

UACM

Universidad Autónoma
de la Ciudad de México

NADA HUMANO ME ES AJENO

COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES

LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

**Análisis Espacial para la Evaluación del Impacto Ambiental Atmosférico por
Contaminación de Monóxido de Carbono, a través de un Sistema de Información
Geográfico para la Ciudad de México de 2020-2021**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN CIENCIAS AMBIENTALES Y CAMBIO CLIMÁTICO

P R E S E N T A :

JORGE ALBERTO GONZÁLEZ RAMÍREZ

D I R E C T O R

DR. OSWALTH MANUEL BASURTO BRAVO

Ciudad de México, febrero 2026.

SISTEMA BIBLIOTECARIO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LA CIUDAD DE MÉXICO COORDINACIÓN ACADÉMICA

RESTRICCIONES DE USO PARA LAS TESIS DIGITALES

DERECHOS RESERVADOS[©]

La presente obra y cada uno de sus elementos está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor; por la Ley de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México, así como lo dispuesto por el Estatuto General Orgánico de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México; del mismo modo por lo establecido en el Acuerdo por el cual se aprueba la Norma mediante la que se Modifican, Adicionan y Derogan Diversas Disposiciones del Estatuto Orgánico de la Universidad de la Ciudad de México, aprobado por el Consejo de Gobierno el 29 de enero de 2002, con el objeto de definir las atribuciones de las diferentes unidades que forman la estructura de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México como organismo público autónomo y lo establecido en el Reglamento de Titulación de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

Por lo que el uso de su contenido, así como cada una de las partes que lo integran y que están bajo la tutela de la Ley Federal de Derecho de Autor, obliga a quien haga uso de la presente obra a considerar que solo lo realizará si es para fines educativos, académicos, de investigación o informativos y se compromete a citar esta fuente, así como a su autor ó autores. Por lo tanto, queda prohibida su reproducción total o parcial y cualquier uso diferente a los ya mencionados, los cuales serán reclamados por el titular de los derechos y sancionados conforme a la legislación aplicable.

Contenido

Introducción	1
Objetivo general	3
Objetivos específicos	3
Capítulo I. La atmósfera: composición, estructura y función en el medio físico	4
I.I Capas de la atmósfera	8
I.II De lo cotidiano a lo global: clasificación de los fenómenos atmosféricos.....	12
Capítulo II. Características y comportamiento del monóxido de carbono en la atmósfera y la salud humana.....	19
II.I Efectos tóxicos del CO en el organismo humano	22
II.II Sistemas de monitoreo ambiental: seguimiento y medición del monóxido de carbono en la ciudad de México	24
Capítulo III. Cumbres internacionales y el derecho a un medio ambiente sano: el rol de la evaluación de impacto ambiental en américa latina	31
III.I La Declaración de Río de 1992: principios para el desarrollo sostenible y la protección ambiental	38
III.II El procedimiento de evaluación de impacto ambiental en México	44
Capítulo IV. Sistemas de información geográfica e interpolación: aplicaciones en el análisis espacial.....	48
IV.I Sistemas de Información Geográfica (SIG)	50
IV.II Funciones de los SIG	51
IV.III Aplicaciones geoespaciales en el análisis ambiental: estudios de caso con QGIS.	53
IV.IV Estudios de caso con QGIS:.....	53
1. Contaminación difusa y gestión de cuencas (H. Lee, 2022)	53
2. Gestión de recursos hídricos subterráneos (De Filippis et al, 2020).	54

3. Dinámica del uso del suelo en el sur de India (Padma et al, 2022).	54
4. Creación de mapas web con QGIS (Basholli et al, 2025).	54
IV.V Perspectivas futuras de los SIG	54
Capítulo V. Metodología por el método de interpolación IDW en QGIS para el análisis espacial del monóxido de carbono en la Ciudad de México en los años 2020 y 2021.	57
V.I Preparación de los datos	60
V.II Aplicación del método IDW en QGIS	61
V.III ¿Qué es un archivo CSV?	61
V.IV Distribución espacial de CO, variaciones mensuales (enero 2020).	64
V.V Resultados del análisis espacial	65
V.VI. Comparación con la norma NOM-021-SSA1-2021	65
Discusión	80
Conclusión General	87
Bibliografía	92

Introducción

El confinamiento derivado de la pandemia por la enfermedad por coronavirus de 2019 Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) durante los años 2020 y 2021, provocó una drástica reducción en las actividades económicas, el transporte y la movilidad urbana. Esta situación abrió una ventana de oportunidad para observar cambios en los niveles de contaminación atmosférica, especialmente en zonas urbanas densamente pobladas como la Ciudad de México. En este contexto, surge la presente investigación, que tiene como propósito establecer un perfil del nivel de contaminación por monóxido de carbono (CO) durante el período mencionado, aprovechando tanto la reducción temporal de emisiones como la disponibilidad de documentación, instrumentos jurídicos y datos ambientales generados en esos años.

El estudio plantea un enfoque cuantitativo, complementado con un análisis espacial geográfico detallado, con el objetivo de realizar una evaluación del impacto ambiental a partir de la variación espacio temporal de los niveles de CO. Para ello, se propone elaborar un modelo espacial que permita visualizar la dispersión y los patrones de distribución del contaminante, así como identificar las zonas con mayores concentraciones y los meses en que se alcanzan los valores máximos, verificando si estos superan los límites establecidos por la normativa ambiental vigente.

Como eje central de esta tesis, se plantea que toda evaluación de impacto ambiental debe sustentarse en un sistema que integre información precisa y actualizada sobre el estado del medio ambiente. En este sentido, los Sistemas de Información Geográfica

(SIG) representan una herramienta esencial para el manejo de datos espaciales ya que permiten la combinación, análisis y visualización de información georreferenciada. A través del uso de los SIG es posible generar un modelo integral que facilite la toma de decisiones en materia ambiental y contribuya al diseño de políticas públicas orientadas a la sostenibilidad.

Objetivo general

- Demostrar la aplicabilidad del Sistema de Información Geográfico QGIS para georreferenciar y analizar la distribución espacial de la contaminación atmosférica por Monóxido de Carbono (CO) utilizando el método de interpolación en la Ciudad de México en los años 2020 y 2021.

Objetivos específicos

- Analizar la variación espacial y temporal de las concentraciones de monóxido de carbono en la Ciudad de México durante los años 2020 y 2021, a partir de datos de estaciones de monitoreo atmosférico, en el contexto del confinamiento.
- Identificar los patrones espaciales de distribución y dispersión mensual del monóxido de carbono en la Ciudad de México entre los años 2020 y 2021 mediante técnicas de análisis espacial en un Sistema de Información Geográfico.
- Interpretar la distribución espacial de las concentraciones de monóxido de carbono en la Ciudad de México durante 2020 y 2021 mediante su comparación referencial con los valores establecidos en la normativa ambiental nacional, como criterio técnico para el análisis espacial.
- Representar cartográficamente la distribución espacial de las concentraciones de monóxido de carbono en la Ciudad de México durante 2020 y 2021 a partir de superficies interpoladas generadas en un Sistema de Información Geográfico.

Capítulo I. La atmósfera: composición, estructura y función en el medio físico

Para este primer capítulo se tiene preparado una descripción sobre las capas de la atmósfera y su composición física, la atmósfera desde el punto de vista teórico como un elemento que ocupa espacio entre nosotros y un recurso ambiental muy importante que integra el medio físico.

Así que se puede decir, la atmósfera es el medio donde se desarrolla la vida y los organismos vivos interactúan entre sí. Un soporte donde se pueden relacionar los factores bióticos y abióticos para formar parte de un sistema ambiental heterogéneo.

Aunque la atmósfera a primera vista parece en su totalidad ser una sola, no obstante, en cuanto se ha profundizado su estudio se ha visto que presenta discontinuidades en sus propiedades físicas que permite dividir ésta en capas clasificadas y diferenciadas (Martí Boada, 2003).

Aunque existen varias teorías sobre la formación de la atmósfera y la línea exacta de esta formación no es absolutamente etendida, en la comunidad científica se a deliberado que la atmósfera evolucionó “de una atmósfera primaria formada principalmente de gases nobles, seguido de una condensación de éstos y de su escape de la Tierra. Posteriormente, se formó una atmósfera secundaria proveniente de gases escapando del interior de la Tierra, pasando de una atmósfera sin oxígeno a una atmósfera con oxígeno¹ (Reyes, 2001 citado en Martínez, 2009, p. 2).

¹ Brañes, R., *Derecho y política ambiental (Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica, 2018, p. 514)*. La atmósfera con oxígeno dentro de la cual se han creado y desarrollado las formas de vida terrestre que conocemos; se formó mediante un proceso de oxigenación de esta que llevó millones de años. Esta oxigenación permitió a su vez la formación de una capa de ozono en la parte superior de la atmósfera, que protege la vida terrestre de los efectos letales de la radiación ultravioleta.

La primera atmósfera terrestre, compuesta principalmente por hidrógeno (H_2) y helio (He), se originó a partir de los gases presentes en la nebulosa solar primitiva durante la formación del planeta. Sin embargo, esta atmósfera fue efímera, ya que la gravedad de la joven Tierra no fue suficiente para retener los gases ligeros, los cuales escaparon al espacio debido a las altas temperaturas y a la intensa radiación solar. Además, el viento solar del Sol recién formado contribuyó a barrer gran parte de estos componentes gaseosos. Como resultado, la Tierra perdió su envoltura gaseosa original (E. J. Tarbuck, 2016, p.452).

