION OF POLLUTANTS IN THE AIR

Julio Díaz Jiménez, Cristina Linares Gil

Fundación General de la Universidad Autónoma de Madrid. Asesor para el Departamento de Educación para el Desarrollo Sostenible. Ayuntamiento de Madrid.

RESUMEN:

En este artículo se analiza como las situaciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica influyen en los fenómenos de difusión de sustancias contaminantes en la atmósfera, tanto a nivel de grandes focos como de focos puntuales como penachos de chimeneas. Por otro lado, se consideran como la orografía, a través de las brisas de mar y de valle, pueden influir en la dirección del viento y, por tanto, del transporte de sustancias contaminantes en ausencia de vientos dominantes. Por último, se analiza la influencia de los obstáculos orográficos en la formación de vórtices y remolinos a sotavento de dichos obstáculos.

PALABRAS CLAVE: Estratificación atmosférica; difusión; meteorología; obstáculo orográfico; brisa.

ABSTRACT:

In this paper we analysed how the stability and instability atmospheric situations influence the diffusion of air pollutants, as level of big areas and as level of restricted focus (e.g. a chimney). Moreover, the surface is considered, through the sea and valley breeze, because they can influence the wind direction and so, the transportation of pollutants when main winds do not exit. At last, the influence of orographic obstacles are considered in the generation of lee's vortices.

KEY WORDS: Atmospheric Stratification; Diffusion; Meteorology; Orographic obstacle; Breeze.

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se pretende poner a disposición de los profesionales de la salud una serie de conceptos meteorológicos básicos, expuestos con un lenguaje coloquial, que pueden explicar el comportamiento de la atmósfera en determinadas condiciones y cómo las condiciones atmosféricas pueden influir en la difusión y transporte de sustancias contaminantes de cualquier tipo presentes en la atmósfera. No se trata pues de un trabajo de investigación, si no una mera recopilación de conceptos meteorológicos. Es por este motivo que la estructura de este trabajo no se adapta a la que normalmente presenta un artículo científico de investigación.

2. Criterios de estabilidad de estratificación atmosférica:

Es conocido que, salvo la absorción que se produce en la estratosfera por la capa de ozono, el aire es totalmente transparente para la radiación solar. Esta radiación

atraviesa la atmósfera y calienta el suelo. Este hecho hace que el aire únicamente se caliente en contacto con el suelo. Por lo tanto el suelo normalmente actuará como un foco cálido y la temperatura del aire disminuirá con la altura. Basándonos en esta premisa de que la temperatura del aire disminuye con la altura, hay dos coeficientes que se utilizan para clasificar la estabilidad de estratificación de la atmósfera.

El primero de ellos es el denominado **gradiente adiabático del aire seco (GAS)**, que se representa por γ_d , y es un valor prácticamente constante y equivale a $1^\circ\text{C}/102\text{ m}$ y representa el enfriamiento de una burbuja al ascender una altura de 102m.

Pero ocurre que el descenso en la práctica suele ser menor de $1^\circ\text{C}/102\text{ m}$, debido al contacto del aire y es de $0,65^\circ\text{C}/100\text{ m}$. A esto se le denomina **gradiente térmico vertical de la atmósfera /GTV)**.

Por otro lado se encuentra el estado real de la atmósfera, que se denomina **enfriamiento geométrico**, viene representado por la letra γ_g y varía de un día a otro y de un

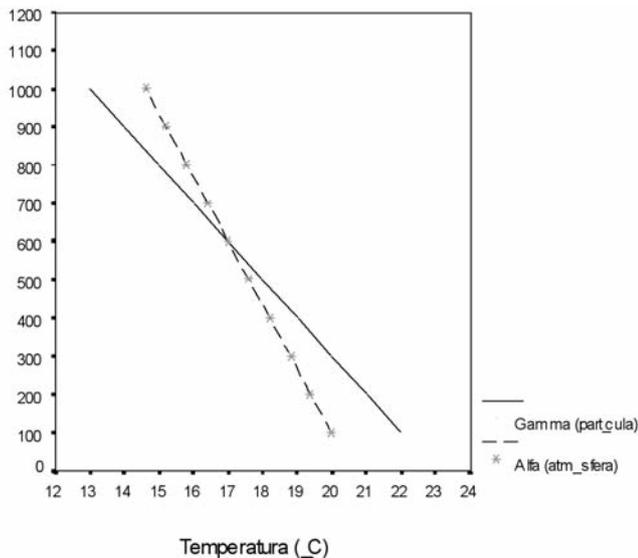


Figura 1. Estabilidad de estratificación.

instante a otro según los valores de γ , hablaremos de las diferentes condiciones de estabilidad de estratificación de la atmósfera.

