

## VIENTO, PRECIPITACIÓN Y CALIDAD DEL AIRE EN EL PUERTO DE VALENCIA

Joaquín GUERRA SIERRA\* y Andrés GUERRA SIERRA\*\*  
\*Profesor de Bioestadística. Universidad Complutense de Madrid  
\*\*Dpto. de Clima Marítimo. Ente Público Puertos del Estado

### RESUMEN

Una de las actividades desarrolladas en el Puerto de Valencia es la carga y descarga de graneles sólidos, pudiendo afectar la emisión de polvo asociada a su entorno, dependiendo de las condiciones de viento y precipitación. Estas variables meteorológicas influyen en los índices de Calidad del Aire en el puerto y permiten introducir criterios ambientales en planificación portuaria de este tipo de trasiegos.

**Palabras Clave:** Sistema de brisas, graneles sólidos, emisión de polvo.

### ABSTRACT

One of the activities developed in the Port of Valencia is the dry bulk loading and unloading, being capable the associated dust emissions of affecting to its surroundings depending on the conditions of wind and rainfall. These meteorological variables have influence on the Air Quality Index in the port of Valencia and allow to introduce environmental criteria in the harbor planning of this type of handlings.

**Key words:** Breezes system, in bulk solids, dust emission

### 1. GRANELES SÓLIDOS EN EL PUERTO DE VALENCIA

Anualmente se trasiegan en la Autoridad Portuaria de Valencia más de 3,8 miles de toneladas de graneles sólidos. El cemento, el clinker, el carbón y distintos cereales y harinas son descargados mediante sistemas cerrados y semicerrados desde las bodegas de los barcos y depositados en tolvas y grandes parvas en las distintas terminales, desde donde son transportados en cintas o camiones a sus destinos. La característica pulverulenta de estos tipos de graneles hace que, independientemente del método empleado para su manipulación, se generen nubes de partículas de diámetros inferiores a 10 $\mu$ m, los cuales deben ser controladas para respetar los límites impuestos

por la legislación. El uso de cucharones herméticos, tolvas apantalladas, cintas transportadoras cerradas, el correcto entoldado de los camiones, etc. minimizarán los efectos contaminantes de la emisión de polvo de estos graneles.

## **2. CRITERIOS MEDIOAMBIENTALES DE PLANIFICACIÓN**

Sin embargo, el efecto del viento sobre las parvas y su acción transportadora sobre las nubes de partículas generadas durante su manipulación debe preverse para desarrollar los trasiegos en condiciones meteorológicas óptimas, tanto por sus posibles efectos generadores de polvo como por las mermas asociadas. Del mismo modo, una estimación de los efectos que las sequías tienen sobre las operaciones de carga y descarga de graneles favorece un correcto enfoque y programación de las medidas de prevención, pues se aumenta notablemente la producción de polvo, disminuyendo la disponibilidad de agua dulce necesaria para el riego de las parvas. Sin embargo, lluvias abundantes, con su efecto “apelmazante” sobre las parvas y de “lavado” tanto atmosférico como de las cintas transportadoras y superficies, y los terrales débiles, en sistemas sin recirculación, que transportarán las plumas de partículas al mar sin elevada merma, conforman condiciones atmosféricas idóneas para el desarrollo de estas operaciones.

Así, desde la perspectiva de los índices de calidad del aire en el puerto y sus alrededores e independiente de otros criterios de explotación o planificación, el desarrollo de las tareas de carga-descarga de graneles sólidos pulverulentos debería tener lugar en aquellas épocas en que sean frecuentes precipitaciones de intensidad media o vientos débiles de componente oeste consiguiendo de esta forma minimizar asimismo las pérdidas de producto por la emisión de polvo y la contaminación cruzada de productos incompatibles, debiendo evitar, por el contrario, condiciones meteorológicas de sequía asociadas con levantes.

