

Proyecto

Curso – Taller para Pronóstico de Calidad del Aire

Cuadernillo Guía de la Sesión 6

De acuerdo con el convenio de asignación de recursos celebrado entre el Fideicomiso No. 1490 denominado "Fideicomiso para apoyar los programas, proyectos y acciones ambientales de la megalópolis (FIDAM 1490)" de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, y la Universidad Nacional Autónoma de México, a través del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático (ICAyCC), celebrado el 2 de junio del 2023; se presenta el siguiente cuadernillo comprometido en los términos de referencia, para cumplir con los objetivos del proyecto.

Ciudad de México, junio 2, 2023

Contenido Sesión 6

<i>Sesión 6 parte 1 Introducción al modelo HYSPLIT</i>	<i>5</i>
Meta	5
Objetivos	5
Introducción	5
Componentes	7
Sitio de acceso a HYSPLIT	10
HYSPLIT en español.....	10
Información meteorológica	11
Datos de pronóstico y análisis	11
Cálculo de trayectorias.....	12
Influencia de la altura de emisión	13
Opciones de simulación	15
Recomendaciones de lecturas complementarias.....	15
Bibliografía.....	15
Repositorio de datos	16
Previos	16
<i>Sesión 6 parte 2 Aplicación de dispersión adelantadas</i>	<i>17</i>
Meta	17
Objetivos	17
Actividad: Identificación del sitio para generar dispersiones con Hysplit	17
Selección de tipo de emisión	18
Selección de la base de datos meteorológica	19
Ubicación del sitio de emisión	20
Especificación de altura de emisión	21
Especificación de características del cálculo de dispersión	21
Visualización de resultados	23
Interpretación de resultados	26
Recomendaciones de lecturas complementarias.....	28
Bibliografía.....	28
Repositorio de datos	28

Requisitos Previos	28
<i>ANEXO.....</i>	<i>31</i>
<i>Laminillas de la sesión 6.....</i>	<i>31</i>

Sesión 6 parte 1 Introducción al modelo HYSPLIT

Meta

Presentar y describir los principios que emplea el modelo HYSPLIT

Objetivos

Al terminar esta lección, el alumno estará capacitado para:

- Describir los métodos de integración
- Mencionar los componentes del modelo HYSPLIT
- Acceder al HYSPLIT en web
- Identificar los diversos módulos de cálculo de HYSPLIT.

Introducción

Los métodos de integración de las ecuaciones de transporte se pueden clasificar en dos:

Euleriano

- Derivado local
- Se resuelve sobre toda el área
- Ideal para múltiples fuentes
- Puede manejar con facilidad la química compleja
- Posee problemas con la difusión numérica.

Lagrangiano (HYSPLIT)

- Derivado total
- Se resuelve sólo por la trayectoria
- Ideal para fuentes puntuales
- Linealidad implícita para la química
- Soluciones no lineales disponibles
- No es tan eficiente para el caso de fuentes múltiples.

HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrates Trajectories) es un sistema completo para calcular trayectorias de parcelas simples de aire, así como simulaciones complejas de transporte, dispersión, transformación química y deposición. HYSPLIT continúa siendo uno de los modelos de dispersión y transporte atmosférico más utilizados en la comunidad de ciencias atmosféricas. Una aplicación común es un análisis de trayectoria inversa para determinar el origen de las masas de aire y establecer relaciones fuente-receptor. HYSPLIT también se ha utilizado en una variedad de simulaciones que describen el

transporte atmosférico, la dispersión y la deposición de contaminantes y materiales peligrosos. Algunos ejemplos de las aplicaciones incluyen el seguimiento y el pronóstico de la liberación de material radiactivo, humo de incendios forestales, polvo arrastrado por el viento, contaminantes de diversas fuentes de emisión estacionarias y móviles, alérgenos y cenizas volcánicas.

El método de cálculo del modelo es un híbrido entre el enfoque Lagrangiano, que utiliza un marco de referencia móvil para los cálculos de advección y difusión a medida que las trayectorias o paquetes de aire se mueven desde su ubicación inicial, y la metodología Euleriana, que utiliza una cuadrícula tridimensional fija como un marco de referencia para calcular las concentraciones de contaminantes en el aire (el nombre del modelo, que ya no significa un acrónimo, reflejaba originalmente este enfoque computacional híbrido). HYSPLIT ha evolucionado durante más de 30 años, desde la estimación de trayectorias individuales simplificadas basadas en observaciones de radiosonda hasta un sistema que contabiliza múltiples contaminantes que interactúan transportados, dispersados y depositados a escala local y global.

La dispersión de un contaminante se calcula asumiendo la dispersión de bocanadas o de partículas. En el modelo de bocanadas, las bocanadas se expanden hasta que superan el tamaño de la celda de la cuadrícula meteorológica (ya sea horizontal o verticalmente) y luego se dividen en varias bocanadas nuevas, cada una con su parte de la masa contaminante. En el modelo de partículas, un número fijo de partículas son advectadas sobre el dominio del modelo por el campo de viento medio y dispersadas por una componente turbulenta. La configuración predeterminada del modelo asume una distribución de partículas tridimensional (horizontal y vertical).

El HYSPLIT posee un esquema de advección pronóstico-corrector en la integración adelantada o retrasada. Realiza una interpolación lineal espacial y temporal de la meteorología (externa y fuera de línea). Posee software para convertir de diferentes fuentes de datos meteorológicos para: AWR, ECMWF, RAMS, MM5, NMM, GFS entre otros. Para el mezclado vertical se emplea la similitud de Surface Layer (SL), boundary layer (BL), Ri o (Turbulen Kinetic Energy) TKE.

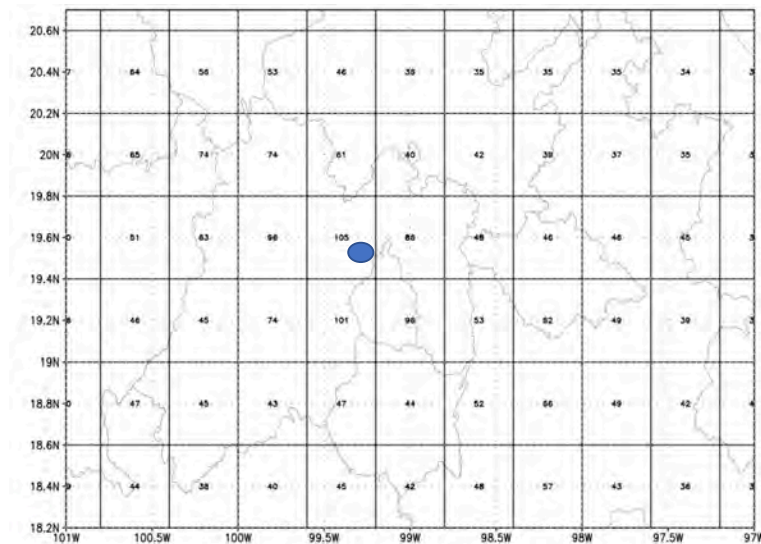
El mezclado horizontal basado en la deformación de velocidad, con similitud SL o TKE. Emplea coeficientes de mezclado para la difusión a partir de las variaciones de velocidad. La dispersión se calcula con base en partículas en 3D, para nubes o ambas simultáneamente. Las distribuciones de las nubes de partículas pueden ser Top-Hat o Gaussianas. Las concentraciones se estiman a partir del número de partículas en la celda o nube.

Componentes

Los componentes de HYSPLIT son: meteorología, trayectorias, dispersión y concentración en el aire

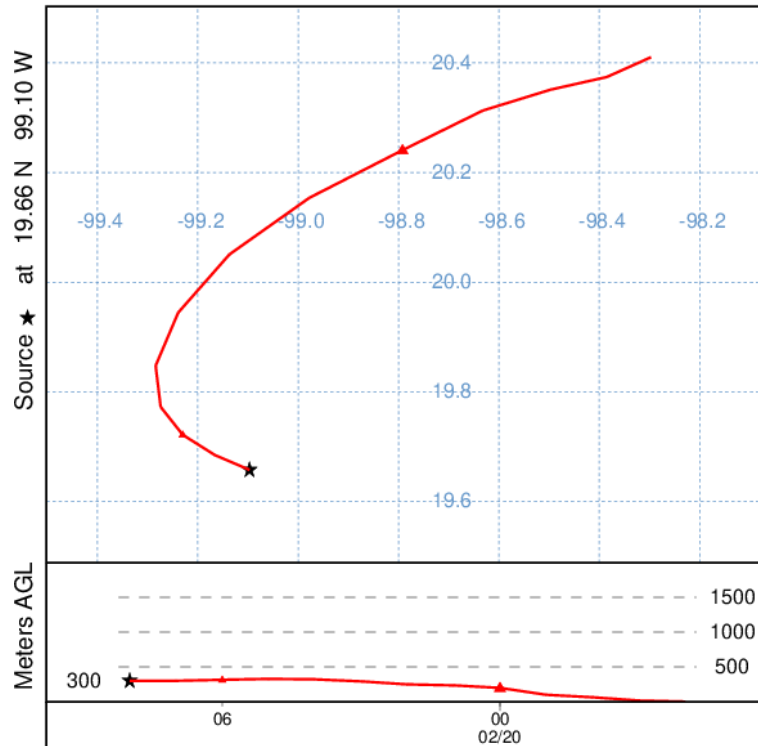
Meteorología

Los datos meteorológicos, como la dirección del viento, la velocidad, la temperatura y la humedad, se proporcionan en una cuadrícula espaciada regular en múltiples niveles de la atmósfera. En esta ilustración, solo se muestra uno de cada punto de cuadrícula. En el ejemplo se muestran los valores en el punto de cuadrícula cerca de Cuautitlán, Edo Mex.



