



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE QUÍMICA**  
**SEMESTRE 2024-2**



**EVALUACIÓN DE LA DISPERSIÓN DE EMISIONES DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE CICLO COMBINADO VALLE HERMOSO PARA EL 2022.**

**ENTREGABLE V. MAPAS DE FRECUENCIAS DE LAS TRAYECTORIAS EN EL ÁREA**

**ESTANCIA ACADÉMICA (0216)**

**A MARZO DE 2024**

**TUTOR**

**Dr. José Agustín García Reynoso**

Instituto de Ciencias de la Atmósfera y

Cambio Climático

agustin@atmosfera.unam.mx

(+52) 55 56 22 43 96

**ALUMNO**

**Adriana Cruz Rosales**

Facultad de Química

No. de cuenta: 419014526

adrianarosales@comunidad.unam.mx

(+52) 999 272 41 08

## ÍNDICE DE CONTENIDO

---

ÍNDICE DE CONTENIDO	2
ÍNDICE DE TABLAS	2
ÍNDICE DE FIGURAS	2
CONTENIDO: RESULTADOS	4
Resultados de mapas de trayectorias	4
Resultados de mapas de clústeres	4
Resultados de mapas de frecuencia de trayectorias.	5
Resultados de mapas de emisiones o dispersiones	5
CONTENIDO: DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	7
Discusión de resultados de mapas de trayectorias	7
Discusión de resultados de mapas de clústeres	7
Discusión de resultados de mapas de frecuencias de trayectorias.	8
Discusión de resultados de mapas de emisiones o dispersiones	8
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	10

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Resultados. Niveles de concentración.	6
--	---

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1.	3
Serie de mapas de trayectorias individuales generados con datos de febrero, mayo, agosto y noviembre de 2022.	3
Figura 2.	3
Serie de mapas trajmean de trayectorias medias del clústeres generados con datos de febrero, mayo, agosto y noviembre de 2022.	3
Figura 3.	4
Serie de mapas de frecuencia de trayectorias generados con datos de febrero, mayo, agosto y noviembre de 2022.	4
Figura 4.	4
Serie de mapas de dispersión de emisiones (mass/m <sup>3</sup> ) generados con datos del 01 de febrero, 01 de mayo, 01 de agosto y 01 de noviembre de 2022.	4

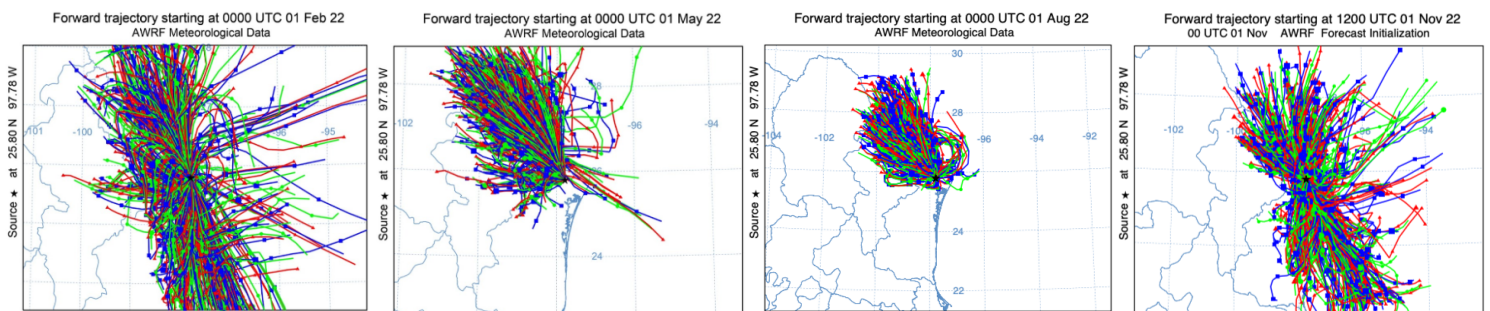
## CONTENIDO: RESULTADOS

### Resultados de mapas de trayectorias

Las trayectorias resultantes en el Entregable III. indican hacia dónde irá el aire, pues corresponden a trayectorias hacia adelante, ó *forward*.

Figura 1.

Serie de mapas de trayectorias individuales generados con datos de febrero, mayo, agosto y noviembre de 2022.