Para la segunda fase nacen los gases que formarían la llamada atmósfera secundaria; dióxido de carbono, vapor de agua, nitrógeno y gases sulfurosos eran ahora componentes de la atmósfera. Luego, favorablemente vino la calma y conforme la atmósfera comenzó a condensarse, surgió la lluvia. Se piensa que un período de lluvias formó los océanos, inicialmente ricos en ácido carbónico, y al pasar el tiempo el ácido carbónico terminó precipitado, para crear rocas carbonatadas, por su parte, el dióxido de carbono se sedimentó en lo profundo del mar.

Posteriormente, las descargas eléctricas en la atmósfera y el calor del ambiente reaccionaron con compuestos como el amoníaco, el metano y el hidrógeno, los cuales aportaban nitrógeno, carbono e hidrógeno, elementos necesarios para formar las primeras moléculas orgánicas. Junto con el oxígeno presente en el agua, estos compuestos habrían servido como materia prima para el origen de la vida. Más adelante, cuando la atmósfera experimentó un cambio significativo, las bacterias fotosintéticas ya habrían comenzado a liberar oxígeno.

Así pues, la atmósfera por estar formada en su casi totalidad por gases, se puede decir que es una envoltura gaseosa que rodea a la Tierra, compuesta homogéneamente por la combinación de estos, por tanto, todo el espacio que vemos en la Tierra que

aparentemente esta vacío en realidad es oxígeno junto con la combinación de gases. Es decir que no hay espacio vacío, es la mezcla de gases y partículas los que están ocupando el espacio.

Generalmente la atmósfera parece estar formada en su totalidad por una masa de gases, o bien, una masa casi homogénea por estar mezclados de manera uniforme. De modo que hoy en día se puede discutir su composición. En este sentido, para esclarecer la pregunta de qué está compuesta la atmósfera, se presenta una explicación para poder entender las bases físicas del sistema de la atmósfera y posteriormente comprender algunos de los fenómenos meteorológicos que en ella ocurren.

1. Por un lado, se tienen los gases que podemos llamar permanentes o más comunes.

Estos gases son el nitrógeno con un 78.1% del total atmosférico, luego viene el oxígeno que alcanza el 20.9%, y el argón con una concentración de 0.93% del total atmosférico.

2. Por otro lado, están los gases cuya concentración depende del lugar, la temperatura, conductividad térmica y la contaminación que el ser humano provoca.

Estos gases están concentrados en menor cantidad, el dióxido de carbono con el 0.034% y otros gases como el helio y ozono.

3. En el tercer punto, tenemos los gases en menor cantidad, pero que completan el espacio de la atmósfera, la concentración como la del monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y metano depende de la localidad y la altura.

4. Y por último los gases que tienen gran importancia en los distintos procesos meteorológicos como el vapor de agua, el dióxido de carbono y el ozono troposférico. (Parafraseo. Martínez, 2009, p. 3).

Para llegar a describir las propiedades fisicoquímicas, se presentaron discontinuidades en los componentes de la atmósfera y es que estudiando esta parte es como se pudo caracterizar a la atmósfera en capas. De modo que hoy se sabe que la atmósfera comienza en la superficie de la Tierra, mientras tanto no existe consenso sobre la distancia que termina.

CAPAS DE LA ATMÓSFERA

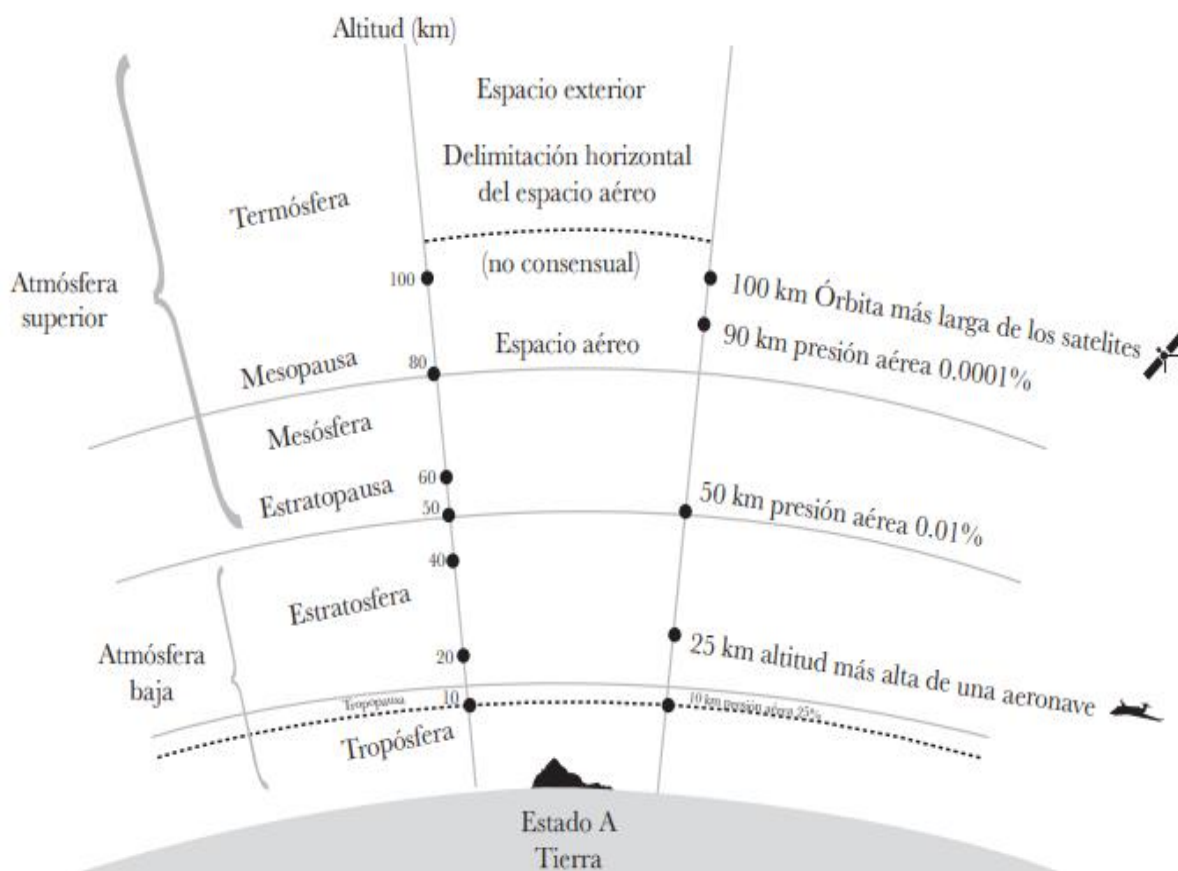


Figura 1. Capas de la atmósfera terrestre determinadas cada una por nombre y altitud (Km). Tomado de (Anglés, 2023, p. 149).

La Figura 1 muestra que la estructura y características varían con la altura. Se han identificado 5 capas de la atmósfera de acuerdo con un factor clave, que es la temperatura, ya que cada capa tiene sus propias moléculas, por ejemplo, que tan densas son y cómo se mueven, esta dinámica molecular las diferencia una capa de otra. Y entre una y otra capa hay una especie de pausa o corte, justo donde todo cambia de golpe.

Así la atmósfera se acomoda en cinco capas con importantes funciones, como retener el calor, filtrar la radiación ultravioleta, permitir la existencia de agua líquida. Igualmente, en la atmósfera se dan las estaciones del año.

I.I Capas de la atmósfera

1. La tropósfera es la primera capa que se extiende desde el nivel de mar hasta los 20 kilómetros de altitud. El 95% de la masa gaseosa de la atmósfera se concentra en la troposfera. Dentro de esta se desarrolla la vida y por su carácter cambiante ocurren algunos fenómenos atmosféricos, como las lluvias, tormentas, arcoíris, relámpagos. También es importante saber que en la tropósfera pasan cosas clave para la vida, como los ciclos del oxígeno, el agua, el carbono y el nitrógeno. Básicamente en esta capa se repiten estos procesos naturales que mantienen todo en equilibrio. Está formada en su mayoría por dos gases, el nitrógeno en un 78% y el oxígeno con 21%. También se encuentran presentes el argón con cerca de 0.8%, el dióxido de carbono 0.35% y el vapor de agua con 5%. El límite superior se denomina

tropopausa y puede presentarse como una inversión de temperatura. Es decir, la temperatura disminuye con la altura.

2. La estratosfera comienza desde la tropopausa hasta cerca de 50 kilómetros aproximadamente y se divide en dos capas por la densidad del aire, es decir, posee dos capas en una. La capa de abajo es donde se acumula el aire frío, que es más pesado y la de arriba es donde se junta el aire caliente, que es más liviano. Por eso se llama “estratósfera” porque todo está en capas. Aquí no se presentan procesos de convección ya que es altamente estable a comparación con la tropósfera. La estratósfera concentra alrededor del 19% de los gases que conforman la atmósfera, aunque tiene muchísimo menos vapor de agua que la tropósfera (alrededor de mil veces menos). En esta capa la temperatura es mayor conforme se asciende, principalmente a la presencia de la capa de ozono porque absorbe la radiación ultravioleta del sol y la convierte en calor. El límite entre esta capa y la siguiente se llama estratopausa y tiene una temperatura que es casi la misma que en la superficie de la tierra.
3. La mesósfera es la capa intermedia de la atmósfera ubicada por encima de la estratósfera y extendiéndose hasta aproximadamente los 80 km de altitud. En esta región la temperatura disminuye progresivamente con la altura desde los -5 grados centígrados hasta alcanzar los -140° C. En esta capa es donde los meteoros suelen desintegrarse al ingresar a la atmósfera, provocando el fenómeno que conocemos como estrellas fugaces. Esto ocurre porque, aunque el aire es escaso aún hay suficiente gas para generar fricción. El

límite superior de la mesósfera se llama mesopausa; en esta zona la temperatura puede descender hasta los -100°C . Estudiar la mesopausa contribuye a la comprensión de la dinámica atmosférica y los cambios en la radiación solar.