## **3. DISTRIBUCIONES SINÓPTICAS DE RIESGO**

Se consideran escenarios meteorológicos de riesgo medioambiental aquellos que impiden la dispersión de los contaminantes atmosféricos en un volumen de aire lo suficientemente grande como para que sus efectos sean despreciables, o con vientos que “arrastren” al contaminante a zonas sensibles, con disminución del índice de calidad del aire. Aquellas situaciones que inhiben los transportes verticales turbulentos de las plumas de contaminantes, con atmósferas estratificadas y la presencia de Inversiones están asociadas, en áreas industriales y urbanas, a episodios de elevada contaminación atmosférica. Entre las causas de estratificación de la atmósfera, con posible incidencia en el puerto de Valencia, se encuentran las siguientes:

- Advección diferencial. Sustitución del aire en altura por aire más cálido, estabilizando la atmósfera. Este fenómeno ocurre en áreas costeras y núcleos urbanos, condiciones ambas que se dan en el puerto de Valencia.
- Calentamiento o enfriamiento superficial. Tanto por advección de masa de aire como por enfriamiento o calentamiento radiativo.

·Subsidencias. Al bajar en altura una masa de aire, la diferencia en la compresión adiabática entre la parte superior y la inferior produce un mayor calentamiento en altura que aumenta la estabilidad. Esta situación ocurre en anticiclones, núcleos urbanos y sistemas de brisas marinas, coincidentes también en el entorno del puerto.

Estos episodios suelen estar asociados, como se ha dicho, a situaciones anticiclónicas, con cielos despejados, hallándose asimismo inversiones radiativas que atrapan aun más las partículas en suspensión. Siguiendo la clasificación de Font Tullot (FONT, 1984) las distribuciones sinópticas que afectarían a la ciudad y al puerto de Valencia produciendo las condiciones descritas, son las siguientes:

1. Anticiclón Atlántico-Mediterráneo. Centrado al Sudoeste de las Azores, se extiende hasta el Mediterráneo occidental. Si hay predominio de calmas, dominarán las brisas en las costas de Valencia, arrastrando el Virazón las partículas en suspensión hacia la ciudad. Tienen su máxima frecuencia en Invierno y Primavera.
2. Anticiclón Peninsular. Centrado sobre la Península, el anticiclón subtropical se puede mantener estacionario hasta 30 días, permitiendo elevadas concentraciones de contaminantes y partículas en áreas urbanas e industriales, con desarrollo de brisas en el área de Valencia. Frecuente en Enero y Febrero.
3. Anticiclón de las Azores y Depresión Térmica Peninsular. Si la baja térmica se sitúa sobre la parte suroccidental de la península y la cuña anticiclónica se introduce sobre Francia, la distribución de presiones permitirá la instalación de vientos de levante en el litoral valenciano. Este tipo de situación es muy persistente y se presentan desde Mayo a Septiembre, en el periodo más conflictivo desde el punto de vista de la contaminación atmosférica procedente del puerto, como se verá más adelante.
4. Anticiclón Atlántico Europeo. Distribución similar a la anterior, con un área de altas presiones sobre Europa central y una baja en la influencia de las islas Canarias. Se presenta normalmente en Invierno, con viento de componente Sur o Sudeste y tiempo seco.
5. Altas Presiones sobre el Atlántico y Europa. Esta situación suele durar una semana, entre los meses de Mayo y Octubre, siendo especialmente frecuentes en Julio y Agosto. Produce atmósferas muy estables, permitiendo el desarrollo de sistemas de brisas, lo que facilita el transporte de contaminantes desde el litoral y su recirculación.
6. Vaguada Ibero-Africana. Se extiende sobre el Atlántico y Europa un anticiclón y se suele observar entre los meses de noviembre y marzo y se pueden presentar virazones no muy potentes en la costa valenciana.
7. Pantanos Barométricos. Distribuciones que permiten la instalación y desarrollo de los sistemas de Brisas

Si bien la determinación de las causas sinópticas de los levantes que pueden arrastrar los graneles manipulados en el puerto permiten prever los episodios que pueden modificar los índices de calidad del aire, para una correcta planificación de los trasiegos y, por tanto, de su incidencia en el índice es necesario la utilización de estadísticas descriptivas mensuales o trimestrales que revelen la evolución promediada de los vientos.