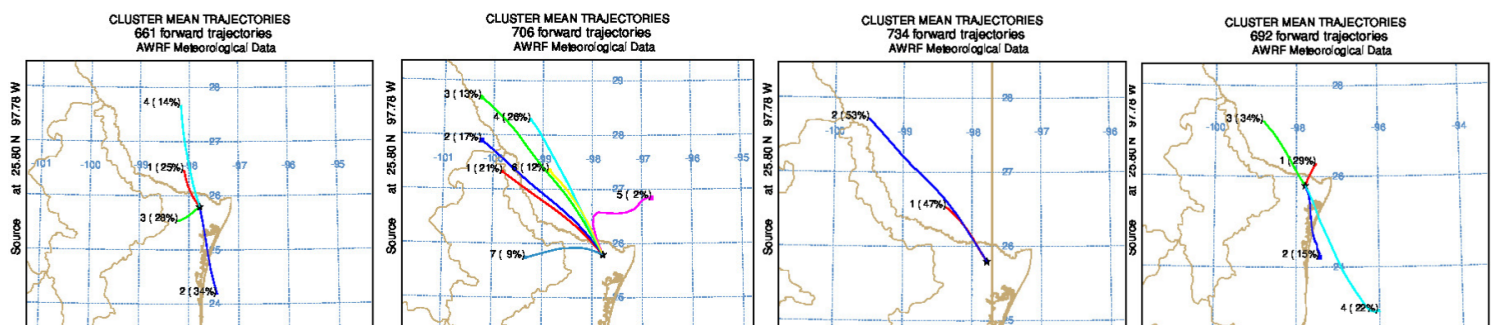
**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

### Resultados de mapas de clústeres

Los conjuntos o clústeres de mapas **trajmean** de trayectorias medias del clúster resultantes en el Entregable IV. muestran la media de las direcciones que toman las trayectorias en los mapas tipo **trajplot** resultantes.

Figura 2.

Serie de mapas trajmean de trayectorias medias del clústeres generados con datos de febrero, mayo, agosto y noviembre de 2022.



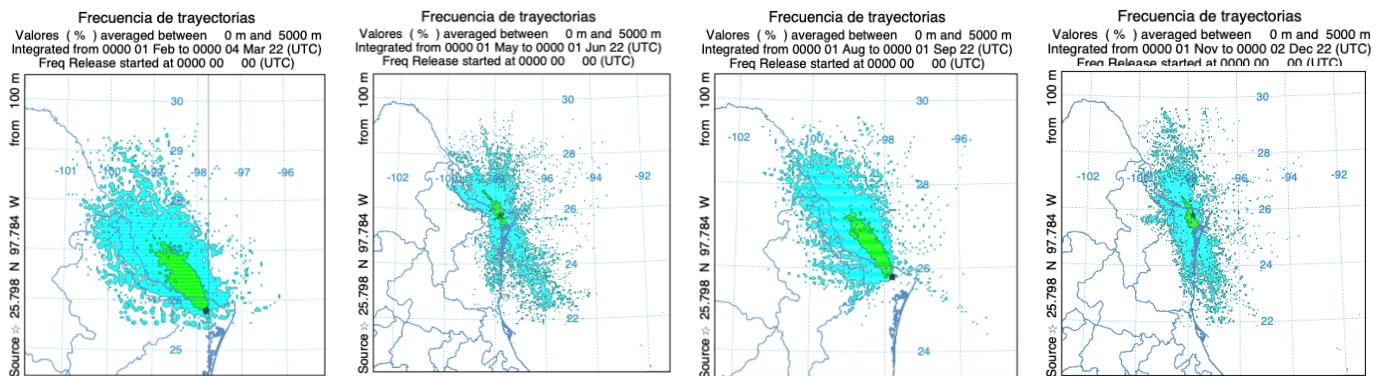
**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

## Resultados de mapas de frecuencia de trayectorias.

La frecuencia de trayectorias resultantes en el Entregable V. indican hacia dónde irá el aire, pues evalúa trayectorias *forward*.

**Figura 3.**

Serie de mapas de frecuencia de trayectorias generados con datos de febrero, mayo, agosto y noviembre de 2022.