4. Entre las capas superiores se tiene a la termósfera, esta ocupa un espacio vertical que va de los 85 km hasta aproximadamente 640 kilómetros. La temperatura en esta región es alrededor de 2480°C por la capacidad del oxígeno atómico para absorber la radiación solar. (Tal y como sucede en la capa de ozono). No obstante, en la termósfera hay pocas moléculas de gas que el calor no se transfiere de forma efectiva. El aire en esta capa es extremadamente denso y se compone de nitrógeno y oxígeno, en la parte baja de la termósfera el dióxido de carbono se descompone por la acción de la luz solar, generando monóxido de carbono lo cual produce concentraciones superiores a 60 ppm. El límite superior de esta capa se conoce como termopausa.
5. La siguiente capa más lejana de la superficie terrestre se llama exósfera, después de esta se encuentra el espacio exterior. Se ubica entre los 700 y 10 000 kilómetros de altitud, siendo la capa más extensa de la atmósfera. La temperatura varía entre 0 y 1700°C . En la exósfera existen los gases más livianos como el hidrógeno y el helio, aunque en cantidades muy bajas. Las moléculas están tan alejadas entre sí que ya no se comportan como un gas común y muchas logran escapar hacia el espacio. Esta región es extremadamente fría y carece de oxígeno.

En síntesis, cada capa de la atmósfera tiene una particular forma de interactuar y que para organismos como nosotros el proceso atmosférico más importante es la formación del oxígeno. Sin embargo, existe otro proceso atmosférico vital que le da soporte a la vida en la Tierra, y es la función de la capa de ozono; ya que se habló de esta superficialmente en los párrafos anteriores:

Noventa por ciento o más del ozono se produce en la parte alta de la estratosfera, a 50 km de la superficie terrestre y corresponde al ozono benéfico, protector de la radiación ultravioleta. Diez por ciento del ozono se produce en las grandes ciudades, a nivel de la superficie terrestre o troposfera y es un componente del smog (Clarke, 2006). A todo esto por esclarecer los dos tipos de ozono con los que interactúan los seres vivos².

A lo largo de 30 años, a partir de las negociaciones del Protocolo de Montreal³ en 1987 se ha estudiado a detalle la capa de ozono, se sabe que es un gas traza que es parte del 0.01% hablando de toda la atmósfera. Como ya se ha estudiado el ozono es una molécula compuesta por tres átomos de oxígeno, un gas fundamental en la atmósfera

² Climático, F., *Cambio climático y atmósfera terrestre* (Madrid: Editorial Ciencias del Clima, 2007, p. 85). *En la troposfera, el ozono se genera tanto espontáneamente como mediante reacciones fotoquímicas de gases resultantes de actividades humanas (smog). El ozono troposférico actúa como gas de efecto invernadero. En la estratosfera, el ozono es generado por la interacción entre la radiación ultravioleta solar y las moléculas de oxígeno (O₃). El ozono estratosférico desempeña un papel fundamental en el equilibrio radiativo de la estratosfera. Su concentración más alta se encuentra en la capa de ozono.*

³ Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), *Protección de la capa de ozono: Historia del Protocolo de Montreal* (Nairobi: PNUMA, 2007, p.22). *El Convenio de Viena facultó al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) a elaborar un protocolo que incluyera medidas de control para recuperar la capa de ozono. Como resultado de las negociaciones, en 1987 se firmó el Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono, acuerdo global ambiental que regula el consumo y producción de las sustancias agotadoras de la capa de ozono, conocidas como SAO. Hoy en día, el Protocolo de Montreal está ratificado por los 197 países de la comunidad internacional. En 1988, México fue uno de los primeros países en firmarlo y ratificarlo (SEMARNAT, 2022).*

que en vuelve a la tierra, en este sentido para entender que tan delgada es la capa ozono se cita el siguiente fragmento:

Si se trajera la capa de ozono a la superficie de la tierra a temperatura y presión estándar, ésta mediría 3 mm de grosor. A esta medida de 3 mm, se le asignó, arbitrariamente, el valor de 300 UD⁴ que corresponde, aproximadamente, al promedio global de la columna de ozono. En los últimos treinta años, el ozono de la estratosfera ha sido estudiado con dedicación y una característica importante de la capa de ozono, es que tiene un comportamiento extremadamente dinámico y su grosor varía constantemente. Por este motivo, el valor promedio de 300 UD debe ser considerado como un marco de referencia, ya que los niveles de la columna de ozono dependen de: a) la ubicación geográfica: la capa de ozono es más delgada en el Ecuador que en latitudes medias y, en general, en el hemisferio sur los valores de la columna de ozono son más bajos que en el hemisferio norte; b) las estaciones: los niveles más bajos se presentan a fines del invierno e inicio de primavera y los más altos, a fines del verano e inicio de otoño en ambos hemisferios. Los registros más bajos de todo el planeta se dan sobre la Antártica en los meses de septiembre y octubre; c) fenómenos naturales: actividad solar, explosiones volcánicas que aportan gases que destruyen el ozono y las corrientes de aire de la estratosfera, responsables del desplazamiento de las moléculas de ozono (Clarke, 2006).

I.II De lo cotidiano a lo global: clasificación de los fenómenos atmosféricos

A diario se habla de el “tiempo”, “prósnotico del tiempo” o “clima” como uno solo, es decir, de igual manera se utiliza la palabra “clima” para informar sobre las predicciones metereológicas en los proximos días y en otras veces se usa el término “pronóstico del tiempo”, causando confusión en la gente. Lo anterior son conceptos que se ven casi siempre en muchos medios de comunicación.

Ahora, hablando específicamente dentro de la vida cotidiana de la gente, al notar cambios repentinos en las condiciones atmosféricas, como una fuerte lluvia con vientos

⁴ Clarke, A., *Introducción al ozono atmosférico* (Madrid: Editorial Ambiental, 2006, p. 7). El término “columna de ozono” se refiere a cuántas moléculas de ozono hay en el aire sobre cierto punto en la Tierra y esta cantidad se expresa en “unidades Dobson” (UD).

después de varios días muy soleados, dice la gente, “el clima esta loco” mientras que otras dan respuesta y dicen, “es por el cambio climático”.

De ser así, ¿Cuándo se debe usar el término tiempo atmosférico y clima? Es fundamental distinguir entre los conceptos de tiempo atmosférico y clima ya que esta diferenciación permite comprender con mayor precisión los fenómenos meteorológicos que suceden a diario. Desde una perspectiva académica, el estudio de dichos fenómenos permite identificar sus efectos, los cuales pueden manifestarse en formas tan diversas como precipitaciones ligeras, tormentas intensas o sequías prolongadas. Estos fenómenos se categorizan según el tiempo de duración, pueden influir desde un día hasta o afectar a las generaciones futuras.

Dentro del planeta Tierra existen una gran cantidad de fenómenos atmosféricos, algunos catastróficos y algunos necesarios para la vida. Algunos de estos se dan a nivel de la tropósfera, como el viento, las lluvias, relampagos, truenos, tormentas, e incluso los arcoiris, por decir algunos fenómenos observados en la vida cotidiana. Las auroras boreales o australes se dan a nivel de la magnetósfera. Dentro de esta gama de fenómenos atmosféricos algunos pueden durar días, otros pueden durar meses y otros años, décadas e inclusive siglos. En este sentido, científicamente estos eventos están caracterizados por su naturaleza y escala temporal, precisamente para evitar confusión y poder identificar los fenómenos que se experimentan.

Sabiendo esto, lo que se intenta explicar es qué fenómenos atmosféricos están relacionados cuando se habla del tiempo, y qué fenómenos atmosféricos están relacionados cuando se habla del clima.

De acuerdo con la sociedad meteorológica de los Estados Unidos (AMS):

se define al tiempo meteorológico como el estado atmosférico actual, y que está relacionado principalmente con los efectos en la vida y las actividades humanas. Como lo establecen en su definición, popularmente el tiempo se percibe en términos de temperatura, humedad, lluvia, nubosidad, visibilidad, y viento (AMS, 2018). En cambio clima se refiere a las variaciones en el largo plazo del sistema atmósfera-hidrosfera-tierra, por lo que clima se define, entonces, como las condiciones medias del tiempo durante periodos de 30 años o más (AMS, 2018).

Entonces, al cuestionarse cómo va a estar el clima hoy, mañana o en una semana, la respuesta sería igual que ayer o hace cinco días, o como hace diez años, (no hay diferencia). A su vez que los fenómenos que se consideran dentro de esta categoría tienen un factor en común que los caracteriza; y es el espacio que abarcan. Por consiguiente el calentamiento global, cambio climático y sequías son fenómenos medidos en tiempo y espacio. A partir de esta definición se entiende que cambio climático son los cambios en las condiciones medias del sistema atmósfera-hidrosfera-tierra en un lapso de tiempo de al menos 30 años (IPCC, 2013).

