

Pronóstico de trayectoria del penacho de contaminantes generado por el incendio en la Base de Supertanqueros de Matanzas



<https://cu-id.com/2377/v28n4e06>

Trajectory forecast of the pollutants plume generated by the fire at the Matanzas Supertanker Base

Yanssel Gómez Zamora¹, Carlos Manuel González Ramírez²

¹Oficina Meteorológica Zona Especial de Desarrollo Mariel, Artemisa, Cuba.

²Centro de Pronóstico, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.

RESUMEN: Para determinar la trayectoria que debía seguir el penacho de contaminantes del accidente en la base de supertanqueros de la ciudad de Matanzas, se utilizó el modelo *Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory* (HYSPLIT), el cual permite construir las trayectorias que siguen las partículas dependiendo de la meteorología, la altura que se quiera simular esa trayectoria y las coordenadas iniciales de la misma. Esta modelación se calculó para los seis primeros días que se estuvieron emitiendo contaminantes a la atmósfera producto a este accidente y a pesar de que estos contaminantes sufren diferentes transformaciones a medida que se desplazan por la atmósfera, conocer el lugar por donde este transitando esta masa de aire es una herramienta muy útil para los tomadores de decisiones en los casos que se deba actuar de manera inmediata. Los datos meteorológicos de entrada escogidos fueron del GFS porque ha mostrado las mejores salidas con lo observado respecto a las demás opciones meteorológicas de entrada. La altura escogida para la modelación tuvo en cuenta las observaciones visuales de uno de los autores y el jefe de la estación meteorológica de Bainoa, que comparaban la altura del penacho con la base de las nubes medias y bajas.

Palabras claves: Modelo HYSPLIT, trayectorias, contaminantes atmosféricos.

ABSTRACT: The Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT) model was used to determine the trajectory of the pollutants from the accident at the supertanker base in the city of Matanzas. This model builds the trajectories that the particles follow depending on the meteorology, the height that you want to simulate that trajectory and the initial coordinates of it. The modeling was calculated for the first six days that pollutants were emitted into the atmosphere as a result of this accident, although these pollutants suffer different transformations as they move through the atmosphere, know the place and the movement of this air mass it's a very important tool for decision makers in cases where is required an instantaneous action. The input meteorological data selected was from the GFS because it has shown the best outputs respect to the other input meteorological options. The height chosen for the modeling it was selected according to the visual observations of one of the authors and the director of the Bainoa meteorological station, who compared the height of the plume with the base of the medium and low clouds.

Keywords: HYSPLIT model, trajectories, air pollutants..

1. INTRODUCCIÓN

En la tarde-noche del 5 de agosto de 2022 una descarga eléctrica afecta el tanque número 52 de la Empresa Comercializadora de Combustible de Matanzas, conocido comúnmente como Base de Supertanqueros de Matanzas e inmediatamente se incendia el combustible de ese depósito, liberando de esta forma gases contaminantes a la atmósfera. El penacho de humo se extendió cientos de kilómetros al oeste de la fuente emisora, pudiéndose apreciar en las provincias de Mayabeque, La Habana y el extremo occidental de la provincia de Artemisa, lo que generó preocupación en los pobladores de estas provincias y una demanda en conocer el grado de exposición a esta nube de humo.

El Centro de Contaminación y Química Atmosférica del Instituto de Meteorología ha realizado múltiples trabajos relacionados con la modelación de la contaminación atmosférica en Cuba, con el propósito de conocer el transporte, dispersión y transformación de contaminantes, sus fuentes y zonas de procedencia. Como una contribución a estos estudios se aplica el modelo Híbrido Lagrangeano de Trayectoria Integrada de Partícula Simple (*HYSPLIT*, siglas en inglés), de la Administración Nacional Océano-Atmósfera (*NOAA*, siglas en inglés), que cuenta con un respaldo científico reconocido por especialistas e instituciones de varios países que se dedican a la investigación del transporte y dispersión de contaminantes en la atmósfera (Martínez, 2014).