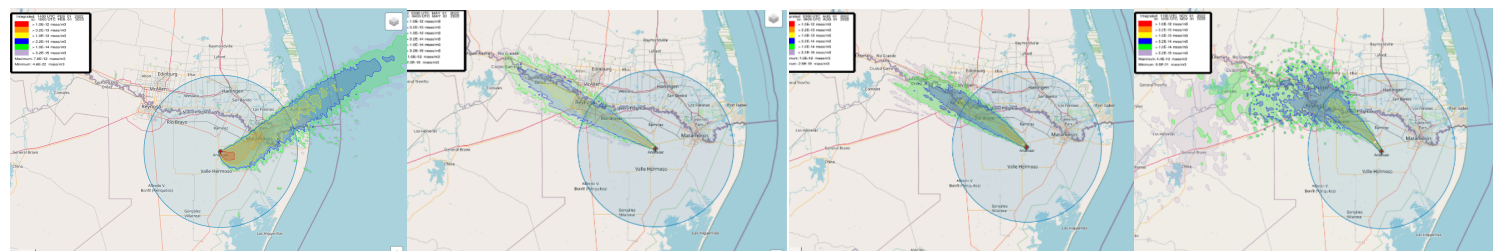
**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada en Python HYSPLIT model (2024).

## Resultados de mapas de emisiones o dispersiones

Los mapas de emisión resultantes se muestran en el Entregable VI.

**Figura 4.**

Serie de mapas de dispersión de emisiones (mass/m<sup>3</sup>) generados con datos del 01 de febrero, 01 de mayo, 01 de agosto y 01 de noviembre de 2022.



**Nota.** Fuente: Elaboración propia generada con HYSPLIT model (2024). Vista a 20 km, radio del círculo de 50.0-55.0 km.

Lat=25.5451 Lng=-99.2697 <https://www.ready.noaa.gov/hypub-bin/dispasrc.pl>

A partir de los mapas de emisiones generados en el entregable VI, se obtuvieron los resultados del cálculo de concentraciones en el Entregable VI. Se modelaron los días 01 de cada mes, escogiendo una hora de ese día, donde se tuvieran los mayores niveles de emisiones que llegarán a las localidades conurbadas cercanas en un radio de 50.0-55.0 km a la redonda.

**Tabla 1.**

Resultados Niveles de concentración								
CPA	Factor de emisión*			Emisión	Concentración			
	lb/10 <sup>6</sup> scf	lb/MMBtu	g/KWh		Febrero	Mayo	Agosto	Noviembre
						kg/m <sup>3</sup> µg/m <sup>3</sup> ppm		
Localidad perjudicada					Matamoros, Tamps.	Reynosa, Tamps.	Reynosa, Tamps.	Reynosa, Tamps.
SO <sub>x</sub> <sup>a</sup>	0.6	0.0006	1.08E-06	3.58E-01	1.15E-13 1.15E-04 3.50E-07	3.58E-14 3.58E-05 1.09E-07	1.15E-14 1.15E-05 3.50E-08	1.15E-14 1.15E-05 3.50E-08
NO	84.0	0.0824	127,482.353	5.02E+01	1.60E-11 1.60E-02 1.40E-05	5.02E-12 5.02E-03 4.38E-06	1.60E-12 1.60E-03 1.40E-06	1.60E-12 1.60E-03 1.40E-06
NO <sub>x</sub> <sup>o</sup>	76.0	0.0745	115,341.176	4.54E+01	1.45E-11 1.45E-02 7.72E-06	4.54E-12 4.54E-03 2.41E-06	1.45E-12 1.45E-03 7.72E-07	1.45E-12 1.45E-03 7.72E-07
COT	11.0	0.0108	16,694.118	6.57E+00	2.10E-12 2.10E-03 —	6.57E-13 6.57E-04 —	2.10E-13 2.10E-04 —	2.10E-13 2.10E-04 —
COV	5.5	0.0054	8,347.059	3.28E+00	1.05E-12 1.05E-03 —	3.28E-13 3.28E-04 —	1.05E-13 1.05E-04 —	1.05E-13 1.05E-04 —
CO <sub>2</sub>	120,000	117.6471	182,117,647.059	7.16E+04	2.29E-08 2.29E+01 1.27E-02	7.16E-09 7.16E+00 3.98E-03	2.29E-09 2.29E+00 1.27E-03	2.29E-09 2.29E+00 1.27E-03
CH <sub>4</sub>	2.3	0.0023	3,490.588	1.37E+00	4.39E-13 4.39E-04 6.70E-07	1.37E-13 1.37E-04 2.09E-07	4.39E-14 4.39E-05 6.70E-08	4.39E-14 4.39E-05 6.70E-08
N <sub>2</sub> O	2.2	0.0022	3,338.824	1.31E+00	4.20E-13 4.20E-04 2.34E-07	1.31E-13 1.31E-04 7.30E-08	4.20E-14 4.20E-05 2.34E-08	4.20E-14 4.20E-05 2.34E-08