Los estudios atmosféricos implican analizar diversos tipos de fenómenos que pueden durar desde un mes hasta el tiempo de una estación. Se les conoce como variabilidades interestacionales. Hay varios ejemplos como son La Niña y su contraparte El Niño, la Oscilación Madden-Julian, así también los monzones un concepto utilizado en las películas románticas para describir lo que duró el amor entre una pareja, “nuestro amor fue un monzon de verano”, es decir estos fenómenos duran aproximadamente de tres a cinco meses. En la Ciudad de México se estaría marcando el monzon entre los meses de mayo hasta finales de septiembre.

Asimismo, existen fenómenos atmosféricos cuya duración persiste entre cinco años y casi una década, los cuales se enmarcan dentro de la denominada variabilidad interanual. Entre estos se incluyen eventos como El Niño Oscilación del Sur y la Oscilación Cuasi Bienal, entre otros. Ver Figura 2.

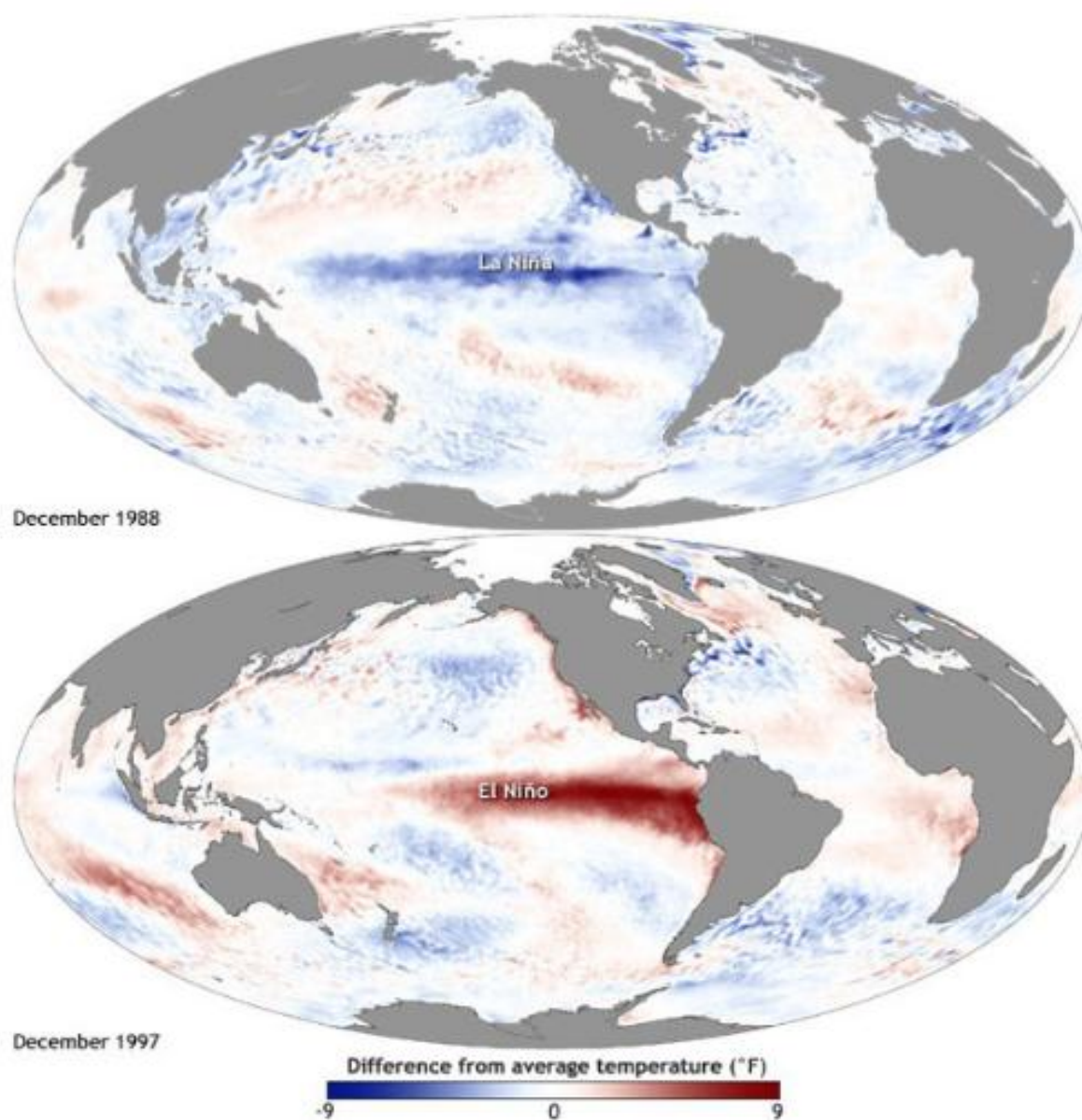


Figura 2. En la siguiente imagen se muestra un ejemplo de la variabilidad interanual: En la parte superior la fase negativa, La Niña, se identifica por presentar valores negativos en la temperatura de la superficie del mar en el ecuador. En la parte inferior su fase positiva, El niño, los valores son positivos en la temperatura de la superficie del mar. Figura II tomada de (CLIMATE.GOV, 2016).

Dichas investigaciones han llevado a encontrar fenómenos atmosféricos que caen en escalas aún mayores a la escala interanual y menores a la de clima. Estas fluctuaciones, conocidas como variabilidad climática, se definen como las variaciones del estado medio del clima que se deben principalmente a factores naturales.

Nuevamente, existen modos de variabilidad climática, entre los que se encuentran: la Oscilación del Atlántico Norte⁴ (NAO: North Atlantic Oscillation), la Oscilación del Ártico⁵ (AO: Arctic Oscillation), y la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO: Pacific Decadal Oscillation) por mencionar algunas (Society, 2018). La figura 3 nos ayuda a entender este entramado de fenómenos atmosféricos en las distintas escalas de tiempo y espacio.

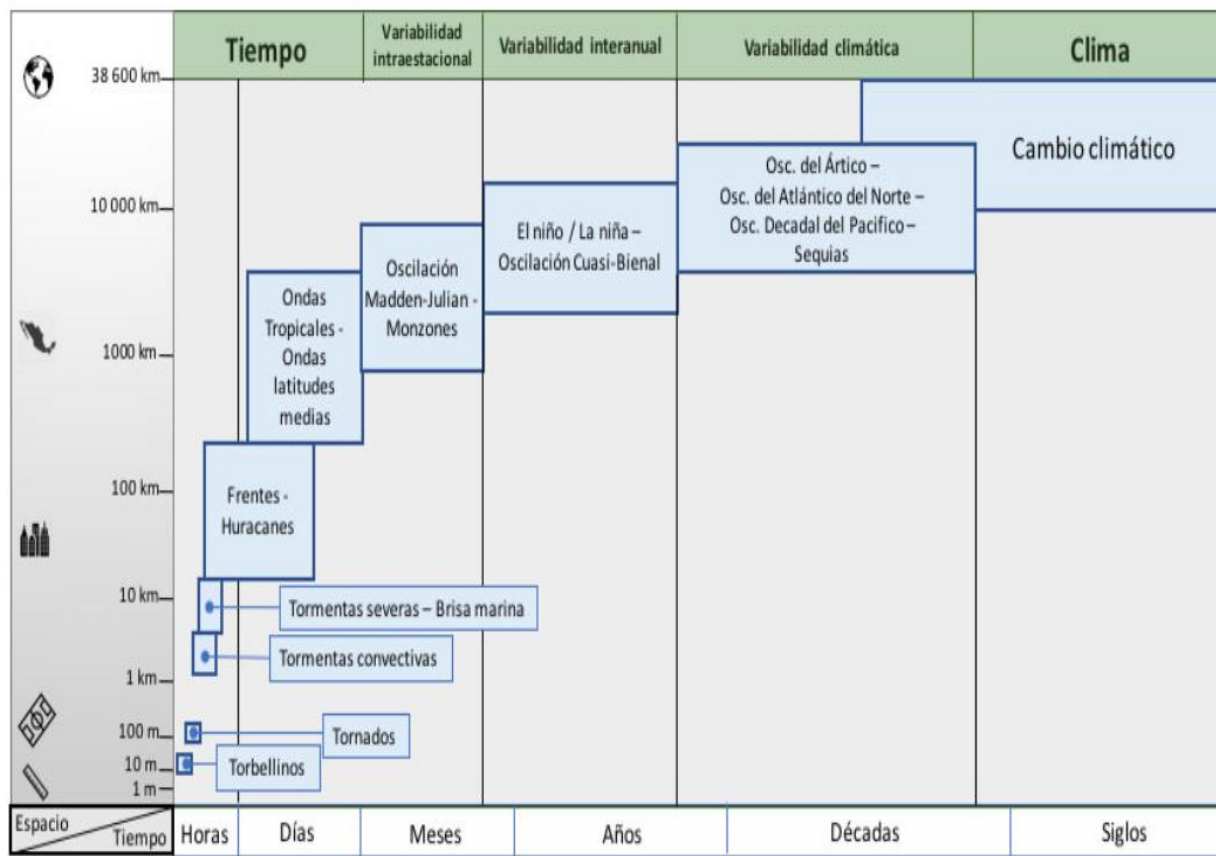


Figura 3. Escalas temporales y espaciales que muestran algunos de los distintos fenómenos que están dentro de la categoría clima. Tomado de Stull (1988).

A continuación, se presentan una serie de citas textuales seleccionadas cuidadosamente con el propósito de argumentar el presente capítulo, así como poner en análisis los estudios de la literatura especializada.