Estabilidad de estratificación.

Supongamos el estado de la atmósfera de la **figura 1** en la que la línea discontinua corresponde al estado real de la atmósfera y la continua al gradiente adiabático, es decir, al comportamiento de una partícula.

Si a la altura de 600 m, donde ambas gráficas coinciden desplazáramos la partícula hacia arriba ocurriría que la partícula (que se mueve por la línea continua) estaría más fría que la atmósfera y, por tanto, tendería a bajar. Al contrario si la desplazamos hacia abajo, se encontraría más caliente que la atmósfera y tendería a subir. Este caso es el que **la atmósfera se enfría menos de 1°C/102**

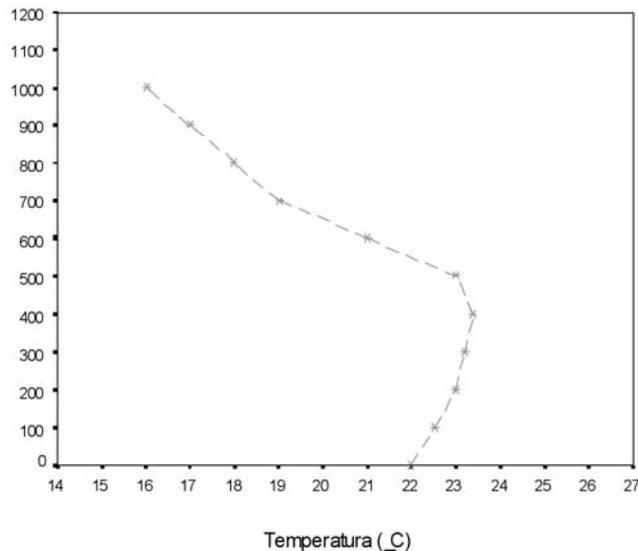


Figura 3. Perfil de la atmósfera a las 06:00h, con inversión en superficie.

m es lo que se denomina estabilidad de estratificación. Cuando existe estabilidad se dificultan los movimientos verticales atmosféricos. Si en vez de enfriarse la atmósfera menos de 1°C/102 m si no que se calienta con la altura, lo que se denomina inversión térmica en superficies, existe una gran estabilidad y prácticamente los movimientos verticales son inexistentes.

Inestabilidad de estratificación.

Consideremos el caso de la **figura 2**, que corresponde a un enfriamiento de la atmósfera superior a 1°C/102m.

Si a la altura de 600 m, donde ambas gráficas coinciden desplazáramos la partícula hacia arriba ocurriría que la partícula (que se mueve por la línea continua) está más caliente que la atmósfera y, por tanto, tendería a seguir subiendo. Al contrario si la desplazamos hacia abajo,

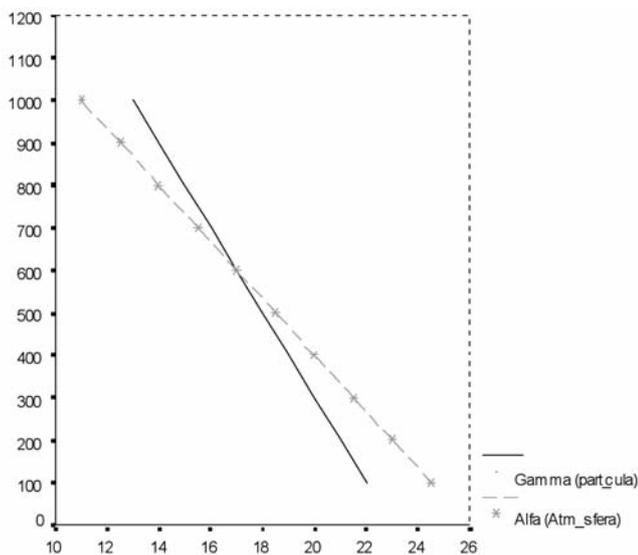


Figura 2. Inestabilidad de estratificación.