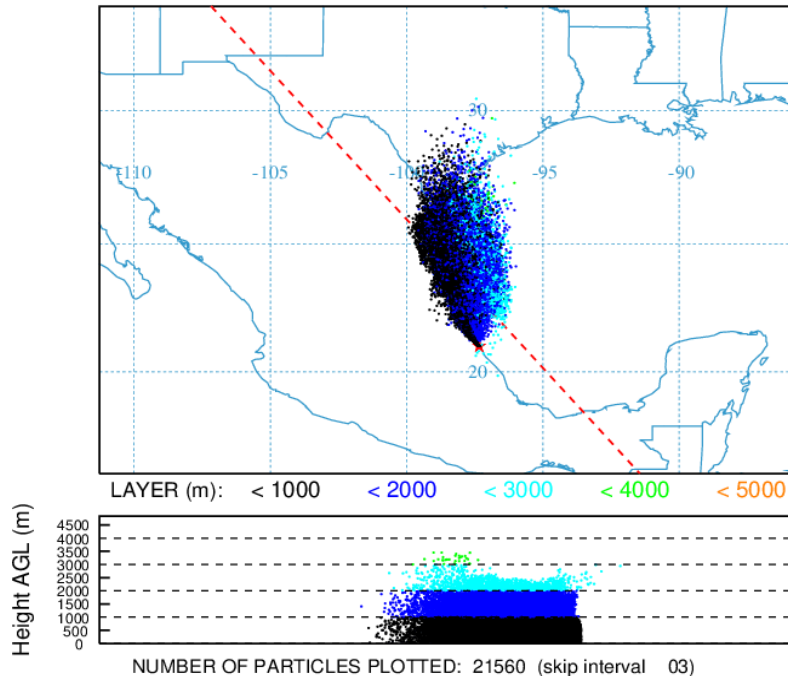
Trayectorias

Una trayectoria es la ruta de un solo punto hipotético que se lleva pasivamente con el viento medio. Los datos meteorológicos se actualizan en cada paso de integración. En este ejemplo, iniciado en Cuautitlán, los puntos finales se muestran cada hora para las proyecciones horizontal y vertical.



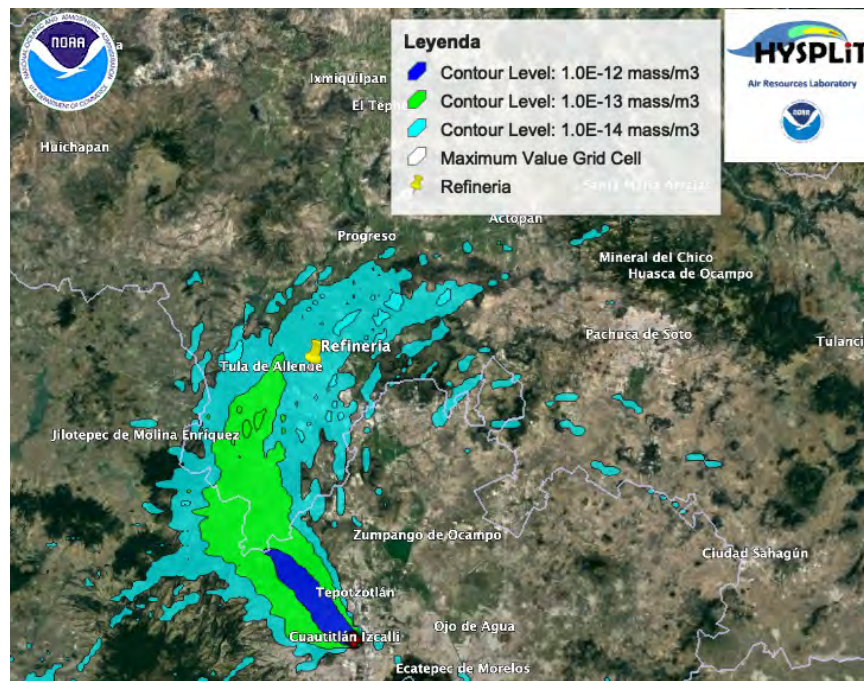
Dispersión

La dispersión se introduce calculando la trayectoria de muchos puntos. Sin embargo, cada trayectoria se ve perturbada por la turbulencia atmosférica aleatoria a lo largo de su recorrido. En este ejemplo, se liberaron 2560 partículas desde Tuxpan y su posición se muestra cada hora. Observe cómo se apartan de la trayectoria media, tanto en la horizontal como en la vertical. Las partículas más altas viajan con vientos más rápidos.



Concentración en el aire

Las concentraciones de aire se calculan sumando la masa de las partículas computacionales y dividiéndolas por el volumen de su distribución horizontal y vertical. En este ejemplo, el promedio de partículas se tomó durante 12 horas, la duración del cálculo, y la masa total de partículas fue una unidad de emisión.



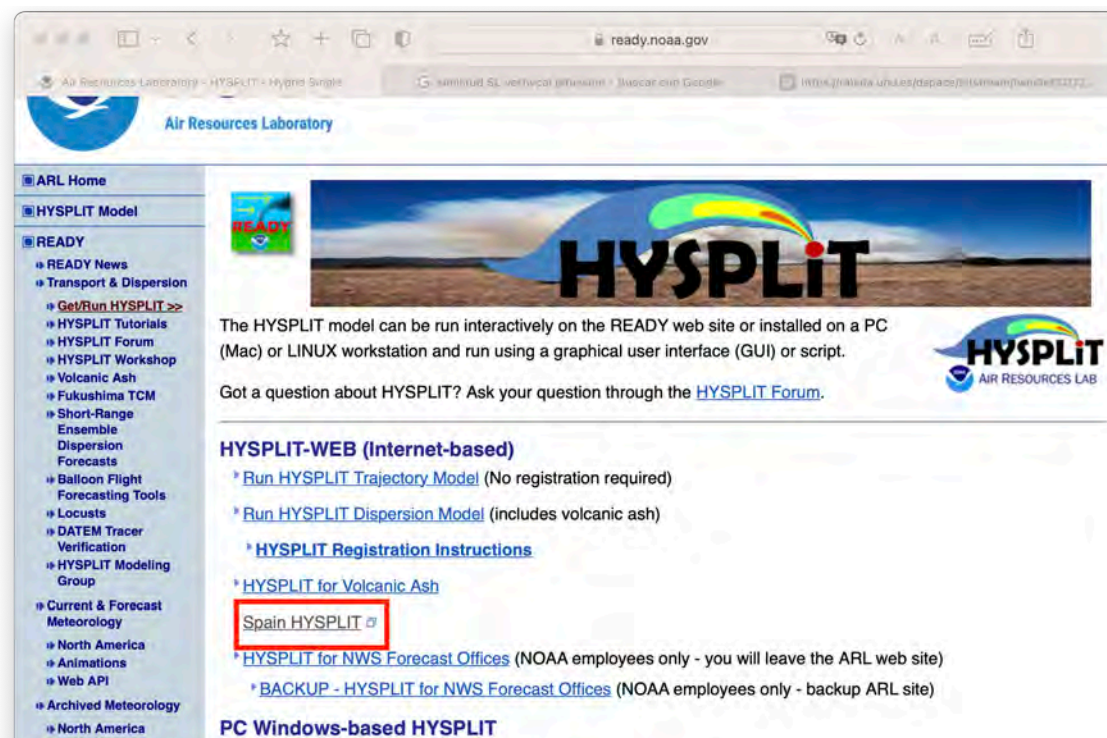
Sitio de acceso a HYSPLIT

El HYSPLIT se puede acceder desde: <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>



HYSPLIT en español

En el 2010 se realizó un convenio entre la Universidad de Huelva y la ARL-NOAA para mostrar las salidas de predicciones de modelos de Arsénico e intrusiones de partículas de aire Saharianas así como para mostrar y usar el HYSPLIT en español, según lo mostrado en el sitio www.ciecem.uhu.es/hysplit. En el 2015 se cambió al sitio <http://www.hysplit.uhu.es> y en el sitio de la HYSPLIT se encontraba la liga actualmente ya no se encuentra disponible.



Información meteorológica

El HYSPLIT como mínimo requiere de: las velocidades de viento en u, v, w, la temperatura, presión de superficie y opcionalmente la humedad relativa o humedad en las tres dimensiones.

Los datos meteorológicos se introducen en el formato de ARL para minimizar el tiempo de ejecución, este es un formato binario comprimido, en donde cada campo se introduce a cada nivel por cada período de tiempo y luego se repite según sea necesario,

Todos los datos de pronóstico disponibles actualmente en los menús de HYSPLIT provienen de los centros nacionales del pronóstico ambiental (National Centers for Environmental Prediction NCEP) de la NOAA.

El HYSPLIT para PC descarga datos directamente de los servidores de ARL de la NOAA. Existen opciones disponibles para cambiar a otros servidores FTP.