A partir de lo anterior, cabe plantearse la siguiente cuestión:

1. *¿Existe alguna relación entre las distintas escalas de tiempo de los fenómenos atmosféricos? La respuesta es sí. Hay evidencias que indican que los fenómenos que observamos día a día están influenciados por factores de mayor escala tanto temporal como espacial. Ejemplo de ello son la intensidad y frecuencia de las lluvias, así como el número de huracanes y tormentas tropicales que en ocasiones dependen de la variabilidad intraestacional modulada por la Oscilación Madden-Julian (Anantha R. Aiyer, 2008).*
2. *Asimismo, éstos son influenciados por la variabilidad interanual; un ejemplo bien documentado es el fenómeno de El Niño y su relación con los ciclones tropicales (Suzana J. Camargo, 2015).*

3. *De igual forma, el número de días fríos dependerá en cierta medida del número de ondas de latitudes medias⁷ (que ocasionan los frentes fríos), y éstas, a su vez, estarán también influenciadas por la variabilidad interanual de El Niño (Isaac M. Held, 1989).*
4. *En una escala temporal de largo plazo, estas ondas se ven condicionadas por la Oscilación del Ártico (Ambaum, 2001).*
5. *Según (Scott Stevenson, 2012) un ejemplo de relación entre escalas climáticas, se empieza a suponer que los fenómenos de El Niño (de variación interanual) serán más comunes dado que se tendrá un océano más cálido en el futuro debido a cambios climáticos (Víctor Manuel Torres Puente, 2019).*

En consecuencia, el conjunto de fenómenos atmosféricos que se dan en las diferentes escalas de tiempo se relacionan entre sí y tienen cada uno su propia influencia en el tiempo meteorológico.

Capítulo II. Características y comportamiento del monóxido de carbono en la atmósfera y la salud humana

En el aire existen una serie de gases contaminantes considerados peligrosos para la salud humana y la ecología. Dichos gases son el Monóxido de Carbono, Dióxido de Azufre y Dióxido de Nitrógeno. En la naturaleza estos gases son producidos por los incendios forestales y las erupciones volcánicas, también por la descomposición natural de los nitratos orgánicos (Zenteno Jimenez Jose Roberto).

No obstante, la composición del aire natural en la Ciudad de México se modifica por la presencia de estos tres gases, la industria, el transporte y la generación de energía, son sectores según (Megalópolis, 2024) que representan las principales fuentes emisoras de estos compuestos químicos, causando lo que se conoce como “contaminación atmosférica”. Respecto a estos 3 compuestos químicos antes mencionados, es necesario aclarar que el monóxido de Carbono (CO) es el gas que se aborda en este estudio.

En el año 2021 la Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA) dio a conocer su informe anual sobre la calidad del aire en la Ciudad de México, en el cual se reportaron los niveles más elevados de CO medidos en partes por millón⁵ (Secretaría del Medio Ambiente, 2020-2021).

⁵ Se trata de una unidad empleada para expresar la concentración de una sustancia, la cual indica cuántas unidades de dicha sustancia están presentes por cada millón de unidades del total.

Máximo promedio mensual / Valor más alto (CO)

1. 0.62 ppm diciembre.
2. 0.48 ppm enero
3. 0.43 ppm febrero

Como se puede observar estos valores fueron registrados en los meses fríos que se relacionan con el incremento de inversiones térmicas, estabilidad atmosférica y temperatura baja. Y para el promedio mensual mínimo de CO 0.28 ppm en mayo.

La SEDEMA informa que el promedio mínimo fue debido a las lluvias intensas que se presentaron a mediados de mayo, similar a los meses de lluvia en otros años que normalmente registran las concentraciones más bajas.

Dicho lo anterior, parece contradictorio que se está mencionando al CO como uno de los principales contaminantes que son peligrosos, pero su presencia de este gas no llega a 1% de la composición atmosférica. Siguiendo con los que nos atañen, el CO no tiene color, tampoco olor y es flamable, su límite explosivo es de 74% sin dejar afuera que es altamente tóxico, reacciona con oxígeno, acetileno, cloro, flúor y óxido nitroso. Otra manera en como se puede generar monóxido de carbono es a través de la combustión de compuestos que contienen carbono, especialmente cuando ocurre en condiciones con poco oxígeno O₂. Se incluyen los vehículos como fuentes comunes de producción de CO.

El monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro y altamente tóxico que se genera principalmente por la combustión incompleta de combustibles que contienen carbono. Sus fuentes más comunes en ambientes urbanos incluyen el tráfico vehicular, debido a la quema de gasolina y diésel en automóviles, autobuses y camiones; así como los

hogares, donde estufas, calentadores y chimeneas que funcionan con gas, leña o carbón pueden liberar CO cuando la ventilación es insuficiente. En el ámbito industrial, la quema de carbón, petróleo y gas en fábricas y plantas de energía también contribuye a la presencia de este contaminante en la atmósfera. Otras fuentes relevantes son los incendios forestales y quemas agrícolas, que producen grandes cantidades de CO, y los accidentes o fugas de gas, que pueden provocar concentraciones peligrosas en espacios cerrados. La combinación de estas fuentes hace que el CO sea un contaminante significativo en la calidad del aire de las zonas metropolitanas, afectando tanto la salud humana como la atmósfera urbana.

Existe otro camino de cómo se genera el CO, a modo de ejemplo, de forma biológica este gas se da a escala del ser humano ya que hay una producción del cuerpo en pequeñas cantidades como uno de los productos finales del catabolismo de la hemoglobina, así que la exposición a niveles elevados de este gas es peligrosa para la salud humana. Una explicación más detallada de este proceso se menciona en el siguiente subcapítulo (Efectos tóxicos del CO en el organismo humano).

Y también no menos importante otra forma de cómo se produce el CO de forma física, es en la mesósfera y termósfera principalmente por la fotólisis de CO₂ (Jennifer A. Logan, 1981). Es decir la luz descompone la molécula de CO₂ para crear materia orgánica. El CO₂ al interactuar con la luz es entender que es un proceso propio del ciclo del carbono que como resultado del proceso se tiene la base para la cadena alimentaria.

II.I Efectos tóxicos del CO en el organismo humano

Para esta investigación es importante hablar de los riesgos a la salud del CO. Puesto que el CO está ya regulado en materia jurídica por cuidar la salud de la población. Para ello está siendo monitoreado hoy en día. Los programas del gobierno llevan por objeto informar sobre la calidad del aire, ya que el gran problema con el CO es que actúa como un asfixiante químico, al exponerse al CO en un lugar poco ventilado puede causar una deficiencia de oxígeno (O_2). La exposición al monóxido de carbono puede provocar desde malestares leves hasta daños en el sistema nervioso y cardiovascular e incluso resultar letal en un corto período de tiempo.

Para comprender con mayor profundidad los efectos tóxicos del monóxido de carbono (CO) en el organismo humano, a continuación, se presenta un fragmento importante de un artículo especializado que detalla sus mecanismos de acción, manifestaciones clínicas y consecuencias fisiológicas.

EL artículo divulgado por especialistas urgenciólogos del Hospital General de Zona No. 47 IMMS, Hospital de Especialidades de la Ciudad de México, "Dr. Belisario Domínguez", México, menciona una serie de afectaciones a la salud por exposición de CO en ambientes poco ventilados ya que, una vez inhalado el monóxido de carbono, se difunde rápidamente a través de las membranas alveolares para llegar a la sangre para desplazar al oxígeno y combinarse con la hemoglobina (Hb), para generar una nueva proteína llamada Carboxihemoglobina (COHb). Esta nueva proteína deteriora la función mitocondrial. Así que no morir depende del tiempo de exposición y a la frecuencia con que se respira, porque la absorción pulmonar es proporcional a la concentración de CO en el ambiente.

Conforme a la afinidad del CO para unirse con otras hemoproteínas localizadas a nivel tisular como son la mioglobina, el citocromo oxidasa, el citocromo y la hidroxidroxidasa; cabe mencionar que un 15-20% del CO se une a dichas proteínas, de esta forma, interrumpe la respiración celular y causa la producción de especies oxígeno reactivas, que llevan a necrosis neuronal y apoptosis⁶.

El artículo sigue explicando que la exposición al CO provoca además inflamación, a través de múltiples vías independientes de las de hipoxia, dando por resultado mayor daño neurológico y cardíaco. Otra afectación pasa a ser en caso de

⁶ Es la muerte celular programada; es un proceso fundamental para el desarrollo y la homeostasis de los tejidos.

embarazo, el CO también produce hipoxia fetal, debido a la propiedad de este gas de atravesar fácilmente la placenta y a la presencia de la hemoglobina fetal.

En México son causa de alrededor de 13,600 egresos hospitalarios que originan 34,900 días de estancia intrahospitalaria, como consecuencia fallecen 1,400 personas, 87% adultos y 13% niños. El 72% de los casos son accidentales y 28% corresponden a suicidios. En los adultos la mortalidad por intoxicaciones accidentales ocurrió en primer lugar por la ingesta de medicamentos (21.6%), la inhalación de gases tóxicos (20.4%) ocupó el segundo lugar y la exposición a plaguicidas (13.9%) el tercero. En niños, el primer lugar fue por inhalación de gases tóxicos (41.8%) seguido de la ingesta de medicamentos (18.3%) y la exposición a plaguicidas (13.1%)⁷. Son evidentes las repercusiones que estos fenómenos tienen sobre las pérdidas materiales y particularmente de vidas humanas, condicionando secuelas en los sobrevivientes (Celna Y. Hernández Bello, 2022).

La regulación de las concentraciones de CO en el aire ambiente "está respaldada por la norma titulada *Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al monóxido de carbono (CO)*. Valores normados para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población" (Secretaría de Salud, 2021). Cuyo estándar establecido fue fijado para salvaguardar la salud pública. La norma, cuya dependencia corresponde a la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFREPIS), fue elaborada por el *Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario* (SSA1), bajo la nomenclatura NOM-021-SSA1-2021 (Gobierno, 2021).