**Nota.** Fuente: Elaboración propia, calculada con datos obtenidos de mapas dispersión de emisiones generados con HYSPLIT model (2024). <https://www.ready.noaa.gov/hypub-bin/dispasrc.pl>

**CPA:** Contaminante peligroso del aire. <sup>a</sup>: SO<sub>2</sub> y SO<sub>3</sub> se refiere a SO<sub>x</sub>. <sup>o</sup>: Las emisiones NO<sub>x</sub> son principalmente NO, éste reacciona y forma el NO<sub>2</sub> que absorbe la luz. <sup>\*</sup>: Factor de emisión: Datos obtenidos de Tablas reportadas por la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (EPA, 2023) en lb/10<sup>6</sup> scf de contaminantes provenientes de combustión de gas natural. ppm: Partes por millón (1 ppm = 2620 µg/m<sup>3</sup>) a condiciones de referencia 298.16 °K de temperatura y 101.3 kPa (kilopascal) de presión.

## CONTENIDO: DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En el Entregable V. se discuten los resultados considerando los objetivos del proyecto. Se identifican las zonas de influencia de las emisiones de la Central Termoeléctrica de Ciclo Combinado Río Bravo IV “Valle Hermoso”, mediante la modelación de la dispersión de calidad del aire realizada en los Entregables III., IV., V. y VI. con el propósito de evaluar la exposición de la población.

### Discusión de resultados de mapas de trayectorias

Las trayectorias resultantes en el Entregable III. indican hacia dónde irá el aire, pues corresponden a trayectorias hacia adelante, ó *forward*.

- En febrero de 2022, las trayectorias, en su mayoría, tomaron dirección y se aglomeraron al norte y sur desde la Central IV de C. C. (trazo negro), afectando al norte y sur de Tamaulipas. (Figura 1.)
- En mayo de 2022, las trayectorias, en su mayoría, tomaron dirección y se aglomeraron al noroeste desde la Central IV de C. C. (trazo negro), afectando al norte de Tamaulipas y al norte de Nuevo León. (Figura 1.)
- En agosto de 2022, las trayectorias, en su mayoría, tomaron dirección y se aglomeraron al norte, noroeste y noreste desde la Central IV de C. C. (trazo negro), afectando al norte de Tamps. y al norte de Nuevo León. (Figura 1.)
- En noviembre de 2022, las trayectorias, en su mayoría, tomaron dirección y se aglomeraron al norte, noroeste y noreste desde la Central IV de C. C. (trazo negro), afectando a los estados de Tamaulipas y Nuevo León. (Figura 1.)

### Discusión de resultados de mapas de clústeres

Los conjuntos o clústeres de mapas ***trajmean*** de trayectorias medias del clúster resultantes en el Entregable IV. muestran la media de las direcciones que toman las trayectorias en los mapas tipo ***trajplot*** resultantes. Esto es útil a la hora de hacer conclusiones sobre en qué dirección se aglomeran estas líneas conocidas como trayectorias. El conjunto de trayectorias resultantes provenientes de la fuente puntual Central IV de C. C. (trazo negro), indican hacia dónde irá el aire, pues corresponden a trayectorias hacia adelante, ó *forward*.

- En febrero de 2022, el conjunto de trayectorias, en su mayoría, tomaron dirección y se aglomeraron en el suroeste de Tamaulipas (28% línea verde) y suroeste (34% línea azul marino). (Figura 2.)
- En mayo de 2022, el conjunto de trayectorias, en su mayoría, tomaron dirección y se aglomeraron en el noroeste de Tamaulipas (26% línea azul aqua y 26% línea roja). También afectaron al norte de Nuevo León. (Figura 2.)
- En agosto de 2022, el conjunto de trayectorias, en su mayoría, tomaron dirección y se aglomeraron en el noroeste de Tamaulipas (53% línea azul marino y 47% línea roja). También afectaron el norte de Nuevo León. (Figura 2.)

- En noviembre de 2022, el conjunto de trayectorias, en su mayoría, tomaron dirección y se aglomeraron en el noroeste y noreste de Tamaulipas (34% línea verde y 29% línea roja). También afectaron el norte de Nuevo León. (Figura 2.)