Datos de pronóstico y análisis

Pronóstico o Análisis: Se requiere de registrarse para ejecutar el modelo de dispersión HYSPLIT con datos de pronóstico. Para análisis hay datos disponibles globales y para la región de Norteamérica.

Los datos Meteorológicos para pronósticos:

- North American Mesoscale (NAM)

- Rapid Update Cycle (RUC)
- Global Forecast System (GFS)

Los datos Meteorológicos para análisis:

- North American Mesoscale (NAM)
- NAM Data Assimilation System (NDAS, formalmente EDAS)
- Global Data Assimilation System (GDAS, formalmente FNL)
- Global Reanalysis

Sitios donde se encuentra información

<https://www.ready.noaa.gov/READYcmet.php>

<https://www.ready.noaa.gov/archives.php>

<https://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/>

Cálculo de trayectorias

La advección de una partícula o bocanada se calcula a partir del promedio de los vectores de velocidad tridimensionales en la posición inicial $P(t)$ y la posición inicial $P'(t+\Delta t)$. Los vectores de velocidad se interpolan linealmente tanto en el espacio como en el tiempo. La primera posición aproximada es:

$$P'(t+\Delta t) = P(t) + V(P,t) \Delta t$$

Y la posición final es:

$$P(t+\Delta t) = P(t) + 0.5 [V(P,t) + V(P',t+\Delta t)] \Delta t$$

El paso de tiempo de integración (Δt) puede variar durante la simulación. Se calcula a partir del requisito de que la distancia de advección por paso de tiempo debe ser menor que el espaciado de la cuadrícula. La velocidad máxima de transporte se determina a partir de la velocidad máxima de transporte durante la hora previa. Los pasos de tiempo pueden variar de 1 minuto a 1 hora y se calculan a partir de la relación:

$$U_{\max}(\text{unidades de malla min}^{-1}) \Delta t (\text{min}) < 0,75 (\text{unidades de malla}).$$

El método de integración es muy común por ejemplo, (Kreyszig, 1968), y se ha utilizado para el análisis de trayectorias (Petterssen, 1940) durante bastante tiempo. Los métodos de integración de orden superior no producirán una mayor precisión porque las observaciones de datos se interpolan linealmente desde la celda hasta el punto de integración. Las trayectorias se terminan si salen de la celda de datos meteorológicos, pero la advección continúa a lo largo de la superficie si las trayectorias se cruzan con el suelo.

En la horizontal, la integración del vector de posición se realiza en unidades de malla, mientras que, en el vertical, se utiliza un sistema de coordenadas sigma normalizado, donde sigma se define por:

$$\sigma = (Z_{top} - Z) / (Z_{top} - Z_{gl}), \text{ [todas las alturas MSL]}$$

donde Z es la altura en el nivel medio del mar que se convertirá a sigma, gl es la altura del nivel del suelo y top define la altura de escala de la parte superior del modelo, la altura a la que las superficies sigma internas se vuelven planas en relación con el terreno. La altura de escala interna predeterminada se establece en 25 km. Este valor se usa junto con la configuración superior del modelo predeterminado (10 km para la mayoría de las aplicaciones PBL) en el archivo CONTROL que establece el límite vertical de la cuadrícula meteorológica interna.

Si no se requieren cálculos por encima de cierto nivel, se procesan menos datos meteorológicos, lo que acelera el cálculo. Las trayectorias terminarán cuando alcancen este nivel y las partículas de masa se reflejarán de nuevo en el dominio. Un uso secundario del parámetro superior del modelo en el archivo CONTROL es establecer la altura de escala interna del modelo en un valor diferente, pero solo si la entrada supera los 25 km.

Influencia de la altura de emisión

A distancias mayores de 20 km de la fuente, cuando la trayectoria adelantada desde la fuente queda dentro de la capa límite (planetary boundary layer -PBL), la fuente podrá impactar al punto de medición, aun cuando el punto final de la trayectoria cerca de ese punto no esté a la misma altura que el equipo de muestreo. Esto se debe al hecho de que la PBL está relativamente bien mezclada durante las horas diurnas.

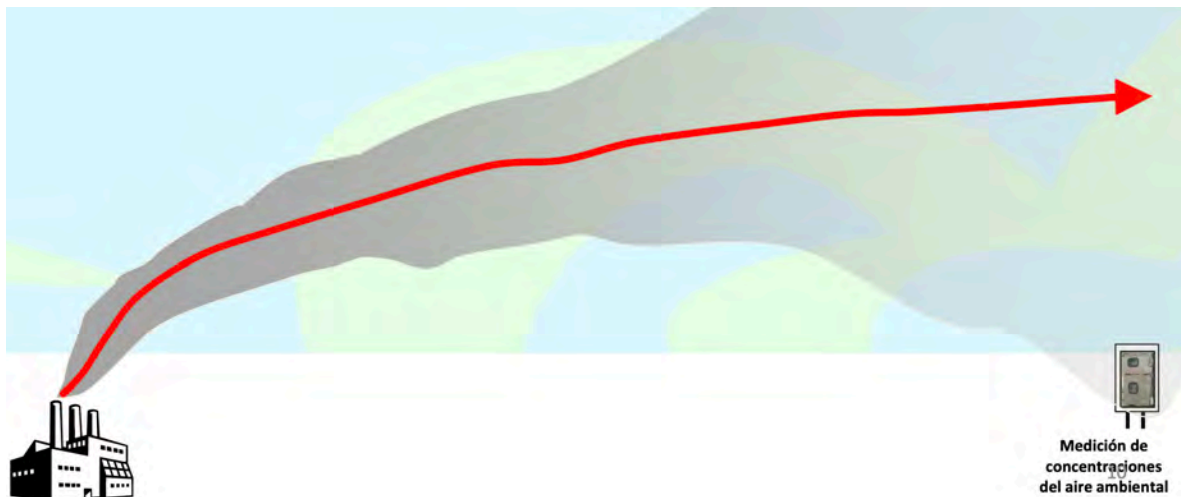
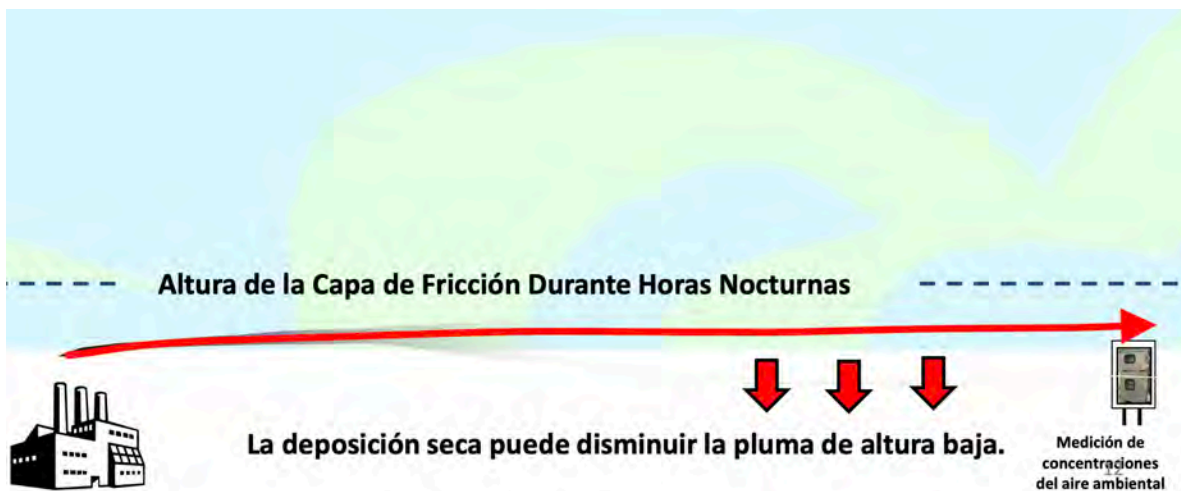


Figura 1 La trayectoria adelantada es la línea roja al centro de la pluma, la dispersión horizontal y vertical se da alrededor de ésta.

Durante la noche la capa límite es mucho más somera. Las emisiones de una chimenea alta podrían quedar sobre la altura de la PBL. En este caso, habrá poco o ningún impacto registrado por el equipo de muestreo a nivel de suelo hasta el día siguiente, cuando la altura de la capa de fricción vuelva a ascender.



Generalmente la capa límite (PBL) es mucho más somera en horas nocturnas. Las emisiones de una chimenea baja podrían quedar dentro de la PBL. Sin embargo, en el caso de un contaminante con velocidad de depósito seca relativamente rápida (p.e. mercurio), puede que cuando la pluma alcance al sitio de medición quede poca cantidad de contaminante.



La implicación de estos conceptos para una trayectoria retrasada y la selección de la altura inicial de una trayectoria retrasada. Si se inicia con una altura muy baja, el modelo de trayectorias no funciona muy bien porque las trayectorias descienden hasta el nivel de suelo y se detienen. La “mejor” altura inicial para las trayectorias retrasadas podría ser el punto medio de la capa de mezclado (PBL).

Opciones de simulación

Una sola trayectoria no puede representar adecuadamente la expansión de una nube de contaminación cuando se varía en el espacio y tiempo el campo de viento. La simulación se debe realizar con muchas partículas contaminantes. El resultado se parece a una pluma por que la velocidad y la dirección del viento varían según la altura en la capa de mezclado.