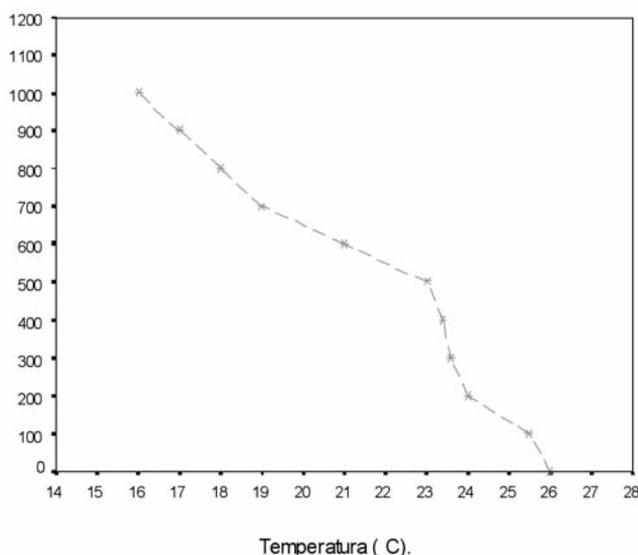


Figura 4. Perfil de la atmósfera sin inversión a las 14:00 h.

se encontraría más fría que la atmósfera y tendería a bajar. Este caso en el que **la atmósfera se enfría más de 1°C/102 m es lo que se denomina inestabilidad de estratificación**. Cuando existe inestabilidad los movimientos verticales atmosféricos se ven favorecidos y, por tanto, la dispersión de sustancias contaminantes.

Atmósfera neutra.

Es el caso en el que el enfriamiento de la atmósfera coincide con el gradiente adiabático.

Rotura de inversiones en superficie.

Evidentemente, el estado de la atmósfera puede variar a lo largo del día y según estratos. Es decir, puede ocurrir que a primeras horas de la mañana se produzca inversión y que a medio día ésta se rompa, como ocurre en las **figuras 3 y 4**

Desde el punto de vista de la difusión de contaminantes, mientras permanece la inversión en superficie, las sustancias contaminantes quedan atrapadas en las capas bajas de la atmósfera y no es hasta cuando se rompe la inversión, en las horas centrales del día, cuando estas sustancias se difunden y los niveles de inmisión que se alcanzan junto al suelo disminuyen de forma drástica.

Comportamiento de la atmósfera a escala sinóptica. Borrascas y anticiclones.

Como se ha citado anteriormente la atmósfera está constituida por gases y, por tanto, ejercen una presión sobre la superficie terrestre, esta presión en condiciones normales y al nivel del mar suele ser de 1013 mb. A las zonas donde la presión es superior a los 1013 mb se les denomina zonas de **alta presión o anticiclones** y las inferiores a 1013 mb se denominan zonas de **baja presión o borrascas**.

En los anticiclones, como son zonas de mayor presión que el ambiente que les rodea el aire tiende a salir de ellos a nivel del suelo. Como no puede haber vacíos ni

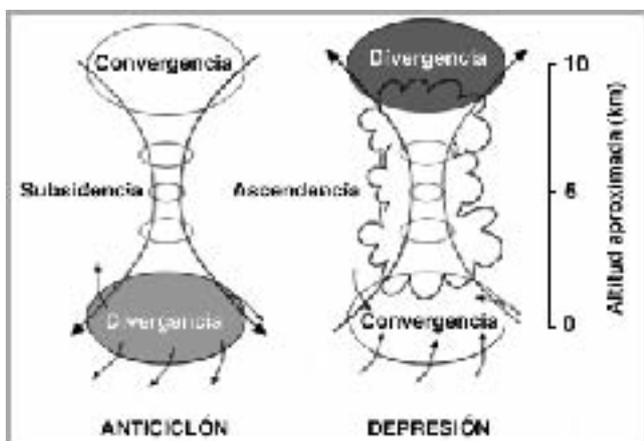


Figura 5. Estructura de una borrasca y de un anticiclón.

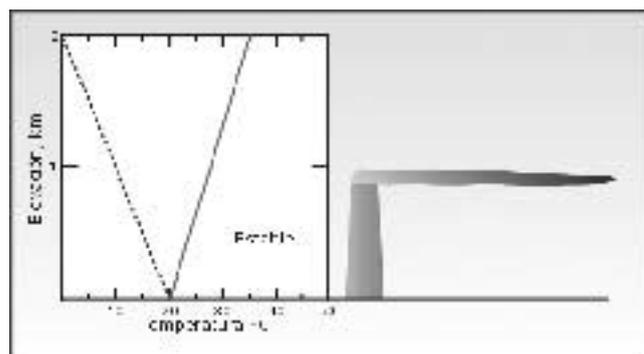


Figura 6. Evolución de un penacho en condiciones de estabilidad atmosférica.

acumulación de materia, al salir aire de los anticiclones este procede de las capas más altas, es decir, en un **anticiclón** la tendencia es a la existencia de **movimientos descendentes** del aire de las capas superiores. Por tanto, desde el punto de vista de la contaminación atmosférica, en condiciones anticiclónicas suelen producirse acumulación de sustancias contaminantes. Por el contrario, en las borrascas al haber menos presión que en los alrededores el aire tiende a entrar, como no puede acumularse, este asciende. Es por eso que las situaciones de **borrasca** predominan los **movimientos ascendentes** de las masas de aire y son situaciones en las que se favorecen la dispersión de contaminantes hacia las capas altas de la atmósfera. En la **figura 5** se muestra este hecho.