### **Discusión de resultados de mapas de frecuencias de trayectorias.**

La frecuencia de trayectorias resultantes en el Entregable V. indican hacia dónde irá el aire, pues evalúa trayectorias hacia adelante, ó *forward*.

- Para febrero de 2022, el mapa de frecuencia de trayectorias (Figura 3.) indica que dichas trayectorias, en su mayoría, se aglomeraron al norte de Tamaulipas desde la Central IV de C. C. (estrella roja que indica el origen-fuente desde donde proviene la emisión) indicado por el color verde que indica una frecuencia en las trayectorias  $> 1\%$ . El mayor porcentaje de frecuencia de trayectorias fue de  $1.0 \times 10^2\%$ .
- Para mayo de 2022, el mapa de frecuencia de trayectorias (Figura 3.) indica que dichas trayectorias, en su mayoría, se aglomeraron al noroeste de Tamaulipas desde la Central IV de C. C. (estrella roja que indica el origen-fuente desde donde proviene la emisión) indicado por el color verde que indica una frecuencia en las trayectorias  $> 1\%$ . El mayor porcentaje de frecuencia de trayectorias fue de  $1.0 \times 10^2\%$ .
- Para agosto de 2022, el mapa de frecuencia de trayectorias (Figura 3) indica que dichas trayectorias, en su mayoría, se aglomeraron al noroeste de Tamaulipas desde la Central IV de C. C. (estrella roja que indica el origen-fuente desde donde proviene la emisión) indicado por el color verde que indica una frecuencia en las trayectorias  $> 1\%$ . El mayor porcentaje de frecuencia de trayectorias fue de  $1.0 \times 10^2\%$ .
- Para noviembre de 2022, el mapa de frecuencia de trayectorias (Figura 3.) indica que dichas trayectorias, en su mayoría, se aglomeraron al norte de Tamps. desde la Central IV de C. C. (estrella roja que indica el origen-fuente desde donde proviene la emisión) indicado por el color verde que indica una frecuencia en las trayectorias  $> 1\%$ . El mayor porcentaje de frecuencia de trayectorias fue de  $1.0 \times 10^2\%$ .

### **Discusión de resultados de mapas de emisiones o dispersiones**

Los mapas de emisión resultantes se muestran en el Entregable VI.

- El día 01 de febrero de 2022, la dispersión de contaminantes tomó dirección hacia el noreste del estado de Tamaulipas desde la fuente de origen, la Central IV de C. C. (cruz roja al centro del círculo). En un radio de 55.0 km se afectó al municipio de Matamoros, Tamps., siendo  $1.0 \times 10^{-12}$  (color naranja) el valor de factor de dilución. Este último es el dato que se obtiene de hacer la lectura a los mapas de emisiones generados en HYSPLIT, en unidades ( $\text{mass}/\text{m}^3$ ). (Figura 4.)
- El día 01 de mayo de 2022, la dispersión de contaminantes tomó dirección hacia el noroeste del estado de Tamaulipas desde la fuente de origen, la Central IV de C. C. (cruz roja al centro del círculo). En un radio de 50.0 km se afectó al municipio más poblado de esa entidad Reynosa, Tamps., siendo  $1.0 \times 10^{-13}$  (color amarillo) el valor de factor de dilución. Este último es el dato que se obtiene de hacer la lectura a los mapas de emisiones generados en HYSPLIT, en unidades ( $\text{mass}/\text{m}^3$ ). (Figura 4.)

- El día 01 de agosto de 2022, la dispersión de contaminantes tomó dirección hacia el noroeste del estado de Tamps. desde la fuente, la Central IV de C. C. (cruz roja al centro). En un radio de 55.0 km se afectó al municipio más poblado de esa entidad Reynosa, Tamps., siendo  $3.2 \times 10^{-14}$  (color azul) el valor de factor de dilución. Este último es el dato que se obtiene de hacer la lectura a los mapas de emisiones generados en HYSPLIT, en unidades (mass/m<sup>3</sup>). (Figura 4.)
- El día 01 de noviembre de 2022, la dispersión de contaminantes tomó dirección hacia el noroeste del estado de Tamaulipas desde la fuente, la Central IV de C. C. (cruz roja al centro del círculo). En un radio de 55.0 km se afectó al municipio de Reynosa, Tamps., siendo  $3.2 \times 10^{-14}$  (color azul) el valor de factor de dilución. Este último es el dato que se obtiene de hacer la lectura a los mapas de emisiones generados en HYSPLIT, en unidades (mass/m<sup>3</sup>). (Figura 4.)