Las opciones para simular plumas basadas en trayectorias son:

- **Partículas:** Una masa puntual de un contaminante. Se libera una cantidad fija con desplazamiento medio y aleatorio.
- **Nube:** Un cilindro en 3D con una distribución creciente de concentraciones tanto vertical como horizontalmente. Una nube puede partirse si alcanza un tamaño mayor a la celda.
- **Híbrido:** Un objeto 2D circular (masa plana con cero profundidad) donde el contaminante horizontal muestra una distribución en forma de nube y en lo vertical funciona como una partícula.

Recomendaciones de lecturas complementarias

Modelación de trayectorias y dispersión de contaminantes del aire

<https://www.gob.mx/inin/acciones-y-programas/modelacion-de-trayectorias-y-dispersion-de-contaminantes-del-aire>

Seminario de capacitación para el uso del modelo Hysplit

<https://www.arl.noaa.gov/documents/workshop/hysplit1/spanish/workshop.pdf>

Bibliografía

Draxler, R. R., & Rolph, G. D. (2010). HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) model access via NOAA ARL READY website (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>), NOAA Air Resources Laboratory. *Silver Spring, MD*, 25.

Robinson, N. H., Newton, H. M., Allan, J. D., Irwin, M., Hamilton, J. F., Flynn, M., ... & Coe, H. (2011). Source attribution of Bornean air masses by back trajectory analysis during the OP3 project. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 11(18), 9605-9630.

Kreyszig, E. (1968). Advanced engineering mathematics, (corrected). In: John Wiley & Sons. Inc.

Petterssen, S. (1940). Weather analysis and forecasting: a textbook on synoptic meteorology.

Repositorio de datos

Datos de meteorología <https://www.ready.noaa.gov/READYcmet.php>

Previos

Conocimientos: navegación en aplicaciones de la computadora. Compresión de textos en inglés.

Datos: ubicación en longitud, latitud en decimales de una fuente de emisión de interés.

Software:

navegador web firefox <https://www.mozilla.org/es-MX/firefox/new/>

chrome <https://www.google.com/chrome/>

zoom https://zoom.us/download#client_4meeting

Sesión 6 parte 2 Aplicación de dispersión adelantadas

Meta

Generar mapas con zonas de concentración por dispersión de una emisión de fuente puntual

Objetivos

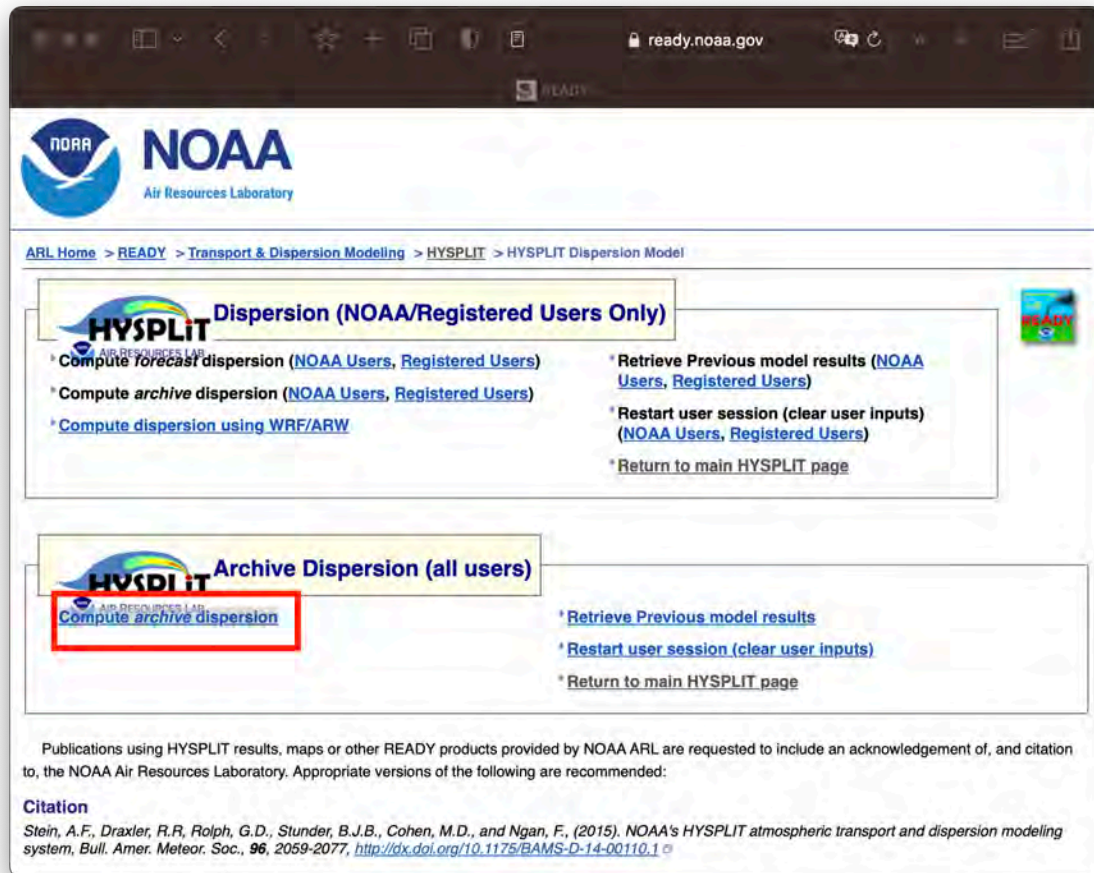
Al terminar esta lección, el alumno estará capacitado para:

- Emplear un sistema web para la dispersión de emisiones
- Generar diferentes escenarios de dispersión
- Seleccionar la base de datos meteorológica para estudios de dispersión
- Despliegue de resultados empleando GoogleEarth.

Actividad: Identificación del sitio para generar dispersiones con Hysplit

De la página del HYSPLI https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_disp.php

Acceder a [Compute archive dispersión](#)



Una vez que se accedido aparece una ventana donde se indican las limitaciones del HYSPLIT, después de leer se puede dar clic en el botón close.

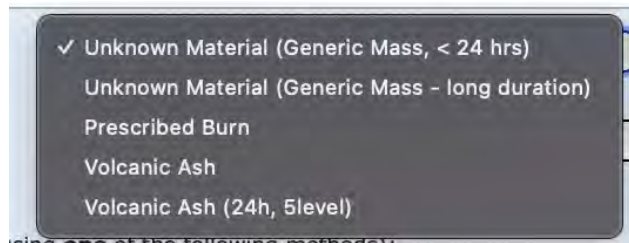
Selección de tipo de emisión

En el primer parte de la página aparece el tipo de liberación.

Release Type: Unknown Material (Generic Mass, < 24 hrs)

Meteorology: NAM 12km (pressure, U.S., 05/2007-present)

Existen 5 tipos de liberaciones dos para emisiones de fuentes fijas antropogénicas y 3 naturales (1 incendios y 2 de volcánicas).



Se selecciona la de material desconocido de menos de 24 hr de liberación.

Selección de la base de datos meteorológica


En el caso de se selecciona el botón de Meteorología que despliega un menú donde se indican las diferentes bases de datos.

A screenshot of a web interface showing two selection fields. The first field, labeled 'Release Type:', has a dropdown menu with 'Unknown Material (Generic Mass, < 24 hrs)' selected. To its right is a 'More info' link with a right-pointing arrow. The second field, labeled 'Meteorology:', has a dropdown menu with 'GDAS (1 degree, global, 2006-present)' selected. To its right is another 'More info' link with a right-pointing arrow. The interface has a light blue background.

Como se puede apreciar existen diferentes bases que corresponden a diferentes periodos, dominios y resoluciones. Los que se recomiendan para México son los datos Globales de Pronóstico GFS a 0.25 grados (25 km aprox) y el NAM 12km (pressure).

Meteorology: NAM 12km (pressure, U.S., 05/2007-present) [More info](#)

Source Location (enter using **one** of the following methods):




Ubicación del sitio de emisión

Esto se puede hacer de cuatro formas

- 1) Mediante la selección del sitio directamente en el mapa mediante su manipulación, moviéndolo haciendo zoom y seleccionando el sitio.
- 2) Poniendo la ubicación con latitud y longitud
 - a. en grados minutos y segundos
 - b. en grados decimales
- 3) Indicando la ciudad (MX: Mexico City)
- 4) Proveyendo el identificador de un aeropuerto (en el caso de la CDMX 766793)

Source Location (enter using **one** of the following methods):



Click a location on the map or select from below:

- Decimal Degrees Latitude: N Longitude: W
- DDD/MM/SS Latitude: N Longitude: W
- City (Country or State: name: lat: lon):
- Airport or WMO ID (i.e., dca): [ID Lookup](#)

En este caso se selecciona el sitio con latitud 21.0197 y long 97.3374 W. Termoeléctrica de Tuxpan.

Se da clic en el botón de la parte inferior next>

Se escoge la fecha 20221023_nam12

La depositación NO

Opciones avanzadas NO

Se da NEXT

Especificación de altura de emisión

La emisión de la termoeléctrica se libera a partir de la altura de la chimenea 70m y esta asciende por velocidad y flotación a 600m por lo que se especifica el **Release bottom** como 70 y el **Release top**: 600

Especificación de características del cálculo de dispersión

Source Term Parameters

Se considera que es una trayectoria adelantada Forward.