#### 4. REGISTROS METEOROLÓGICOS

El estudio se ha efectuado con los datos recogidos desde Enero de 1965 hasta marzo de 1999 en las estaciones del Instituto Nacional de Meteorología situadas en el Aeropuerto de Manises (8414) y en el Vivero Municipal (8416), así como los registros de la estación meteorológica instalada en el edificio del Reloj del puerto de Valencia. Se han determinado las Rosas de Viento anuales y mensuales para todo el periodo, considerando los registros de las 00, 07, 13 y 18 horas y también discriminando estos registros en diurnos y nocturnos. Se han calculado las persistencias medias asociadas a las velocidades del viento, estimándose de esta forma la duración de los periodos de calmas que no implicarían arrastre de partículas y las situaciones de vientos elevados que impedirían un correcto riego de las parvas.

Respecto a la precipitación, se han determinado a partir de los datos registrados en ambas estaciones y en el mismo intervalo, los meses más lluviosos y la incidencia de los periodos de sequía (GUERRA, 1996) en las precipitaciones mínimas.

##### 4.1. Rosas de Viento

El empleo de las Rosas de Viento es útil para estimar los regímenes de viento direccional en el área de influencia de los puertos. Su empleo es habitual en los atlas de Clima Marítimo para determinar la influencia de los vientos en las maniobras efectuadas en el interior de los puertos y su incidencia en la operatividad. En la Rosa de Vientos que se presenta a continuación<sup>1</sup> (Fig. 1) se muestran las observaciones de viento obtenidas desde buques en ruta por el mar Mediterráneo y situados dentro de la cuadrícula 37.8°N-40.5°N, 1°W-2°E, desde 1885 a 1985. Estas observaciones “filtran” parcialmente, según la distancia a la costa del buque, la influencia de los sistemas de brisas costeros y representan los vientos de gradiente modificados por la influencia del estado de la mar (rugosidad del oleaje). Si se comparan estos registros con los obtenidos en las estaciones meteorológicas del aeropuerto de Manises (Fig. 2) o del edificio del reloj (Fig. 3), se reconoce la influencia que el

contraste térmico tierra-mar tiene en el régimen de vientos.

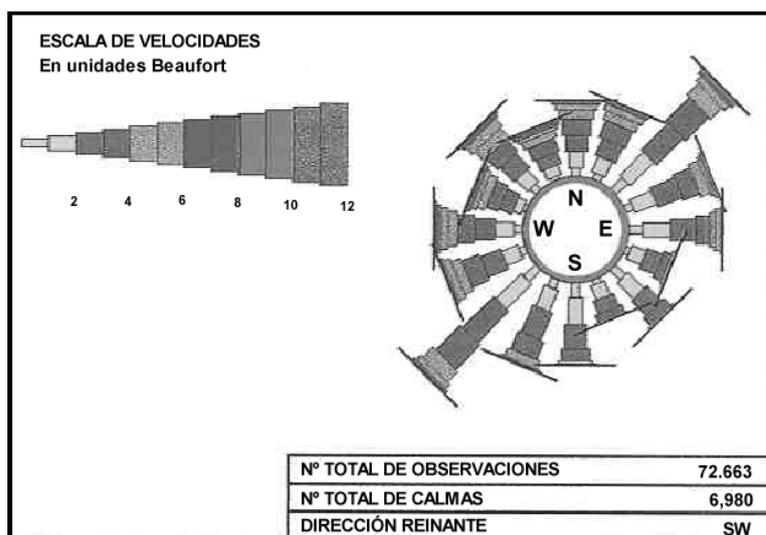


Figura 1. Rosa de Vientos en alta mar.

En las 12 rosas correspondientes a los registros mensuales de la estación meteorológica del aeropuerto de Manises, se observan dos situaciones claramente diferenciadas entre los meses de Noviembre, Diciembre, Enero y Febrero, con terrales como vientos predominantes, y los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto, con virazones como vientos predominantes. El análisis estacional de los registros de la estación meteorológica del puerto de Valencia presenta asimismo levantes y ponientes (estos prácticamente inexistentes en Verano) como vientos más frecuentes, si bien de esta estación se han analizado apenas 2 años, por lo que su información, en concreto la marcada direccionalidad del viento en Verano (meses de Junio, Julio y Agosto) sólo confirma parcialmente la información obtenida de las otras estaciones.