*Autor para correspondencia: Yanssel Gómez Zamora. E-mail: yagoz1987@gmail.com

Recibido: 15/08/2022

Aceptado: 30/09/2022

A pesar de que los contaminantes que se emiten a la atmósfera sufre diferentes transformaciones y dependen de múltiples factores para su dispersión, como la estabilidad atmosférica y altura de la capa de mezcla, la temperatura, el tipo de combustible, entre otros (WMO, 1996), era necesario dar una respuesta en el menor tiempo posible y de manera certera a los tomadores de decisiones de cuál sería el trayecto a seguir por el penacho de humo. De esta forma se decide comenzar a modelar la trayectoria a partir del modelo HYSPLIT por la inmediatez de sus resultados y su probado uso.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Lugar del Incendio

Como se dijo anteriormente la descarga eléctrica afectó el tanque número 52 de la base de supertanqueros de Matanzas, ubicado en los 23°04'28" de latitud norte y 81° 32' 15" de longitud oeste, en la figura 1 aparece señalado el primer tanque incendiado. En los días posteriores al 5 de agosto de 2022, continuaron incendiándose los siguientes tanques que se encontraban a la izquierda del número 52 por lo que el penacho de contaminantes continuó de manera intensa hasta el 11 de agosto de 2022 que fue cuando los equipos y el personal de extinción de incendio pudieron controlar el mismo.

2.2 Modelo HYSPLIT

El modelo "Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory", HYSPLIT desarrollado por la NOAA's Air Resources Laboratory (ARL) (Draxler and Hess, 1998) presenta características importantes, dentro de las que se encuentra la dispersión de una pluma de emisión discreta (puff) y partícula calculada a partir de la varianza en las velocidades, concentra-

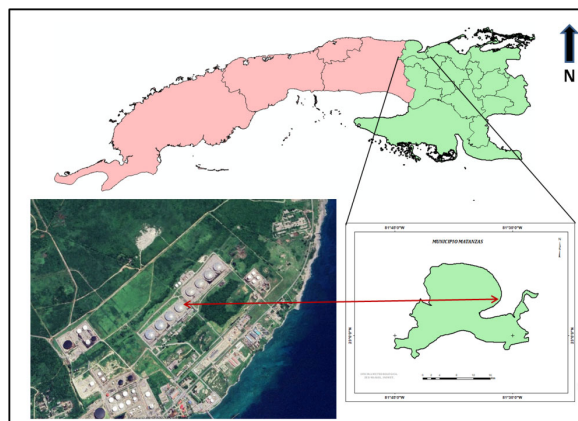


Figura 1. Ubicación geográfica de la Empresa Comercializadora de Combustible de Matanzas.

ciones calculadas con partículas en celda o distribuciones *Top-Hat/Gaussiana* - Meteorología y/o mallas de concentración simultaneas y múltiples. Su método de cálculo se basa en la aproximación euleriana y lagrangiana (figura 2).

Bajo la aproximación euleriana, la concentración en cada celda de malla se calcula integrando el flujo de contaminantes correspondiente a cada interfaz de cada celda proveniente de la dispersión y advección de dicho contaminante. Cuando se utiliza la metodología lagrangiana, las concentraciones se computan sumando la contribución de cada puff de contaminantes que se transporta a través de la malla siguiendo su trayectoria. Un modelo lagrangiano puede simular la dispersión de contaminantes basándose en el crecimiento de puffs de contaminantes mediante la utilización de los segundos momentos o modelando explícitamente la evolución de un grupo de partículas.

HYSPLIT puede simular una distribución de contaminantes a partir de una partícula simple o puff, o siguiendo el movimiento dispersivo de un gran número de partículas. (Draxler, 2004)