Los mapas de trayectorias, clústeres y frecuencias son útiles para realizar un análisis cualitativo a partir de la observación de los mapas. Sin embargo, los mapas de emisiones, conjuntan este mismo análisis cualitativo con el análisis cuantitativo, pues se calculan numéricamente las **estimaciones** de las concentraciones de emisiones a la atmósfera.

A partir de los mapas de emisiones generados en el entregable VI, se obtuvieron los resultados del cálculo de concentraciones en el Entregable VII. (Tabla 1.)

Al comparar los niveles de concentración estimados (Tabla 1.), los cuales representan una hora en particular de ese día donde se tuvieron los mayores niveles de emisiones que llegaran a las localidades conurbadas cercanas en un radio de 50.0-55.0 km a la redonda, con los niveles de concentración normados de óxidos de azufre SO<sub>x</sub> (SO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub> (NO<sub>2</sub>) (Tabla 2. Entregable I. Documento marco teórico de Estancia), se observan diferencias significativas:

- En febrero de 2022 se obtuvo una concentración de emisiones de SO<sub>x</sub> (SO<sub>2</sub>) de 1.15E-04 µg/m<sup>3</sup> (3.50E-07 ppm), en mayo de 2022 de 3.58E-05 µg/m<sup>3</sup> (1.09E-07 ppm), en agosto y diciembre de 2022 de 1.15E-05 µg/m<sup>3</sup> (3.50E-08 ppm). La norma NOM-023-SSA1-1993 indica que no se debe de exceder en 1 hora los 524 µg/m<sup>3</sup> (0.200 ppm) de concentración en emisiones de este contaminante atmosférico. La Central IV de C. C. no excede estos límites cumpliendo con la normatividad vigente.
- En febrero de 2022 se obtuvo una concentración de emisiones de NO<sub>x</sub> (NO<sub>2</sub>) de 1.45E-02 µg/m<sup>3</sup> (7.72E-06 ppm), en mayo de 2022 de 4.54E-03 µg/m<sup>3</sup> (2.41E-06 ppm), en agosto y diciembre de 2022 de 1.45E-03 µg/m<sup>3</sup> (7.72E-07 ppm). La norma NOM-023-SSA1-1993 indica que no se debe de exceder en 1 hora los 395 µg/m<sup>3</sup> (0.210 ppm) de concentración en emisiones de este contaminante atmosférico. La Central IV de C. C. no excede estos límites cumpliendo con la normatividad vigente.

La Central IV de C. C. no excede los límites de niveles de concentración de óxidos de azufre SO<sub>x</sub> (SO<sub>2</sub>) ni de óxidos de nitrógeno NO<sub>x</sub> (NO<sub>2</sub>) cumpliendo con la normatividad vigente.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Air Resources Laboratory, NOAA's Office of Atmospheric Research, National Oceanic and Atmospheric Administration. *Run HYSPLIT Dispersion model*. (s. f.). <https://www.ready.noaa.gov/hypub-bin/dispasrc.pl>
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. (2021). *NOM-085-SEMARNAT-2011. Niveles máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y medición*. Diario Oficial de la Federación. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/134768/29.-\\_NORMA\\_OFICIAL\\_MEXICANA\\_NOM-085-SEMARNAT-2011.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/134768/29.-_NORMA_OFICIAL_MEXICANA_NOM-085-SEMARNAT-2011.pdf)
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. (2010). *NMX-AA-089/2-SCFI-2010. Protección al ambiente - Calidad del agua*. Diario Oficial de la Federación. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/134768/29.-\\_NORMA\\_OFICIAL\\_MEXICANA\\_NOM-085-SEMARNAT-2011.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/134768/29.-_NORMA_OFICIAL_MEXICANA_NOM-085-SEMARNAT-2011.pdf)
- Dr. García Reynoso, J. A. (2019). Introducción al modelo HYSPLIT. Gobierno de México. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/864306/Sesion\\_6\\_Introduccion\\_modelo\\_HYSPLIT.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/864306/Sesion_6_Introduccion_modelo_HYSPLIT.pdf)
- Dr. García Reynoso, J. A. (2023). *Protección Ambiental del aire*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. ISBN: 9786073059251