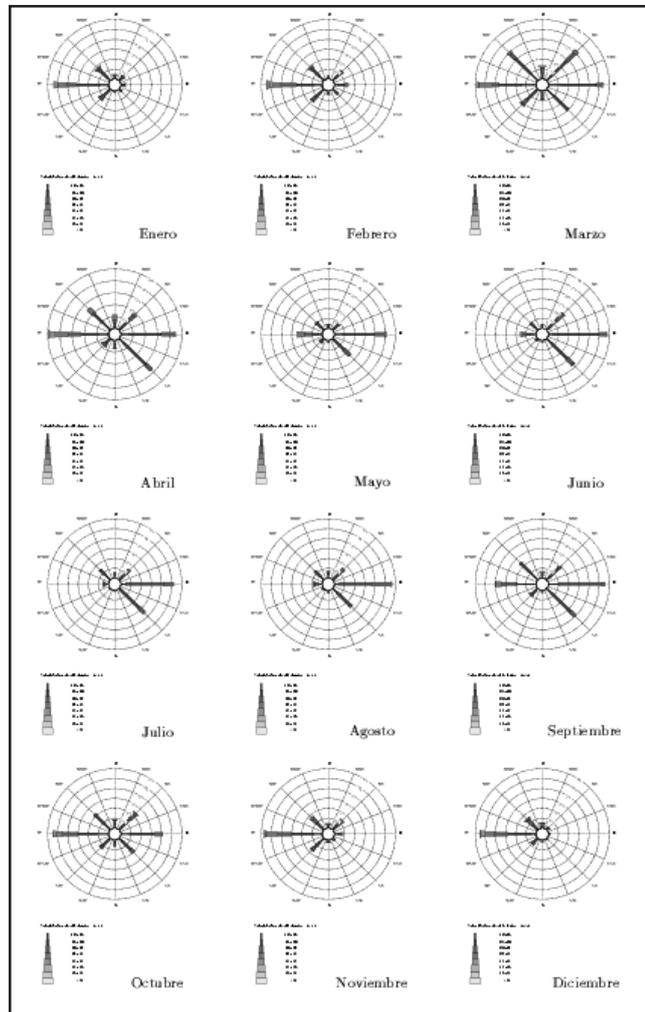


Figura 2. Rosas de Viento Mensuales. Periodo 1965-1999. Estación Meteorológica 8414.

Desde la perspectiva de la planificación de los trasiegos de sustancias pulverulentas, es evidente que, si fuera posible un reparto estacional, sería el Verano (prácticamente desde Mayo hasta Septiembre) la época menos propicia para estas operaciones, al coincidir vientos de levante con prolongadas ausencias de precipitación. Es de resaltar que, en estos meses, son levantes puros más del 30% de los registros y de componente Este más del 60% de los registros. No obstante, si se discriminan los registros entre diurnos (medidos a las 13 y a las 18 horas) con influencia del calentamiento solar, y nocturnos (registros de las 0 y 7 horas), se comprueba que aprovechar las horas nocturnas o las primeras de la madrugada para los trasiegos podría disminuir la incidencia de la contaminación atmosférica en el puerto.