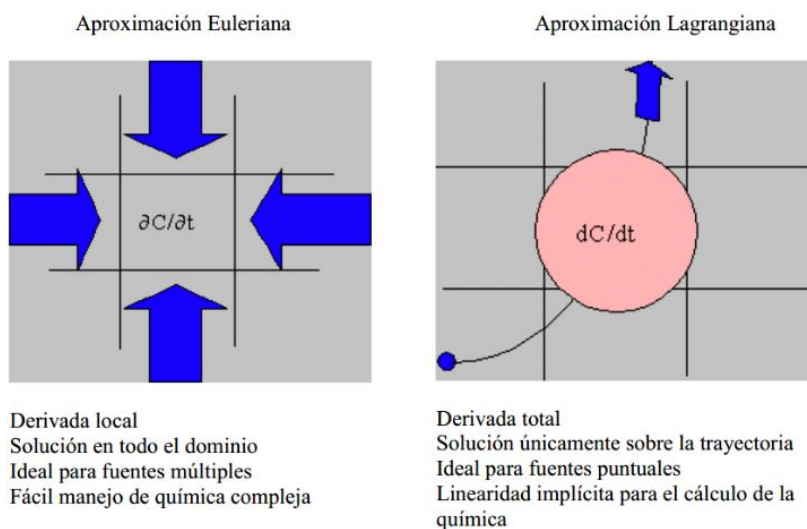


Figura 2. Métodos de cálculo del modelo HYSPLIT.

El modelo cuenta con las herramientas capaces de dar seguimiento a:

- Contaminación procedente de varias fuentes de emisión (tanto móviles como estacionarias).
- Emisiones de materiales radioactivos.
- Incendios forestales.
- Intrusiones de polvo sahariano.
- Emisiones de ceniza volcánica.
- Tormentas de arena y polvo.
- Partículas de polen.

Para el caso específico de accidente en la ciudad de Matanzas, se utilizó la versión web de este modelo, que se encuentra libre en internet. Los datos de entrada fueron las coordenadas del sitio, tipo de trayectoria progresiva, con datos meteorológicos de entrada basados en GFS y una altura del penacho que tuvo en cuenta las observaciones visuales de uno de los autores y el jefe de la estación meteorológica de Bainoa, en la provincia Mayabeque, ambos cercanos a la fuente emisora.

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Desde el día 6 y hasta el día 11 se estuvo modelando la trayectoria del penacho de contaminantes y en diferentes horarios del día se estuvo comprobando mediante observaciones visuales, si la trayectoria que seguía la pluma era similar a la descrita por el pronóstico del modelo.

Día 6

El penacho de contaminantes durante la noche del día 5 y la madrugada del 6 de agosto estuvo transitando sobre la costa norte de la región occidental, embebida en un flujo de vientos proveniente del Este y durante las primeras horas de la mañana mantuvo igual dirección. Sin embargo, con el avance del día se incrementa el calentamiento diurno y como conse-

cuencia los procesos convectivos y la inestabilidad, lo que hizo que su altura estimada oscilara entre los 500 a 1000 m, siendo más elevada durante la tarde (figura 3, izquierda), donde se puede distinguir la presencia de cúmulos fractus y con desarrollo medio, que tienen sus bases superiores a los 690 m, (Quirantes, 2017) y el penacho por encima de ellos.

Otra evidencia que se tuvo en cuenta para comprobar la altura del penacho, fue el cambio en su dirección a lo largo del día, y que estuvo respondiendo al sistema local de la brisa marina, que influyó con una componente del viento más hacia el Nordeste durante la tarde, introduciendo más al sur el penacho, como se puede ver en la figura 3 (izquierda). Importante señalar que este sistema de vientos locales, no actúan más allá de 1000 m de altura, donde continúa prevaleciendo el flujo sinóptico, de ahí que es razonable considerar la pluma en la altura ante mencionada.

Con la información antes mencionada se procedió a calcular el pronóstico de trayectoria del penacho para las próximas 12 horas, tomando como altura 1000 m. El resultado de la modelación coincidía con una trayectoria al oeste durante todo el plazo de pronóstico, próxima a la costa norte, cruzando al sur del municipio Santa Cruz del Norte, transitando sobre la capital del país y saliendo al mar en las proximidades de playa Baracoa en el municipio artemiseño de Bauta. Las trayectorias también sugerían un descenso de la pluma hasta los 500 m de altura durante la mañana del día 6 para volver a tomar los 1000 m en la tarde y la noche del propio día (figura 3, derecha).