Comportamiento de penachos en diferentes condiciones atmosféricas.

Como se ha citado anteriormente, las condiciones de estabilidad atmosférica se caracterizan por la práctica inexistencia de movimientos verticales. En estas condiciones un penacho que se emita desde una chimenea se comportará tal y como aparece en la figura 6. Es decir el penacho se irá abriendo lentamente y tocará el suelo a gran distancia desde la base de la chimenea. Esta distancia, dependiendo de las condiciones geométricas de la chimenea (altura, sección) y de la temperatura y velocidad de salida de los gases, puede llegar a ser de varias decenas de kilómetros. Las concentraciones de sustancias contaminantes que se registran cuando el penacho toca el suelo, por tanto, suelen ser muy bajas.

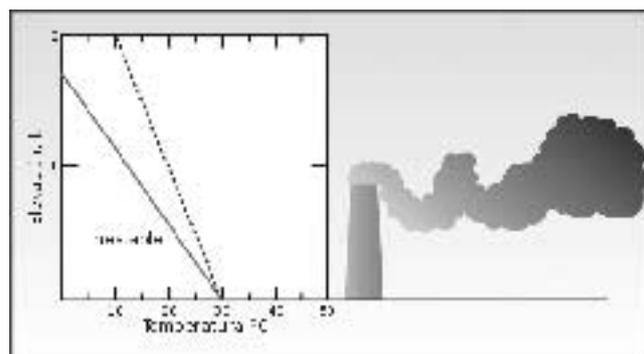


Figura 7. Evolución de un penacho en condiciones de estabilidad atmosférica.

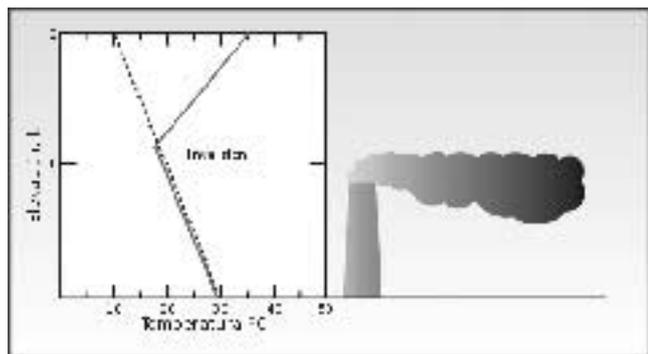


Figura 8. Evolución de un penacho en condiciones de inversión térmica cuando la chimenea se encuentra por debajo de la inversión.

En condiciones de inestabilidad atmosférica, se desarrolla cierto tipo de turbulencia que hace que el penacho se comporte de una forma totalmente diferente al citado anteriormente como puede verse en la figura 7. En este caso el penacho suele tocar el suelo a muy poca distancia de la base de la chimenea y, por tanto, las concentraciones que se alcanzan en estas condiciones suelen ser bastante elevadas.

En los casos en los que existe inversión térmica en superficie, es de gran importancia que la altura de la inversión se encuentre por encima o por debajo de la altura de la chimenea. En el caso en el que la chimenea esté por debajo de la inversión, al actuar ésta como una auténtica "tapadera" impedirá que el penacho se eleve y tocará el suelo cerca de la base registrándose concentraciones elevadas de contaminante como puede verse en la figura 8.

En el caso en el que la inversión esté por debajo de la altura de la chimenea el penacho ascenderá y la inversión en superficie hará que éste no toque el suelo como puede observarse en la figura 9.

Brisas de mar y de valle.