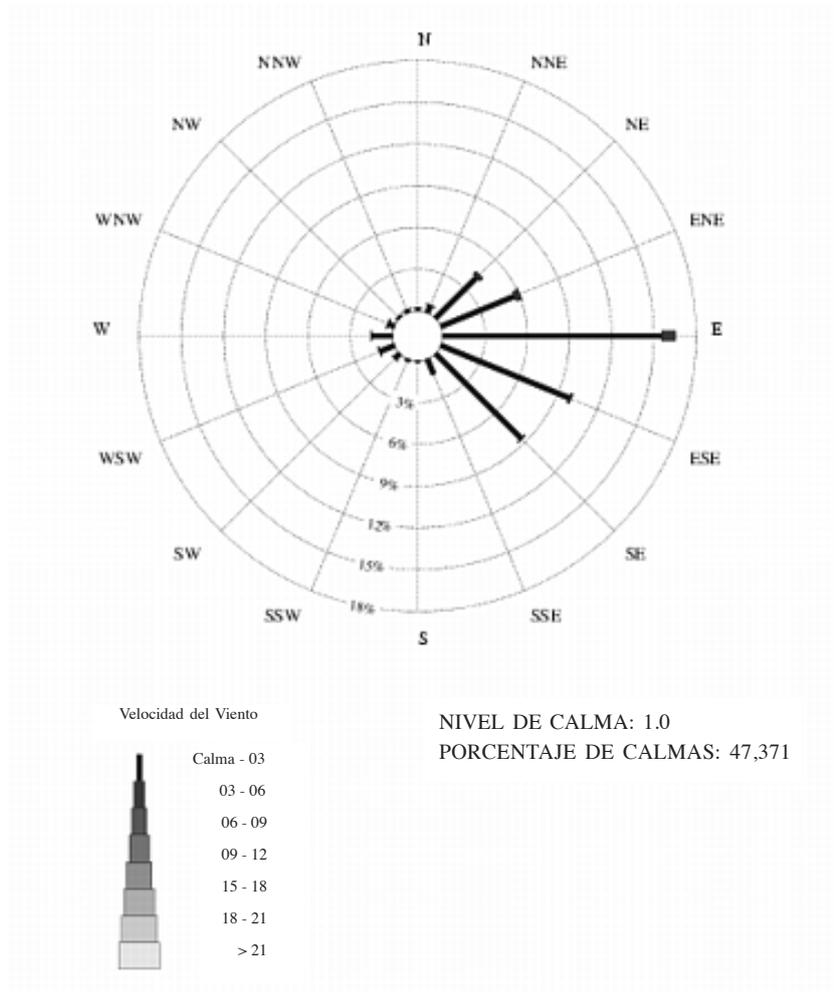
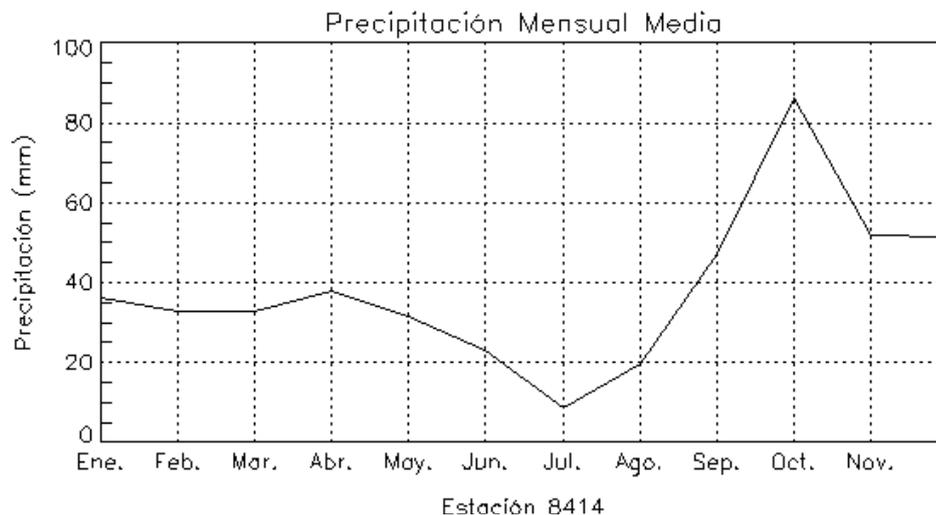


Figura 3. Rosa de Viento de Verano. Estación del puerto.

Los registros de la estación de Vivero, a causa de su situación dentro de la ciudad, encontrándose los levantes apantallados, no son utilizables para representar la evolución de los sistemas de brisas.

#### 4.2. Análisis de Persistencias

Es en Verano (meses de Junio, Julio y Agosto) cuando se presentan las duraciones medias más largas (hasta 400 horas en la estación de Manises) asociadas con vientos débiles (menos de 3 m/s) en comparación con la persistencia media estimada para todo año para vientos débiles, situada en torno a 120 horas en Manises, con las consecuencias de aumento de concentración de partículas en suspensión al no existir prácticamente advección. En la estación de Vivero no se encuentran dife-



rencias tan marcadas entre meses para las duraciones asociadas a distintos niveles de velocidad del viento, oscilando estas en torno a las 40-50 horas para vientos débiles.