Día 7

Durante la madrugada y primeras horas de la mañana del día 7 de agosto del 2022, las condiciones fueron similares a las descritas para el día 6, con una mayor dispersión en el penacho, relacionado con una mayor inestabilidad, que generó durante la tarde fuertes tormentas eléctricas hacia el interior de la provincia Mayabeque. De ahí que se estimó una altura cercana a los 500-1000 m, posicionada por debajo de los Altocúmu-

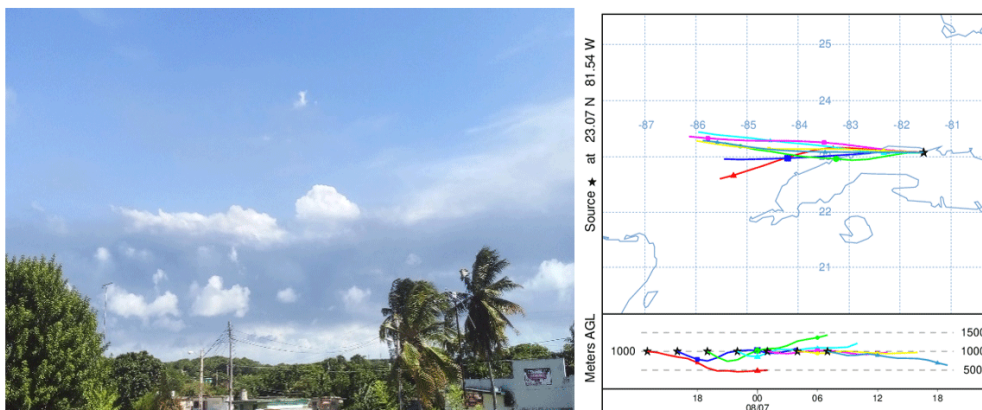


Figura 3. Comparación de la altura del penacho con nubes bajas y medias. 06.08.22 (Derecha). Pronóstico de trayectorias del penacho de contaminantes del accidente en Matanzas. Modelo HYSPLIT 06.08.22 (Izquierda)

los y con cúmulos fractus embebidos como se puede apreciar en la [figura 4 \(izquierda\)](#).

El pronóstico de trayectoria para las próximas 12 horas se fijó a una altura de 500 m sobre el terreno para el 7 de agosto. El resultado de la modelación fue muy similar a las trayectorias del día anterior, la pluma mantenía una trayectoria al oeste durante todo el plazo de pronóstico, pero en esta ocasión saldría al mar sobre la capital del país durante la mañana y en la tarde, durante la noche y madrugada del próximo día volvería a internarse en tierra para salir al mar entre los municipios de Mariel y Bahía Honda. Las trayectorias pronosticaban un ascenso de la pluma hasta los 1500 m de altura durante la tarde del día 7 para volver a descender hasta los 500 m en la noche del propio día y madrugada del siguiente ([figura 4, derecha](#)).

Día 8

Casi al finalizar la noche del día 7 se incendia un nuevo tanque en la base de supertanqueros, lo que genera un aumento en la emisión y velocidad de los gases, repercutiendo ello en la altura que tomó el penacho durante el día 8, con presencia de Pyrocumulonimbus en formación, que en horas de la tarde-noche de ese propio día cerca de la fuente emisora fueron

vista por el radar meteorológico, que mediante un corte vertical se observó que el penacho tenía una altura inferior a los 4000 m, disminuyendo más en altura a medida que se alejaba de la fuente emisora ([figura 5, izquierda](#)).

Tomando en cuenta los factores antes mencionados se consideró como condición inicial para modelo una altura de 3000 m. Las salidas mostraban un consenso a partir de las dos de la tarde del día 8 con salida al mar de la trayectoria en los límites entre La Habana y Mayabeque, sin embargo anterior a esa hora se pronosticaba una trayectoria sobre tierra, entre los municipios de Santa Cruz del Norte y San José de las Lajas, saliendo al mar por la capital del país, pero en todos los casos las alturas serían superiores a los 3000 m, que incluso podrían llegar a los 3500 m durante la madrugada del siguiente día ([figura 6, derecha](#)).