Para la hora 18 del día 23 de octubre del 2022.

La masa que se emite es unitaria 1 para obtener los factores de dilución a partir de los resultados de concentraciones del modelo.

La liberación va a ser continua 24 hr y 0 minutos.

Runtime Parameters

La duración de la dispersión (Total Duration) será para 24 horas de simulación.

El tiempo de salida (Averaging period/Output Interval) de los resultados de 1 horas.

Display Options

Se checa para Google Earth (kmz).

Resolución (Plot Resolution) de 96 dpi

Zoom factor = 50

Se solicita la dispersión.

Model Run Details

The archived data file (NAM12) has data beginning at 10/23/22 0000 UTC.

Source Term Parameters

Dispersion direction: ☒ Forward ☐ Backward (Change the default start time!) [More info](#) ▶

Release starting time (UTC): year: 22 month: 10 day: 23 hour: 18 minute: 0 [More info](#) ▶
Current time: 19:13

Source latitude: 21.01970(degrees [More info](#) ▶

Source longitude: -97.3374(degrees (West is negative) [More info](#) ▶

Release top: 600 meters AGL [More info](#) ▶

Release bottom: 70 meters AGL

Release quantity: 1 mass [More info](#) ▶

Release duration: 24 hour(s) 0 minutes [More info](#) ▶

Runtime Parameters

Total duration: 24 hour(s) [More info](#) ▶

Averaging period/Output interval: 1 hour(s) [More info](#) ▶

Top of averaged layer: 100 meters AGL (must be >= 100m) [More info](#) ▶

Compute center-of-mass trajectory: ☐ Yes ☒ No [More info](#) ▶

Display Options

GIS output of contours? ☐ None ☒ Google Earth (kmz) ☐ GIS Shapefiles [More info](#) ▶

The following options apply only to the GIF, PDF, and PS results (not Google Earth)

Plot resolution (dpi): 96 [More info](#) ▶

Zoom factor: 50 [More info](#) ▶

Distance circle overlay: ☒ None ☐ Auto ☐ 4 circles spaced 10 km apart [More info](#) ▶

U.S. county borders? ☐ Yes ☒ No [More info](#) ▶

Postscript file? ☐ Yes ☒ No [More info](#) ▶

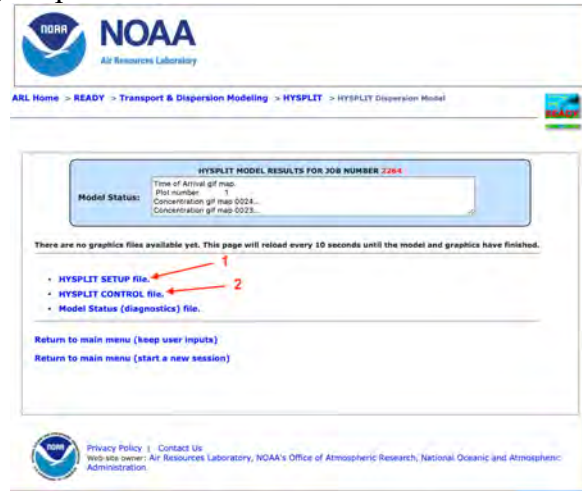
Create PDF file of graphics? ☒ Yes ☐ No

[Reset page to default values](#)

[Request Dispersion Run>>](#)

Generará los cálculos para la dispersión en un tiempo de 5 min.

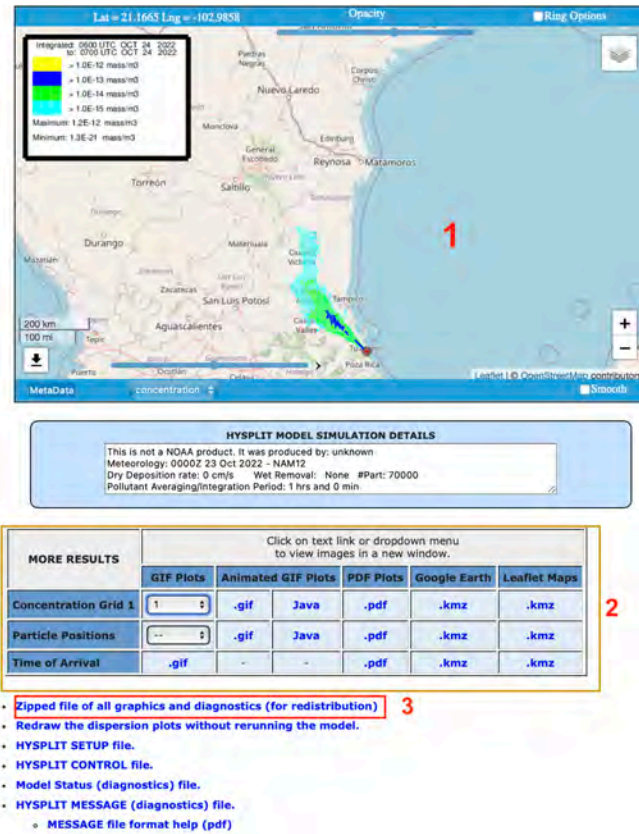
Se pueden visualizar y descargar los archivos 1 de configuración y 2 de control de la página en el caso de que uno tenga instalado el HYSPLIT localmente con la información meteorológica descargada previamente.



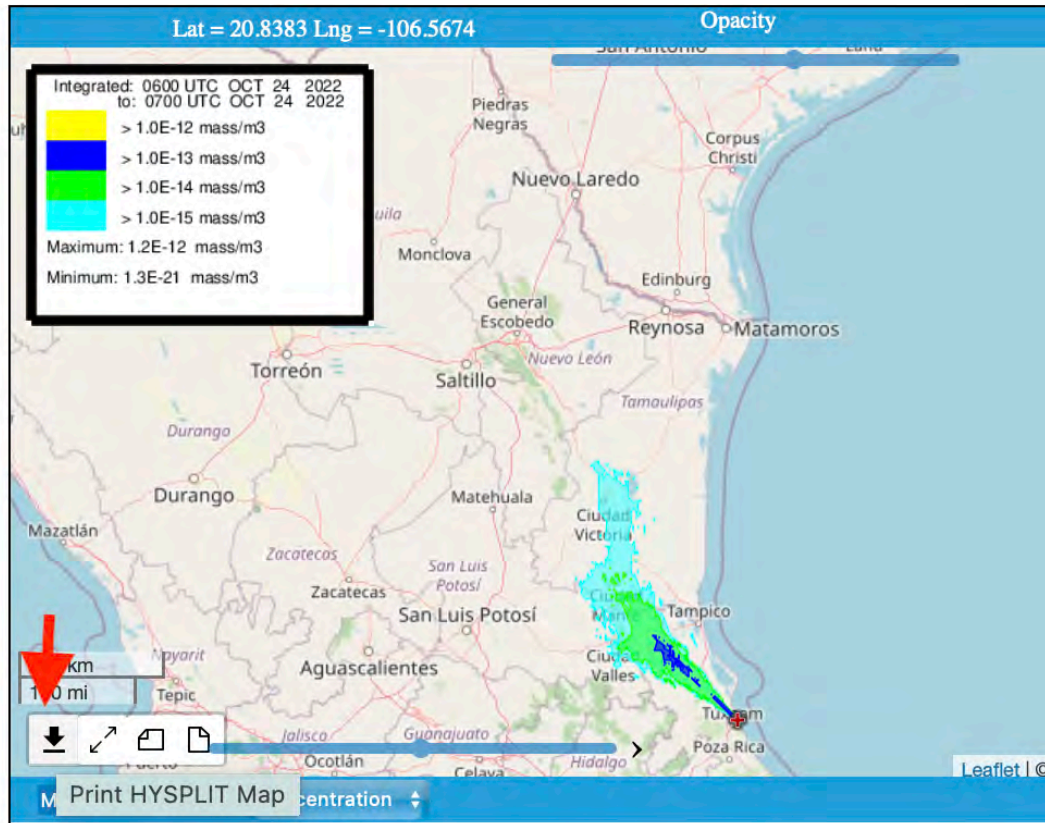
Visualización de resultados

Los resultados se pueden visualizar de diferentes formas:

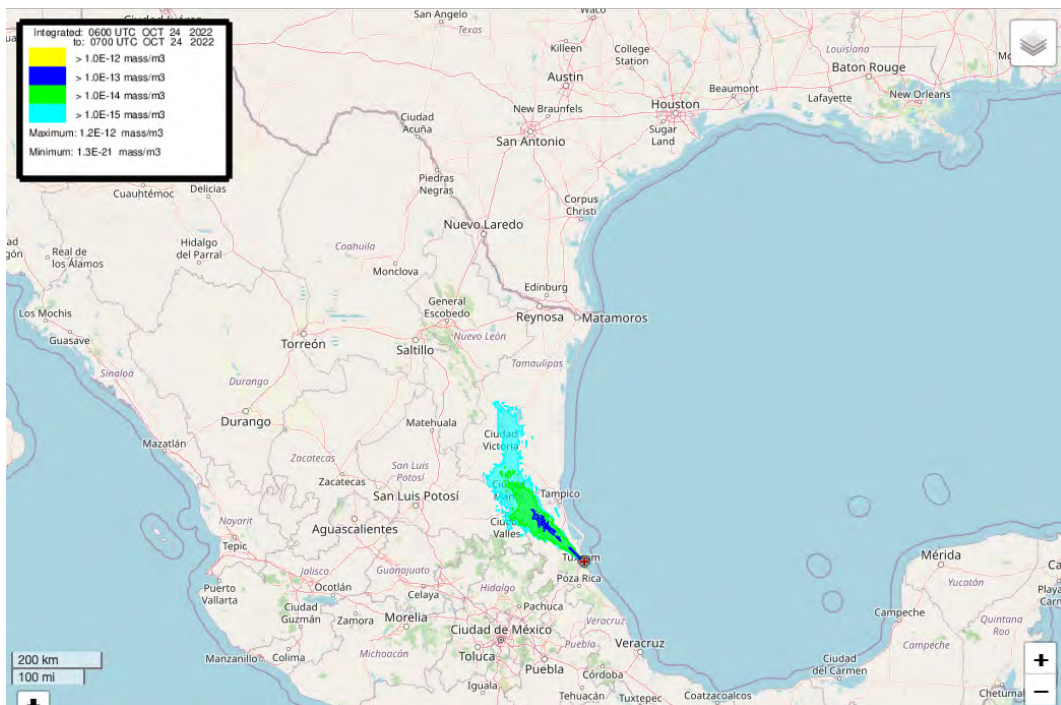
1. Mediante el mapa que se presenta en la página de resultados
2. En las imágenes fijas y animadas del menú intermedio y
3. Bajando todos las imágenes y animaciones en un archivo comprimido.



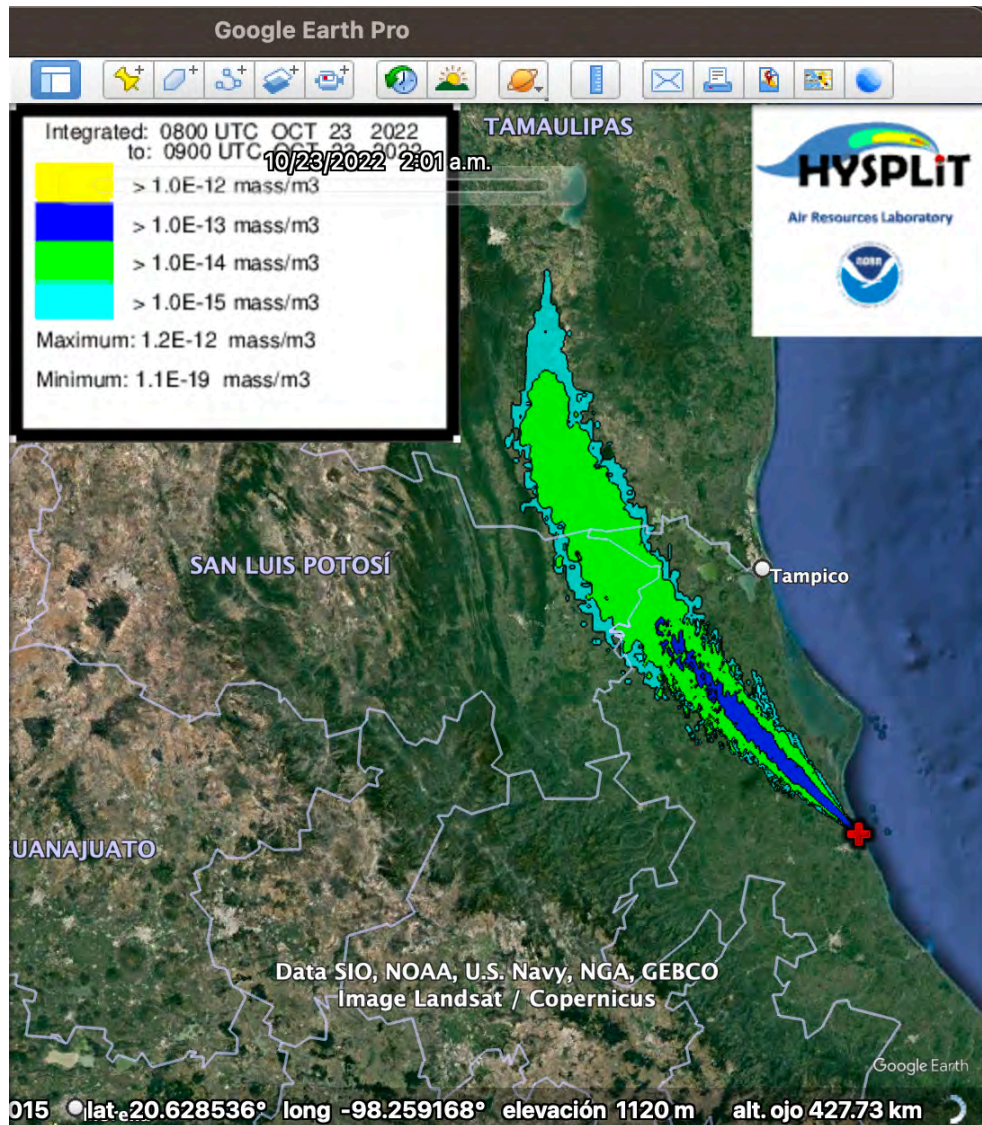
El mapa se puede descargar con el icono de descarga que esta en el mapa



Con la hoja en horizontal se tiene:



Para la visualización con GoogleEarth se requiere de tener el software instalado en la máquina y descarga el archivo kmz o el archivo comprimido con todas las imágenes. Al terminar la descarga se da doble clic sobre este y se abrirá la aplicación de Google Earth.



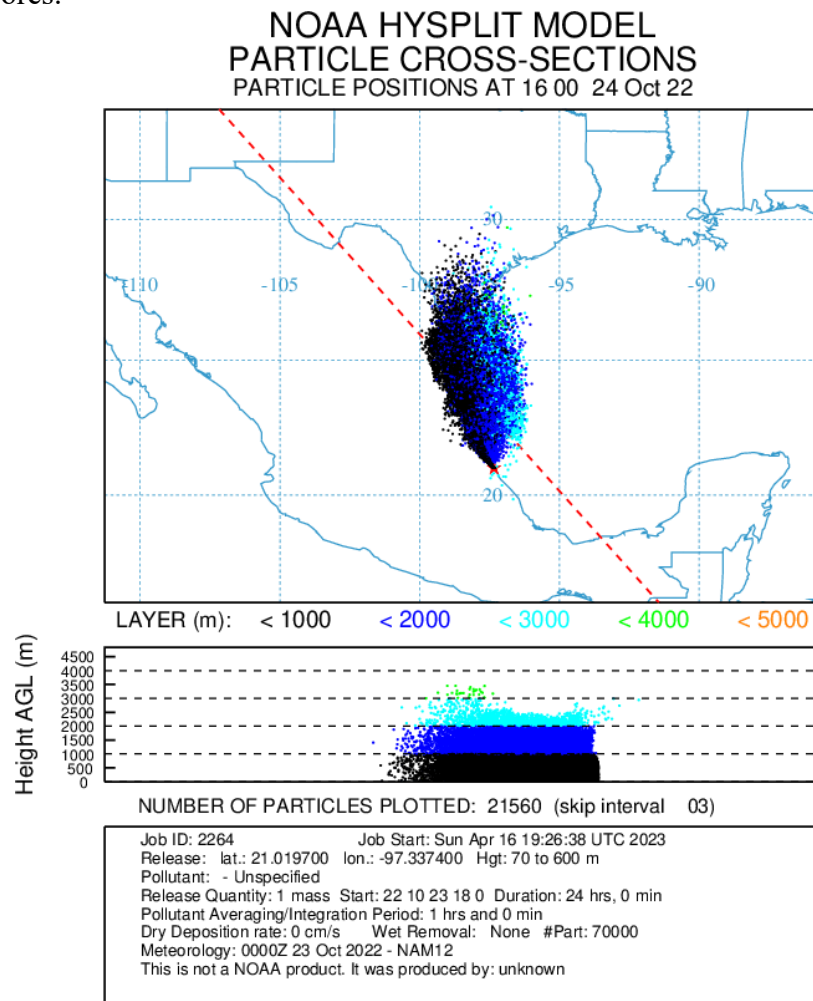
Interpretación de resultados

Como se solicitó la integración horaria las unidades que muestra el mapa son mass/m^3 para cada hora, si se considera que la emisión de la termoeléctrica es de 4 kg/s de SO_2 se tendría una emisión de $14.4 \times 10^{12} \mu\text{g/h}$, que en la región en azul daría una concentración de $1.44 \mu\text{g/m}^3$, si se considera que la temperatura es de 25°C y la presión atmosférica de 1 atm , la

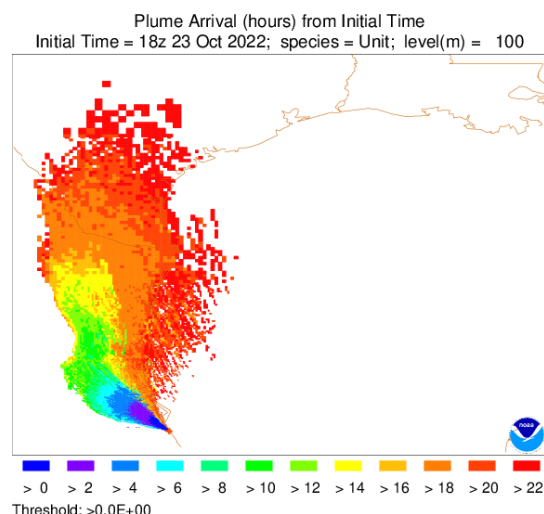
emisión de la termoeléctrica haría que se incrementara la concentración en 3.8 ppb de SO₂ en la zona azul.