En dicha norma se especifican dos valores límite para la concentración de CO: 26 partes por millón (ppm) como el valor máximo para el promedio horario y 9 ppm como el valor máximo para el promedio móvil de 8 horas en el ambiente. Los límites máximos permisibles se alinean con los lineamientos propuestos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Y se fundamentan en estudios tanto experimentales como epidemiológicos que han demostrado los efectos perjudiciales del CO en la salud humana (Secretaría de Gobernación , 2020).

Por otro lado, existe una normativa adicional, la *NOM-172-SEMARNAT-2023*, que también aborda la calidad del aire y los riesgos para la salud. Ambas normativas, en conjunto, tienen como objetivo la protección de la salud pública en la Ciudad de México, un área con altas concentraciones de contaminantes atmosféricos.

Es relevante señalar que, dentro del sector de transporte, los vehículos automotores son la fuente predominante de emisiones de CO. En la Ciudad de México, el parque vehicular alcanza los 5 millones de unidades (Megalópolis, 2024).

Otro estudio presenta que, de enero a agosto de 2023, la Ciudad de México contó tan sólo con 55 días (casi 23%) de buena calidad del aire, lo que quiere decir que durante 77% de lo que va del año más de 20 millones de habitantes estuvieron expuestos a contaminantes como CO entre otros gases, según estimaciones del World Resources Institute (Institute, 2023).

II.II Sistemas de monitoreo ambiental: seguimiento y medición del monóxido de carbono en la ciudad de México

Durante el Porfiriato y los años posteriores a la Revolución Mexicana, México experimentó un proceso notable de transformación enfocado en el desarrollo económico e industrial reflejado en el crecimiento de las redes ferroviarias, el surgimiento de centros manufactureros, la urbanización acelerada y la implementación de políticas agrarias. No obstante, es probable que estos avances se realizaran sin considerar los efectos ambientales derivados, especialmente en lo que respecta a la contaminación del aire. A pesar de ello, no fue sino hasta finales de la década de 1950

que el Estado mexicano, a través de la Secretaría de Salubridad y Asistencia, comenzó a realizar monitoreos sistemáticos de la calidad del aire. Este tipo de investigaciones se consolidaron hasta 1996, cuando se instalaron formalmente las primeras estaciones de monitoreo atmosférico en la Ciudad de México (Meyer, 2010).

No obstante, es preciso citar que la primera contingencia ambiental registrada en la Ciudad de México se decretó el 16 de marzo de 1992, cuando los niveles de ozono alcanzaron los 398 puntos IMECA, superando ampliamente el límite de 250 puntos establecido en ese entonces. Este evento marcó el inicio de una serie de medidas para mitigar la contaminación atmosférica en la Zona Metropolitana del Valle de México, incluyendo restricciones vehiculares, suspensión de clases y limitaciones en actividades industriales para reducir la exposición de la población a los altos niveles de contaminación (Infobae, 2022).

En la actualidad, considero fundamental contar con sistemas que nos permitan monitorear y controlar los niveles de contaminación atmosférica. Particularmente en el caso del monóxido de carbono, un contaminante que afecta directamente la salud humana, el trabajo del Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) me parece crucial. Este sistema realiza mediciones constantes durante todo el año, lo que considero indispensable para garantizar la salud de la población y tomar decisiones informadas en materia ambiental.

El SIMAT opera cuatro subsistemas: Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA), Red Manual de Monitoreo Atmosférico (REDMA), Red de Meteorología y Radicación Solar (REDMET) y la Red de Deposito Atmosférico (REDDA), así como también un Laboratorio de Análisis Ambiental (LAA) y un Centro de Información de la

Calidad del Aire y Validación de la Información (CICA) (Secretaría del Medio Ambiente, 2024).

Es una red que tiene por encargo monitorear la calidad del aire en la CDMX y zona metropolitana del valle de México. El SIMAT tiene a su cargo más de 40 sitios de monitoreo en los cuales hay instalado diferentes equipos de medición y muestreo (Ver Figura 4).

La información recabada está actualizándose cada hora de tal manera que pueda informar a la población sobre los niveles de contaminación y sus riesgos. Así mismo se mide variables meteorológicas que son dirección de viento, velocidad de viento, temperatura ambiente, humedad relativa, precipitación y la radiación ultravioleta.

Lo más de 40 sitios de monitoreo con los que cuenta el SIMAT, hay 29 sitios que se le conoce como estaciones de monitoreo, los cuales están enviando información minuto a minuto, desde el punto de medición hasta las computadoras, esta información se concentra en los servidores, para procesar y validar y cada hora se publica para llegar a las opciones de información que se le brinda a la ciudadanía.

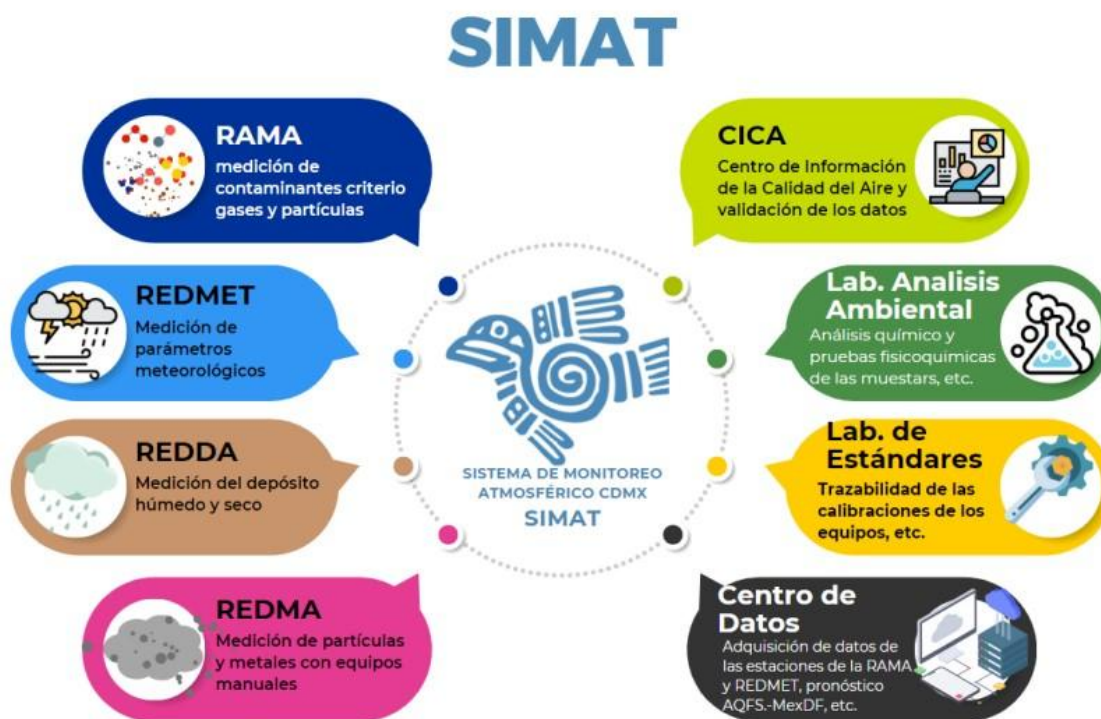


Figura 4. Estructura del SIMAT Imagen tomada de (Secretaría de Medio Ambiente, SEDEMA, 2021, p. 27).

De los cuatro subsistemas mencionados, la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (RAMA) es la que trabaja en la medición del Monóxido de Carbono (CO), entre otras sustancias. A continuación se muestra la figura 5 un mapa que ubica las estaciones RAMA en una serie de tiempo.