Día 9

Durante todo el día 9 de agosto el comportamiento en trayectoria fue muy similar al descrito para el día 8, sin embargo se observó una disminución en las concentraciones y coloración del penacho, comportamiento que estuvo respondiendo al control de la situación en el área de emisión ([figura 6, izquierda](#)).

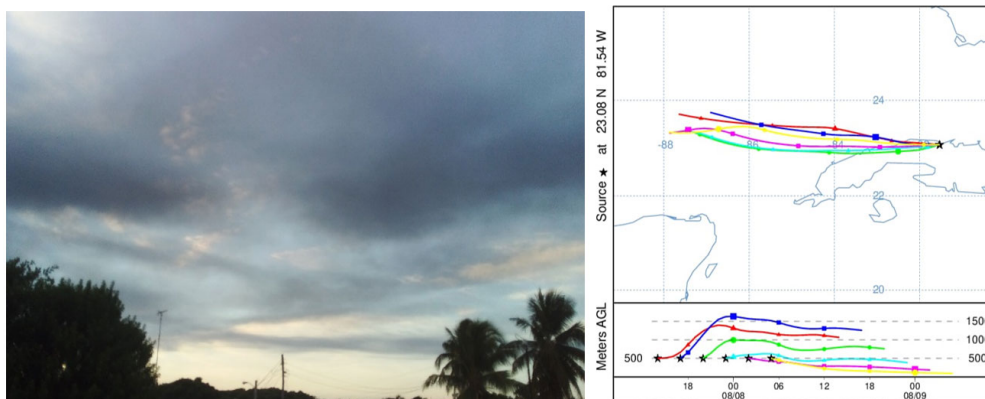


Figura 4. Comparación de la altura del penacho con nubes bajas y medias. 07.08.22 (Izquierda). Pronóstico de trayectorias del penacho de contaminantes del accidente en Matanzas. Modelo HYSPLIT 07.08.22 (Derecha)

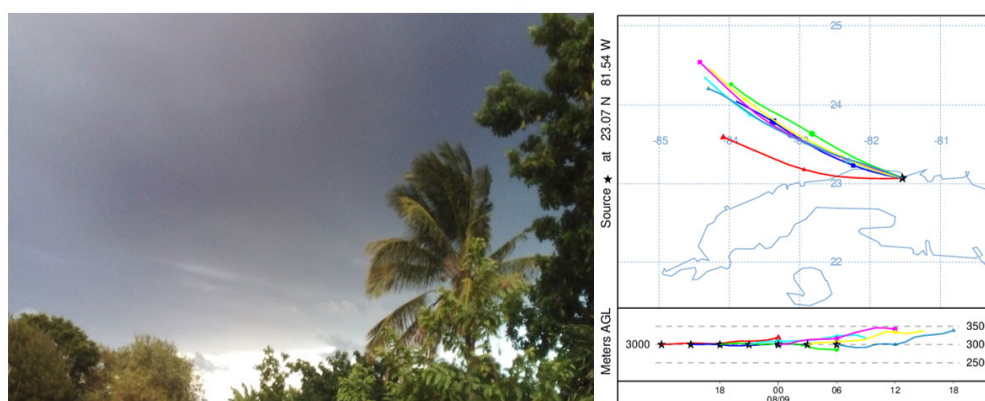


Figura 5. Comparación de la altura del penacho con nubes bajas y medias. 08.08.22 (Izquierda). Pronóstico de trayectorias del penacho de contaminantes del accidente en Matanzas. Modelo HYSPLIT 08.08.22 (Derecha)