Las brisas de mar vienen determinadas por el diferente calor específico que presentan la tierra y el mar. El calor específico del agua es más elevado que el de la tierra, es decir, el agua se calienta y enfría menos que el

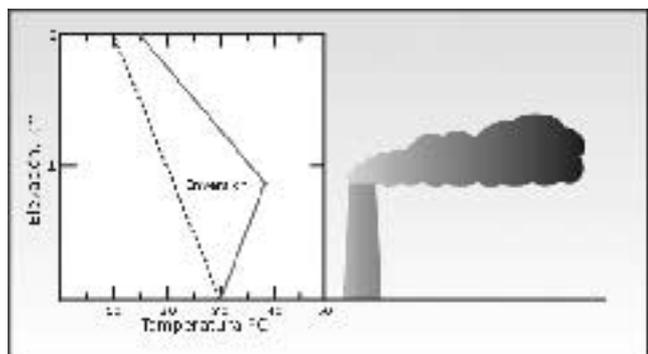


Figura 9. Evolución de un penacho en condiciones de inversión térmica cuando la chimenea se encuentra por encima de la inversión.



Figura 10. Dirección de la brisa durante el día.

suelo. Durante el día, cuando el calentamiento solar es intenso, la tierra se calienta más que el mar, por lo tanto las corrientes convectivas se darán en la tierra, es decir el aire caliente ascenderá en la tierra. Como no puede haber vacíos de materia, este aire que asciende será reemplazado, en las capas bajas, por el que venga del mar. Por tanto, y en ausencia de vientos dominantes, durante el día la brisa, a nivel del suelo, se dirigirá desde el mar hacia la tierra, como puede observarse en la figura 10. Desde el punto de vista de la difusión de sustancias contaminantes este tipo de brisas hará que los contaminantes se dispersen hacia el interior de la costa.

Durante la noche el mar, al tener mayor calor específico que la tierra, se enfriará menos que ésta, las corrientes ascendentes se darán en el mar, y la brisa soplará, en las capas bajas, desde la tierra hacia el mar, como puede apreciarse en la figura 11.

Un fundamento similar, pero basado en que el aire frío, más denso, desciende y el caliente, menos denso, asciende es el fundamento de las brisas de valle. Durante la noche el aire frío de las zonas más altas de la montaña baja por el valle constituyendo lo que se llama drenaje o viento catabático, como se puede observar en la figura 12. Por tanto, en ausencia de vientos dominantes, durante la noche predominan los vientos de cima a valle. Durante el día el proceso se invierte, soplando entonces de valle a cima, la que se denominan vientos anabáticos, tal y como se aprecia en la figura 13.



Figura 11. Dirección de la brisa durante la noche.



Figura 12. Brisas de valle durante la noche. El viento desciende por la ladera.



Figura 13. Brisas de valle durante el día. El viento asciende por la ladera.

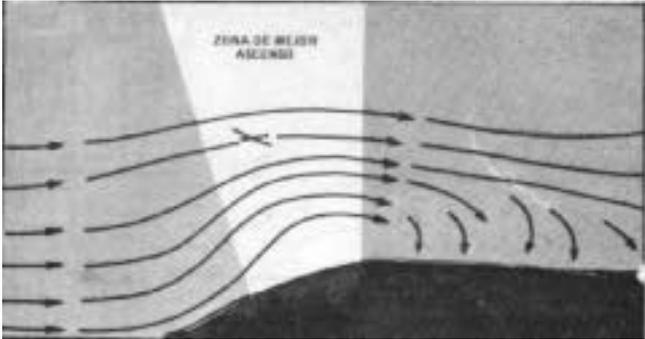


Figura 14. Formación de corrientes ascendentes a barlovento de la montaña y de vórtices o remolinos a sotavento.

Remolinos a sotavento de un obstáculo.

Cuando un flujo de aire se encuentra con un obstáculo en la parte de éste que se encuentra expuesta al viento (barlovento), se forman corrientes ascendentes que, en el caso de sustancias contaminantes presentes en la atmósfera tienden a difundirse. Por el contrario, en la parte del obstáculo resguardada del viento (sotavento), tiene lugar la formación de remolinos o vórtices que harían que las sustancias contaminantes no se dispersasen y que una y otra vez fueran de las capas más bajas a las más altas para volver a bajar como consecuencia de los remolinos que se forman en este lado del obstáculo. En la figura 14 se muestra esquemáticamente este hecho.

BILIOGRAFÍA:

Díaz J. "Variación espacial y temporal de los parámetros de estabilidad en orografía compleja y ondas de montaña". Tesis Doctoral. UCM. Madrid 2001.
 Hernández E, Díaz J, Cana LC, García A "Analysis of the atmosphere behaviour in the proximities of an orographic obstacle" Non Linear Processes in Geophysics. 1995;2: 30-48.
 Medina M. "Meteorología básica". Alambra 1983.
 Morán F. "Termodinámica de la Atmósfera". Madrid 1948.