Los resultados de Concentration Grid 1 nos indica la concentración a nivel más cercano al suelo para cada hora de modelación son los resultados del mapa, pero solo con los contornos del país.

La posición de las partículas (Particle Positions) nos muestra la posición tanto a nivel de suelo como en otros niveles en altura de las partículas liberadas como emisión de la fuente. Es útil porque a veces puede alcanzar distancias considerables siendo que estas están en alturas superiores.



El tiempo de arribo indica cuantas horas tarda en llegar la emisión en cada zona donde las emisiones tienen como altura máxima 100m.



Recomendaciones de lecturas complementarias

Modelo Flexpart

<https://www.res.es/sites/default/files/public/uploaded/Modelos%20de%20transporte%20lagrangiano%20Flexpart%20-%20Marta%20Vázquez.pdf>

Bibliografía

Stein, A.F., Draxler, R.R., Rolph, G.D., Stunder, B.J.B., Cohen, M.D., and Ngan, F., (2015). NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system, Bull. Amer. Meteor. Soc., 96, 2059-2077, <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>

Rolph, G., Stein, A., and Stunder, B., (2017). Real-time Environmental Applications and Display System: READY. Environmental Modelling & Software, 95, 210-228, <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.025>.
(<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815217302360>)

Repositorio de datos

Datos de meteorología <https://www.ready.noaa.gov/READYcmet.php>

Descarga del HYSPLIT para PC de https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_hytrial.php

Requisitos Previos

Conocimientos: navegación en web. Compresión de textos en inglés.

Datos: ubicación en longitud, latitud en decimales de una fuente de emisión de interés.

Software:

navegador web firefox <https://www.mozilla.org/es-MX/firefox/new/>

chrome <https://www.google.com/chrome/>

zoom https://zoom.us/download#client_4meeting

Google Earth <https://support.google.com/earth/answer/21955?hl=es>

ANEXO

Laminillas de la sesión 6



Taller de Pronóstico de Calidad del Aire

Sesión 6: Introducción al modelo HYSPLIT

Dr. José Agustín García Reynoso

PROYECTO FINANCIADO CON RECURSOS DEL FIDEICOMISO 1490 PARA APOYAR LOS PROGRAMAS, PROYECTOS Y ACCIONES AMBIENTALES DE LA MEGALÓPOLIS



Meta y objetivos


Meta

- Presentar y describir los principios que emplea el modelo HYSPLIT.

Objetivos

Al terminar esta lección, el alumno estará capacitado para:

- Describir los métodos de integración.
- Mencionar los componentes del modelo HYSPLIT.
- Acceder al HYSPLIT en web.
- Identificar los diversos módulos de cálculo de HYSPLIT.

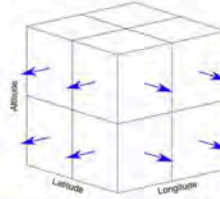


Introducción

Los métodos de integración de las ecuaciones de transporte se pueden clasificar en dos:

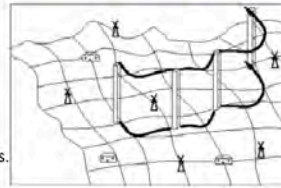
Euleriano

- Derivado local.
- Se resuelve sobre toda el área.
- Ideal para múltiples fuentes.
- Puede manejar la química compleja con facilidad.
- Se generan problemas por la difusión numérica.



Lagrangiano (HYSPLIT)

- Derivado total.
- Se resuelve sólo por la trayectoria.
- Ideal para fuentes puntuales.
- Linealidad implícita para la química.
- Soluciones no lineales disponibles.
- No es tan eficiente para el caso de fuentes múltiples.



Modelo Euleriano

- Un modelo euleriano utiliza la derivada euleriana, $\frac{\partial}{\partial t}$. El euleriano, o derivada parcial, es el cambio local de cualquier escalar con el tiempo.
- La ubicación es fija y el modelo simula el movimiento del aire dentro y fuera del área de interés.
- Utiliza una configuración de malla, en la que el modelo genera datos para cada celda de la cuadrícula.



Modelo Lagrangiano

- Matemáticamente, un modelo lagrangiano es aquel que usa la derivada lagrangiana, $\frac{d}{dt}$. Esto es simplemente el cambio total de cualquier escalar con el tiempo.
- Un modelo lagrangiano simula el movimiento de la parcela de aire y los cambios que sufre debido a ese movimiento.
- La suposición principal en los modelos lagrangianos es que no hay dispersión horizontal de contaminantes. En otras palabras, una vez que ingresa a la columna, el material en la columna no se elimina mezclándolo y diluyéndolo con el aire circundante.



El modelo Hysplit

- Es un sistema completo para calcular trayectorias de parcelas de aire, así como simulaciones complejas de transporte, dispersión, transformación química y deposición.
- Es uno de los modelos de dispersión y transporte atmosférico más utilizados en la comunidad de ciencias atmosféricas.
 - Una aplicación común es un análisis de trayectoria inversa para determinar el origen de las masas de aire y establecer relaciones fuente-receptor.
 - Utilizado en simulaciones que describen el transporte atmosférico, la dispersión y la deposición de contaminantes y materiales peligrosos.
 - Algunos **ejemplos**: el pronóstico de la liberación de material radiactivo, humo de incendios forestales, polvo arrastrado por el viento, contaminantes de diversas fuentes de emisión estacionarias y móviles, alérgenos y cenizas volcánicas.



El modelo Hysplit (2)

- El método de cálculo del modelo es un **híbrido** entre el enfoque **Lagrangiano**, que utiliza un marco de referencia móvil para los cálculos de advección y difusión a medida que las trayectorias o paquetes de aire se mueven desde su ubicación inicial, y la metodología **Euleriana**, que utiliza una cuadrícula tridimensional fija como un marco de referencia para calcular las concentraciones de contaminantes en el aire.
- La dispersión de un contaminante se calcula asumiendo la dispersión de bocanas (puff) o de partículas.



Sistema Hysplit

- El HYSPLIT posee un esquema de advección pronóstico-corrector, en la integración adelantada o retrasada.
- Realiza una interpolación lineal espacial y temporal de la meteorología (externa y fuera de línea).
- Posee programas para convertir de diferentes fuentes de datos meteorológicos de: [AWR](#), [ECMWF](#), [RAMS](#), [MMS](#), [NMM](#), [GFS](#) entre otros.
- En el mezclado vertical se emplea la similitud de Surface Layer (SL); boundary layer (BL), Ri o (Turbulen Kinetic Energy) TKE.
- En la horizontal usa la deformación de velocidad, con similitud SL o TKE.
- Emplea los coeficientes de mezclado para la difusión a partir de las variaciones de velocidad.
- La dispersión se calcula con base en partículas en 3D, para nubes o ambas simultáneamente.
- Las distribuciones de las nubes de partículas pueden ser Top-Hat o Gaussianas.
- Las concentraciones se estiman a partir del número de partículas en la celda o nube.



Componentes

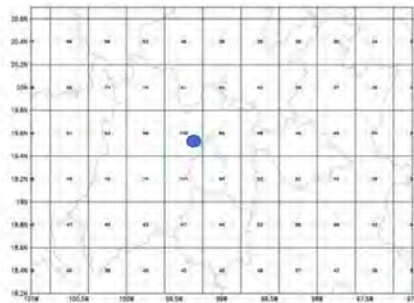
Los componentes de HYSPLIT son:

- 1) meteorología,
- 2) trayectorias,
- 3) dispersión y
- 4) concentración en el aire.



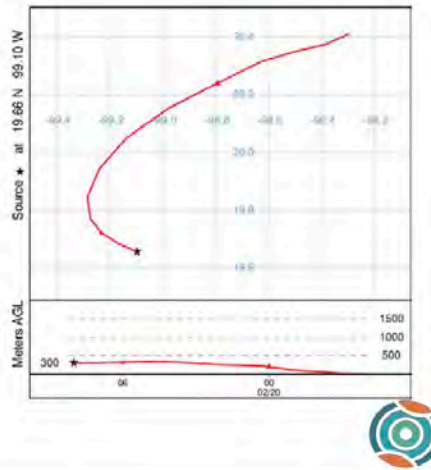
Meteorología

Los datos meteorológicos, como la **dirección del viento**, la **velocidad**, la **temperatura** y la **humedad**, se proporcionan en una cuadrícula espaciada regular en niveles múltiples de la atmósfera. En esta ilustración, sólo se muestra uno de cada 10 puntos de cuadrícula. En el ejemplo se muestran los valores en el punto de cuadrícula cerca de Cuautitlán, Edo Mex.