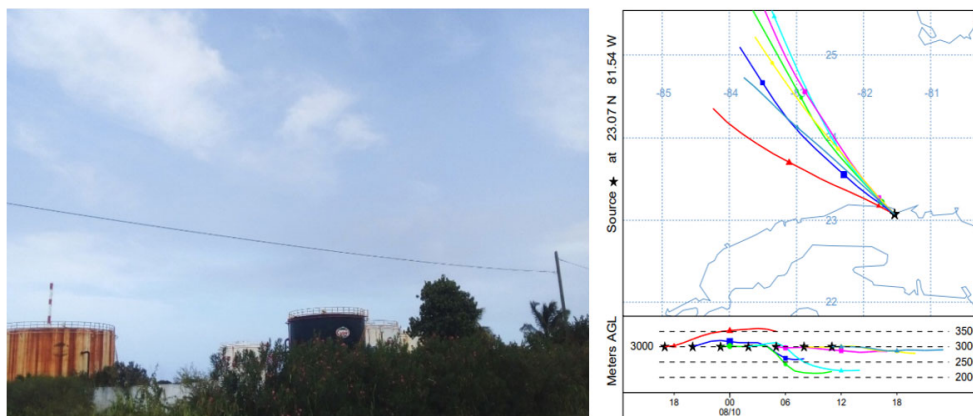


Figura 6. Comparación de la altura del penacho con nubes bajas y medias. 09.08.22 (Izquierda). Pronóstico de trayectorias del penacho de contaminantes del accidente en Matanzas. Modelo HYSPLIT 09.08.22 (Derecha)

Para la tarde y noche del día 9 las corridas del modelo mostraban un consenso en las salidas al mar entre los límites de Mayabeque y Matanzas para los 3000 m (figura 6, derecha), con un descenso en la noche hasta los 2000 m, pero este proceso debía ocurrir en aguas del estrecho de Florida y así se debía mantenerse durante las primeras horas del día 10 (figura 6, derecha).

Día 10

El control de las emisiones en el área del incendio, generó un descenso en las concentraciones que en días anteriores podía ser apreciado a simple vista y permitía estimar la altura del penacho en relación a la altura de las nubes, sin embargo la dispersión de contaminantes persistía, por lo que continuamos con las corridas del modelo de trayectoria. En esta ocasión y según la sugerencia de las salidas del día anterior se fijó una altura de 2000 m (figura 7).

Con los elementos antes mencionados se procedió a calcular el pronóstico de trayectoria del penacho para las próximas 12 horas. El resultado de la modelación coincidía con una trayectoria al noroeste durante las primeras 6 horas del plazo de pronóstico, con salida al mar por el municipio de Santa Cruz del Norte, manteniendo una altura entre 1500 m y 2000 m; durante las siguientes 6 horas de pronóstico las salidas mostraban una trayectoria más al oeste, cruzando sobre La Habana durante la madrugada del día 11, pero de igual manera debía mantener una altura entre 1500 m y 2000 m (figura 7).

Día 11

Para el 11 de agosto de 2022 se apreciaba un mayor control en el área del incendio, no obstante se decidió realizar una última modelación, debido a que el incendio debía extinguirse por completo al finalizar el presente plazo de pronóstico. Bajo estas condiciones se decidió realizar la modelación a 500 m de altura sobre el terreno para las próximas 12 horas.

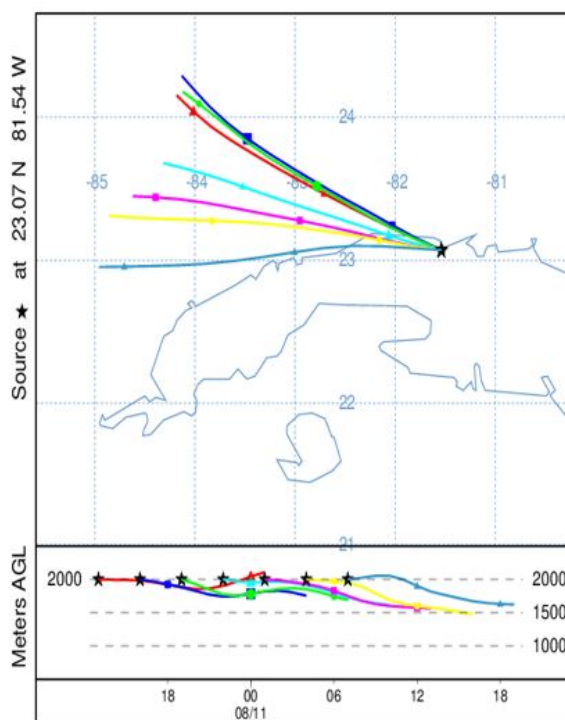


Figura 7. Pronóstico de trayectorias del penacho de contaminantes del accidente en Matanzas. Modelo HYSPLIT 10.08.22

Todas las salidas sugerían una trayectoria hacia el oeste-suroeste desde el área emisora, desplazándose sobre el occidente de Cuba durante todo el plazo de pronóstico, dispersándose entre la superficie y los 1000 m (figura 8).