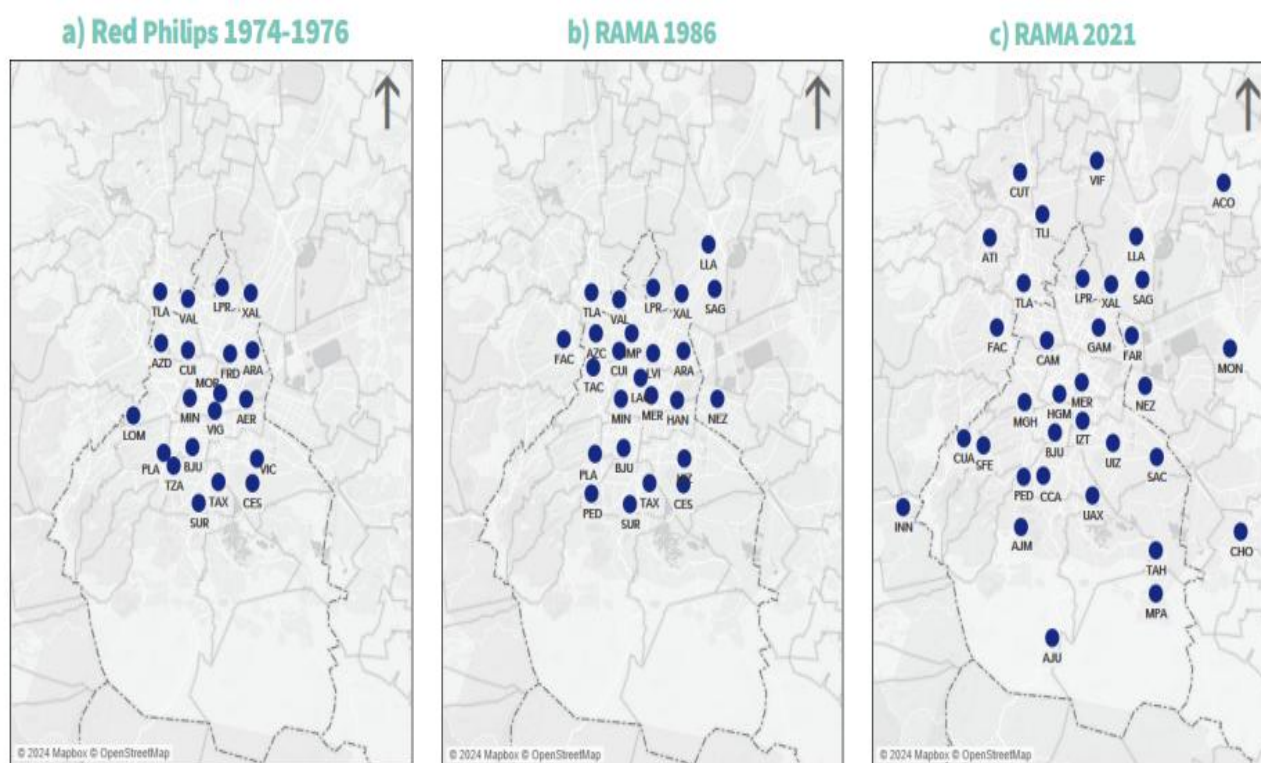


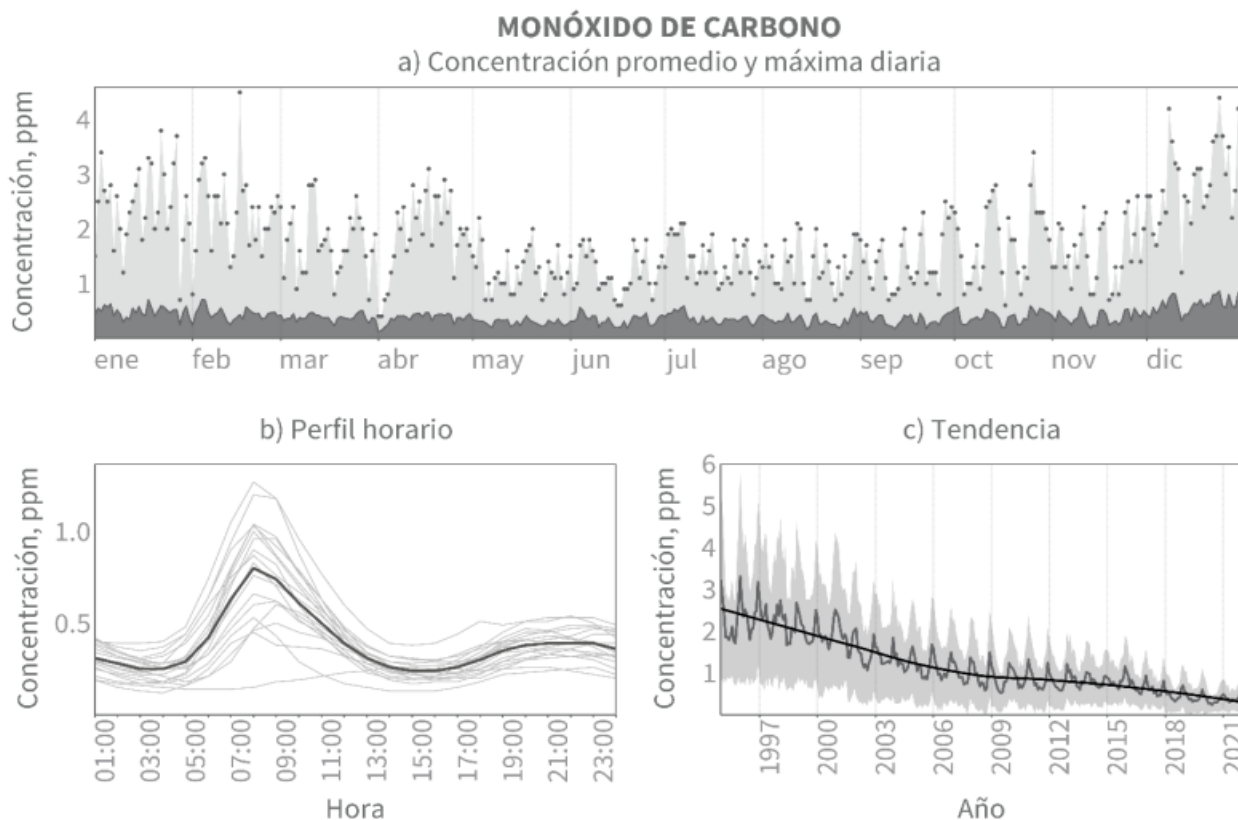
Figura 5. La imagen muestra la distribución de estaciones de monitoreo a lo largo del tiempo: la Red Philips (1973) con los primeros puntos de medición, la RAMA (1986), con mayor cobertura y mediciones adicionales de contaminantes y parámetros meteorológicos, y la RAMA 2021, que refleja la red moderna y ampliamente distribuida para el monitoreo de la calidad del aire en la zona metropolitana. Tomada de Secretaría de Medio Ambiente, (SEDEMA, 2021, p. 20).

		Equipo automático								Equipo manual				Mixto							
		O ₃	CO	SO ₂	NOx	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀ /PM _{2.5}	Total	PM ₁₀ M	PM _{2.5} M	Total	O ₃	CO	SO ₂	NOx	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀ /PM _{2.5}	PM ₁₀ M	PM _{2.5} M
Entidad federativa	Municipio o Delegación																				
Ciudad de México	Azcapotzalco	1	1	1	1	1	1	1	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Coyoacán	1	1	1	1	-	1	-	5	-	-	-	1	-	-	1	-	1	-	-	1
	Cuajimalpa de Morelos	1	1	1	1	1	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Gustavo A. Madero	2	1	1	1	-	2	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Iztacalco	1	1	1	1	1	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Iztapalapa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Milpa Alta	1	1	1	1	1	1	1	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Álvaro Obregón	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Tláhuac	1	1	1	1	1	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tlalpan	2	1	1	1	1	2	1	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Xochimilco	1	1	1	1	-	1	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Benito Juárez	1	1	1	1	1	1	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cuauhtémoc	1	1	1	1	1	1	1	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Miguel Hidalgo	2	2	2	2	2	2	2	14	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Venustiano Carranza	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1

La Figura 6 muestra una tabla donde la primera columna enumera las alcaldías de la Ciudad de México, mientras que las columnas siguientes indican los tipos de contaminantes atmosféricos que se registran en cada ubicación, como monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O₃) y partículas suspendidas. Además, se especifica el tipo de estación utilizada para cada medición: manual, automática o mixta, lo que permite identificar cómo varía la cobertura tecnológica y la capacidad de monitoreo en cada alcaldía. Imagen tomada de Secretaría de Medio Ambiente (SEDEMA, 2021).

La Figura 7 presenta los promedios anuales de las concentraciones diarias de monóxido de carbono (CO), los cuales se obtienen a partir de datos diarios, siguiendo lo establecido en la NOM-021-SSA1-2021. Como se ha citado en párrafos anteriores; esta norma señala que se deben calcular promedios móviles de 8 horas. Para obtener cada uno de estos promedios, se toma en cuenta el valor de una hora específica y se suman los de las siete horas anteriores. De esta forma, se obtiene el promedio más alto del día (la concentración máxima diaria), y ese valor se usa como dato representativo

de cada jornada. Finalmente, si se cuenta al menos con el 75% de los datos diarios del año, se puede calcular el promedio anual.



En la Figura 7, la gráfica (a) muestra la concentración promedio y máxima diaria. Enseña el punto más alto de concentración de CO en PPM. La gráfica (b) muestra la información obtenida de las Estaciones de Monitoreo Atmosférico en la Ciudad de México; nos permite conocer la calidad del aire y las concentraciones de CO en un perfil horario de la 1:00 a las 23:00 (los datos recabados se publican cada hora). Como se puede observar a mediados de febrero y casi todo diciembre estuvieron por encima de los 4 y la tendencia por año. La gráfica (c) muestra la concentración de CO a partir de 1997 hasta 2021, que como se puede ver, refleja una tendencia de la concentración de CO que va a la baja en el transcurso de 24 años. Los datos recabados están medidos en partes por millón (ppm). Imagen tomada de Secretaria de Medio Ambiente, (SEDEMA, 2021, p. 9).

Capítulo III. Cumbres internacionales y el derecho a un medio ambiente sano: el rol de la evaluación de impacto ambiental en américa latina

En este tercer capítulo se expone históricamente el camino del medio ambiente a lo largo de tres tiempos, el primero es la aceptación a nivel internacional de su degradación por explotación de los recursos naturales. (La Cumbre de Stockolmo). En la segunda parada se muestra una construcción histórica del concepto de Medio Ambiente y su articulación al concepto de desarrollo adoptado por los países industrializados. Y por último se enmarca la protección del medio ambiente en los países de América Latina y el Caribe (ALC) pero con especial énfasis para México. Es decir cómo se incorporó el concepto de medio ambiente en las políticas ambientales mexicanas. A través de esta línea de investigación se podrá comprender el concepto de desarrollo sostenible desde una perspectiva ambientalmente sensible y la incorporación de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) como instrumento de la política ambiental en México.