En relación con los vientos más fuertes, con capacidad para impedir que los chorros de agua alcancen las partes más elevadas de las parvas acumuladas, su duración con vientos superiores a los 10 m/s se estima en sólo algunas horas, por lo que su incidencia en la operación es mínima.

Figura 4. Precipitaciones medias mensuales. Estación 8414.

#### 4.3. Precipitaciones Registradas

La evolución de las medias de las precipitaciones mensuales, a partir de los registros de la estación del Aeropuerto de Manises se presenta en la figura (Fig. 4). Es prácticamente igual que la obtenida en la serie 1938-1960 (ROLDÁN, 1985). Los valores mínimos se alcanzan en el mes de Julio, con apenas 9 mm, mientras que en el mes de Octubre se alcanzan más de 86 mm.. Además, en períodos de sequía, como la del año 1981 o la del 1985, no se observaron precipitaciones en el mes de Julio,

por lo que, en situaciones de levante débil y no pudiéndose utilizar agua de mar para el riego de las parvas, es muy difícil que fuera posible el riego con agua dulce para disminuir la emisión de polvo. En estas circunstancias es muy recomendable el trasiego nocturno. El estudio de sequía efectuado no presentó ningún mes donde su presencia fuera más frecuente, pero sí periodos largos, de más de un año (1978-79, 1985-86, 1995-96) durante los cuales las precipitaciones disminuyen notablemente en media y su presencia es corta e inusualmente intensa, situaciones ambas adversas para los trasiegos en el puerto. La introducción de predicciones estadísticas o numéricas de estas situaciones permitirá disponer soluciones alternativas a las técnicas habituales, y dimensionar adecuadamente las necesidades de agua dulce para el riego de las parvas.

## 5. CONCLUSIONES

De los estudios efectuados sobre el comportamiento climático del viento y la precipitación, y su incidencia sobre los trasiegos de graneles sólidos en el puerto de Valencia, se concluye lo siguiente:

- Episodios meteorológicos con vientos de levante y ausencia de precipitación persistentes son desaconsejables para los trasiegos de sustancias pulverulentas, si estos se efectúan sin aspiración o apantallamientos en descargas abiertas.
- Es recomendable la utilización de estimaciones estadísticas de vientos dominantes y precipitación como criterio adicional de planificación de trasiegos.
- El desarrollo de los Sistemas de Brisas recomienda asimismo el desarrollo de este tipo de trasiegos durante las últimas o primeras horas del día, con terral.
- Los datos analizados de ausencia de precipitación deben ser considerados para el correcto dimensionamiento de las infraestructuras de almacenamiento de agua dulce, destinada al riego de las parvas.
- Se deberán articular procedimientos que permitan el equilibrio entre estas consideraciones y las necesidades de transacciones comerciales como consecuencia de las demandas del mercado y de la necesidad de abastecimiento al tejido productivo en un tiempo determinado, dentro de un Sistema de Gestión Medioambiental actualmente en implantación en el puerto de Valencia a través del proyecto ECOPORT.

<sup>1</sup> Recomendaciones de Obra Marítima 0.4-95. Acciones Climáticas II: Viento, Madrid, Puertos del Estado, 249 pp.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FONT TULLOT, I. (1984): *Climatología de España y Portugal*, Madrid, Instituto Nacional de Meteorología, 296 pp.
- GUERRA, A. (1996): *Plan de Apoyo Meteorológica para Puertos*, Madrid, CEDEX, 61 pp.
- GUERRA, J. y ALMARZA, C. (1996): "Análisis del último período seco en Madrid por medio de un nuevo índice estadístico" in MARZOL, M. V., DORTA, P. y VALLADARES, P. (EDS): *Clima y agua: la gestión de un recurso climático*. La Laguna, 291-298.
- ROLDÁN FERNÁNDEZ, A. (1985): *Notas para una Climatología de Valencia*, Madrid, Instituto Nacional de Meteorología, 45 pp.