Sin embargo ya para esa fecha el incendio estaba prácticamente extinguido, por lo que el peligro de exposición a la contaminación en las provincias occidentales era casi nulo.

CONCLUSIONES

La adecuada utilización del modelo HYSPLIT nos ha permitido conocer la trayectoria de los contaminantes generados por el incendio en la base de supertanqueros de Matanzas.

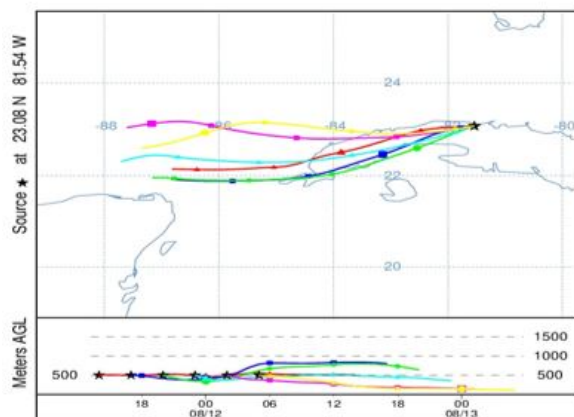


Figura 8. Pronóstico de trayectorias del penacho de contaminantes del accidente en Matanzas. Modelo HYSPLIT 11.08.22

El pronóstico de trayectoria le permitió conocer a las autoridades y los tomadores de decisiones el área bajo exposición del penacho de humo.

La modelación realizada durante los días que se estuvo emitiendo contaminantes a la atmósfera desde la base de supertanqueros en Matanzas, estuvo en correspondencia con las observaciones visuales en el terreno.

Aunque a nivel mundial se ha utilizado el modelo HYSPLIT en determinar las trayectorias o retrotrayectorias de accidentes industriales o naturales, como las erupciones volcánicas o intrusiones saharianas, es la primera vez que el Instituto de Meteorología utiliza

este modelo para dar respuesta a un accidente como este.

RECOMENDACIONES

Utilizar el pronóstico de dispersión y deposición que facilita este modelo en situaciones similares a futuro, para determinar el impacto sobre los ecosistemas expuestos.

REFERENCIAS

- Draxler, R. R., & Hess, G. D. (1997). Description of the HYSPLIT4 modeling system.
- Draxler, R., & ARL, N. T. M. E. (2004). Seminario de capacitación para el uso del modelo HYSPLIT en PC. Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model. National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Martínez, I. (2014). Curso sobre observación y predicción de la calidad del aire', AEMET, España. https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/11186/1/Boletin_julio_2014.pdf
- Quirantes Calvo, J. A. (2017). Nuevo Atlas Internacional de Nubes.
- W.M.O. (1996). Report of the Meeting of Experts on Atmospheric Urban Pollution and the Role of National Meteorological Services'. Geneva. 7-11 October. GAW No. 115. WMO-TD No. 801. 26 pp.

Conflicto de Intereses: Los autores declaran que no existen conflicto de intereses

Contribución de autores: Concepción de la idea: Yanssel Gómez Zamora, Carlos Manuel González Ramírez.

Manejo de los datos: Yanssel Gómez Zamora, Carlos Manuel González Ramírez. **Análisis de los datos:** Yanssel Gómez Zamora. **Investigación:** Yanssel Gómez Zamora, Carlos Manuel González Ramírez.

Metodología: Yanssel Gómez Zamora, Carlos Manuel González Ramírez. **Redacción- primera redacción:**

Yanssel Gómez Zamora. **Software:** Yanssel Gómez Zamora. **Supervisión:** Carlos Manuel González Ramírez.

Validación de los resultados: Yanssel Gómez Zamora, Carlos Manuel González Ramírez. **Redacción- revisión y edición:** Yanssel Gómez Zamora, Carlos Manuel González Ramírez.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)