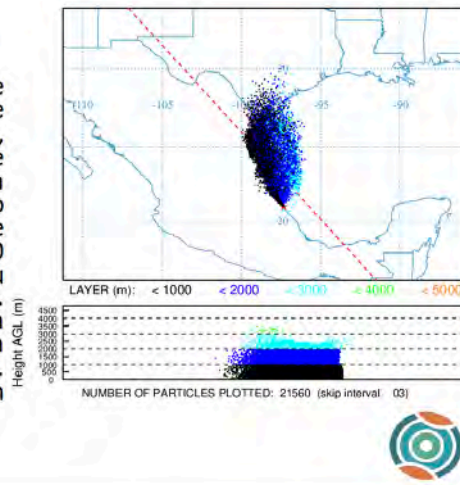
Trayectoria

Una trayectoria es la ruta de un sólo punto hipotético que se lleva pasivamente con el viento medio. Los datos meteorológicos se actualizan en cada paso de integración. En este ejemplo, iniciado en Cuautitlan, los puntos finales se muestran cada hora para las proyecciones horizontal y vertical.



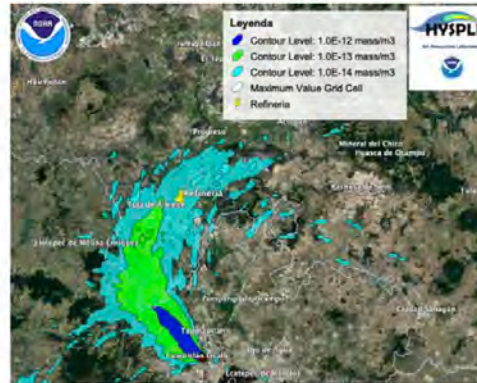
Dispersión

La dispersión se introduce calculando la trayectoria de muchos puntos. Sin embargo, cada trayectoria se ve perturbada por la turbulencia atmosférica aleatoria a lo largo de su recorrido. En este ejemplo, se liberaron 21560 partículas desde Tuxpan y su posición se muestra cada hora. Observe cómo se apartan de la trayectoria media, tanto en la horizontal como en la vertical. Las partículas más altas viajan con vientos más rápidos.



Concentración en el aire

Las concentraciones de aire se calculan sumando la masa de las partículas computacionales y dividiéndolas por el volumen de su distribución horizontal y vertical. En este ejemplo, el promedio de partículas se tomó durante 6 horas, la duración del cálculo, y la masa total de partículas fue una unidad de emisión.



Sitio de acceso a HYSPLIT

El HYSPLIT se puede acceder desde:

<https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>



HYSPLIT en español

- La Universidad de Huelva y la ARL-NOAA formalizaron un convenio para mostrar las salidas de predicciones de modelos de Arsénico e intrusiones de partículas de aire Saharianas así como para mostrar y usar el HYSPLIT en español, en el 2010 www.ciecem.uhu.es/hysplit
- En el 2015 se cambió al sitio <http://www.hysplit.uhu.es> y
- Actualmente en el sitio de HYSPLIT se encuentra la liga sólo que ya no se encuentra disponible.



Información meteorológica

- El HYSPLIT como mínimo requiere de: las velocidades de viento en u, v, w, la temperatura, presión de superficie y opcionalmente la humedad relativa o humedad en las tres dimensiones.
- Los datos meteorológicos se introducen en el formato de ARL para minimizar el tiempo de ejecución, este es un formato binario comprimido, en donde cada campo se introduce a cada nivel por cada período de tiempo y luego se repite según sea necesario,
- Todos los datos de pronóstico disponibles actualmente en los menús de HYSPLIT provienen de los centros nacionales del pronóstico ambiental (National Centers for Environmental Prediction NCEP) de la NOAA.
- El HYSPLIT para PC descarga datos directamente de los servidores de ARL de la NOAA. Existen opciones disponibles para cambiar a otros servidores FTP.



Datos de pronóstico y análisis

Pronóstico o Análisis:

Se requiere de registrarse para ejecutar el modelo de dispersión HYSPLIT con datos de pronóstico. Para análisis hay datos disponibles globales y para la región de Norteamérica.



Datos de pronóstico y análisis: Fuentes

Los datos Meteorológicos para pronósticos:

- North American Mesoscale (NAM)
- Rapid Update Cycle (RUC)
- Global Forecast System (GFS)

Para análisis:

- North American Mesoscale (NAM)
- NAM Data Assimilation System (NDAS, formalmente EDAS)
- Global Data Assimilation System (GDAS, formalmente FNL)
- Global Reanalysis



Sitios donde se encuentra información

<https://www.ready.noaa.gov/READYcmet.php>

<https://www.ready.noaa.gov/archives.php>

<https://www.nco.ncep.noaa.gov/pmb/products/>



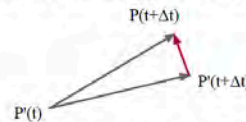
Cálculo de trayectorias

La advección de una partícula se calcula a partir del promedio de los vectores de velocidad tridimensionales en la posición inicial $P(t)$ y la posición inicial $P'(t+\Delta t)$. Los vectores de velocidad se interpolan linealmente tanto en el espacio como en el tiempo. La primera posición aproximada es

$$P'(t+\Delta t) = P(t) + V(P,t) \Delta t$$

y la posición final es

$$P(t+\Delta t) = P(t) + 0.5 [V(P,t) + V(P',t+\Delta t)] \Delta t$$

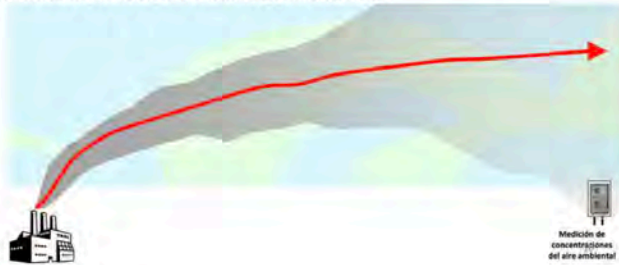


El paso de tiempo de integración (Δt) puede variar durante la simulación. Se calcula a partir de la restricción de que la distancia de advección por paso de tiempo debe ser menor que la dimensión de la celda. La velocidad máxima de transporte se determina a partir de la velocidad máxima de transporte durante la hora previa.



Influencia de la altura de emisión

A distancias mayores de 20 km de la fuente, cuando la trayectoria adelantada desde la fuente queda dentro de la capa límite, la fuente podrá impactar al punto de medición, aún cuando el punto final de la trayectoria cerca de ese punto no esté a la misma altura que el equipo de muestreo. Esto se debe al hecho de que la PBL está relativamente bien mezclada durante las horas diurnas.



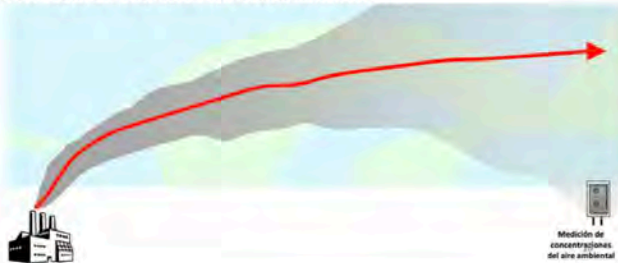
Influencia de la altura de emisión (2)

Durante la noche la capa límite es mucho más somera. Las emisiones de una chimenea alta podrían quedar sobre la altura de la PBL. En este caso, habrá poco o ningún impacto registrado por el equipo de muestreo a nivel de suelo hasta el día siguiente, cuando la altura de la capa de fricción vuelva a ascender.



Influencia de la altura de emisión

A distancias mayores de 20 km de la fuente, cuando la trayectoria adelantada desde la fuente queda dentro de la capa límite, la fuente podrá impactar al punto de medición, aún cuando el punto final de la trayectoria cerca de ese punto no esté a la misma altura que el equipo de muestreo. Esto se debe al hecho de que la PBL está relativamente bien mezclada durante las horas diurnas.



Influencia de la altura de emisión (4)

La implicación de estos conceptos para una trayectoria retrasada y la selección de la altura inicial de una trayectoria retrasada.

Si se inicia con una altura muy baja, el modelo de trayectorias no funciona muy bien porque las trayectorias descienden hasta el nivel de suelo y se detienen.

La “mejor” altura inicial para las trayectorias retrasadas podría ser el punto medio de la capa de mezclado (PBL).



Opciones de simulación

Una sola trayectoria no puede representar adecuadamente la expansión de una nube de contaminación cuando se varía el campo de viento en el espacio y tiempo. La simulación se debe realizar con muchas partículas contaminantes. El resultado se parece a una pluma porque la velocidad y la dirección del viento varían según la altura en la capa de mezclado.



Opciones de simulación

Las opciones para simular plumas basadas en trayectorias son:

Partículas: Una masa puntual de un contaminante. Se libera una cantidad fija con desplazamiento medio y aleatorio.

Nube: Un cilindro en 3D con una distribución creciente de concentraciones tanto vertical como horizontalmente. Una nube puede partirse si alcanza un tamaño mayor a la celda.

Híbrido: Un objeto 2D circular (masa plana con cero profundidad) donde el contaminante horizontal muestra una distribución en forma de nube y en lo vertical funciona como una partícula.





Aplicación de dispersión adelantadas

Dr. José Agustín García Reynoso




Meta y objetivos

Meta

- Generar mapas con zonas de concentración por dispersión de una emisión de fuente puntual.

Objetivos

Al terminar esta lección, el alumno estará capacitado para:

- Emplear un sistema web para la dispersión de emisiones.
 - Generar diferentes escenarios de dispersión.
 - Seleccionar la base de datos meteorológica para estudios de dispersión.
 - Despliegue de resultados empleando GoogleEarth.
- 

Realizar la actividad Sesión 6 parte 2