El avance para hacer política ambiental donde se interesarían los estados nación ya industrializados por las preocupaciones de hacer del medio ambiente un tema importante a nivel mundial se vino dando desde la creación de agencias⁷ internacionales como menciona Medaglia (2003) en su obra:

⁷ Medaglia, J. *Política internacional ambiental: Entre la protección y el poder. Siglo XXI Editores. (2003, pp. 303-304). Se ha afirmado que desde el punto de vista político la Cumbre de Estocolmo fue más que un punto de partida, un punto de enfoque, debido a la existencia de esfuerzos ambientales anteriores por parte de agencias de Naciones Unidas como la Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la Organización Mundial de la Salud (OMS), la UNESCO, entre otras. Igualmente, la Comisión de Naciones Unidas para Europa, otras entidades regionales, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, la entonces Comunidad Económica y otras agencias se mostraron activas en el campo de la protección del ambiente.*

Por otra parte, en algunos países desarrollados se habían dado pasos en esa dirección. Por ejemplo, en 1970, Estados Unidos había establecido el Consejo de Calidad Ambiental a través de su famosa Acta de Protección Ambiental (conocida por sus siglas en inglés como NEPA)⁸. Algo similar había ocurrido en Reino Unido con la Comisión de Contaminación Ambiental, en Canadá con el Departamento de Ambiente y en Suecia con el Consejo de Protección del Ambiente, todos los cuales precedieron a la Conferencia de Estocolmo de 1972 (p. 304).

Gracias a la creación de estas agencias se logró hacer el llamado a la Conferencia de Estocolmo por medio de una “Resolución de la Asamblea General de las Naciones Unidas a los países industrializados para analizar los problemas ambientales que existían en ese momento” (Medaglia, 2003, p. 304). Aquí los participantes reconocieron el deterioro del medio ambiente a nivel mundial y por lo tanto constaron su protección y la urgencia de gestionar al medio ambiente mediante la incorporación del derecho a un medio ambiente sano. Al respecto, los participantes plantearon una serie de principios que se adoptaron años más tarde en el derecho ambiental en América Latina y el Caribe (ALC).

Es importante reconocer que detrás de esta Conferencia existe un discurso dominante que va en busca de llevar inversión a nivel regional. (Puesto que los participantes fueron países industrializados o hegemónicos). Esta dominación está basada en actividades relativamente productivas que van a la par de la competitividad y el desarrollo económico de países desarrollados que no cuentan con una riqueza natural

⁸ La NEPA, o Ley Nacional de Política Ambiental, es una ley de Estados Unidos creada para asegurarse de que antes de que el gobierno federal apruebe grandes proyectos (como carreteras, presas o desarrollos industriales), se consideren sus impactos en el medio ambiente. Básicamente, obliga a que se evalúen los impactos ambientales antes de tomar decisiones importantes y que esta información esté disponible al público.

pero que se benefician a costa de la extracción de los recursos naturales donde los países que poseen una gran riqueza natural.

En la Cumbre de Estocolmo de 1972, Brasil sostuvo que debía intensificarse el uso de los recursos naturales, no solo para impulsar su propio desarrollo, sino también para satisfacer la demanda de los países industrializados. Antes, que una nueva conceptualización sobre la Naturaleza o los modos de relacionarse con ella, la conferencia de Estocolmo apuntó a manejar y reducir impactos ambientales, especialmente por contaminación (Gudynas, 2004, p.35).

A continuación, en modo de resumen, cabe exponer los 26 principios declarados en esta conferencia por contextualizar sobre el impacto ambiental ya reconocido, y los caminos a seguir por parte de los países industrializados para vincular el desarrollo y el medio ambiente, así como se destaca la necesidad de crear autoridades ambientales para evaluar los impactos y entre comillas la protección del medio ambiente. De los que se puede hacer inca pie:

El vínculo de la protección del ambiente con los derechos humanos (principio 1), se establecen lineamientos para la salvaguarda de los recursos de la tierra para beneficios de las presentes y futuras generaciones (principios 2, 3 y 5), se determinan amenazas específicas en ciertas áreas como la vida silvestre, sustancias tóxicas, mares, entre otros (principios 6, 7), se reconoce el vínculo entre desarrollo y protección del ambiente así como las necesidades especiales de los países en desarrollo (principios 8 al 16 y 23), se reconocen algunos instrumentos tales como la planificación ambiental, lo cual incluye herramientas como planes de acción (principios 13 al 15), se destaca la necesidad de crear autoridades ambientales (principio 17) y con ello se inicia el camino hacia una gestión ambiental mucho más coherente; así como el papel de la educación (principio 18), la investigación y la ciencia (principios 18 y 20) y la cooperación internacional (principios 22, 24 y 25) (Medaglia, 2003, p. 306).

Cabe resaltar que la declaratoria abordó los principios desde un plan de acción que adentra a la evaluación ambiental, como medida de gestión para que las naciones independientemente evalúen sus impactos sobre el medio ambiente.

En palabras de Medaglia (2003) “El segundo componente importante estuvo constituido por el Plan de Acción, el cual contempló más de 100 recomendaciones en tres categorías relativas a la evaluación ambiental, el manejo ambiental y medidas de apoyo” (p. 307).

Esta iniciativa conlleva a que el manejo ambiental se daría en una línea de crecimiento económico, pero con el indicativo de que las actividades sean evaluadas vinculado al principio de responsabilidad ambiental. Así los países serían responsables por la contaminación que generen.

Es así como queda pactado el principio 17 de la Declaración de Estocolmo, ya que establece que los Estados deben llevar a cabo una evaluación del impacto ambiental de cualquier actividad propuesta que probablemente cause un daño negativo considerable al medio ambiente y que esté sujeta a la decisión de una autoridad nacional competente. Este principio subraya la importancia de la evaluación ambiental como herramienta para prevenir daños al medio ambiente en el ámbito internacional.

Se llega al punto en que la temática ambiental pasó al primer plano, haciéndose explícita su vinculación con el desarrollo. La reunión se centró en temas como la responsabilidad de los países industrializados en la contaminación o las consecuencias del crecimiento poblacional. Las naciones latinoamericanas sostuvieron que cada Estado era soberano en manejar sus recursos naturales (Gudynas, 2004, p. 33).

Es decir que se da una situación en ALC de disponibilidad de los recursos naturales, verdaderamente la soberanía de estos recursos naturales está basada en la necesidad de expropiación de estos. La pregunta es ¿quién verdaderamente disfruta de este valor de riqueza que nacen de los recursos naturales en ALC? Ya que se considera que ALC como fuente de riqueza natural en palabras de (Gudynas, 2004), *“la enorme riqueza en recursos naturales de América Latina debería haber desencadenado un progreso económico fenomenal. Sin embargo, el continente continúa sumido en la pobreza y se suman los impactos ambientales”* (p. 36).

La explotación de los recursos naturales sigue explicando el BID, genera una renta que va a unas pocas personas, se desenvuelve por prácticas que requieren empleo reducido y una mínima educación, lo que junto con el concurso de otros factores termina desencadenando la situación de pobreza y desigualdad actual (Gudynas, 2004, p.36).

En contra parte con la realidad, paradójicamente otro aspecto interesante lo constituye la forma como las constituciones han reconocido el derecho a un ambiente sano o se han emitido leyes⁹ ambientales importantes (Medaglia, 2003, p.315). Se insistía que

⁹ Medaglia, J. *Derecho ambiental internacional: Entre el desarrollo sostenible y la soberanía permanente sobre los recursos naturales*. Editorial Jurídica Continental, (2003, p. 316). Panamá (reformada en 1978): establece el deber fundamental del Estado de velar por la conservación de las condiciones ecológicas. 1976 Cuba: establece que para asegurar el bienestar de los ciudadanos, el Estado y la sociedad protegerán la naturaleza (Art. 27). Modificada en 1992 para incorporar el concepto de desarrollo sostenible. 1979 Perú: (reformada en 1993) establece el derecho a habitar un ambiente saludable (Art. 123). 1979 Ecuador (reformada en 1996): establece el derecho de vivir en un medio ambiente libre de contaminación. Chile 1980: establece el medio ambiente libre de contaminación. México 1971: Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental. 1974 Colombia, Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. 1976 Venezuela: Ley Orgánica del Ambiente. Ecuador: Ley para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en Ecuador. 1981 Cuba: Ley 33 sobre Protección del Medio Ambiente y Uso Racional de los Recursos Naturales. Nueva Ley del Ambiente en 1997. 1981 Brasil: Ley 6938 Política Nacional del Medio Ambiente, sus fines y mecanismos de formulación y aplicación y establece otras providencias. 1982 México: Ley

cada país tenía el derecho soberano de determinar sus prioridades económicas y políticas, y consecuentemente sus niveles de protección ambiental y cómo dispondrá de sus recursos naturales (Gudynas, 2004, p.33). Esto conllevó a que cada país en ALC creara su propia legislación ambiental, introducir a sus constituciones los parámetros de como explotar sus propios recursos.

Desde ese momento se sucedieron importantes aportes en varios terrenos. Por un lado, a nivel académico proliferaron los estudios sobre los impactos ambientales, la extinción de especies, y la acción de los contaminantes. Por otro lado, diversas disciplinas comenzaron a generar corrientes de análisis desde una sensibilidad ambiental (tal como sucedió con la economía ecológica o la ética ambiental). Finalmente, se comenzó a tomar conciencia de los graves problemas ambientales, como la contaminación urbana o la destrucción de áreas naturales, igualmente ocurrían en el continente, como lo atestiguaban los casos de Ciudad de México o la Selva Amazónica (Gudynas, 2004, p. 35).

Es claro que el impacto de ésta Declaración fue concientizador, se buscó mejorar las condiciones ambientales y la salud socio ambiental por la vía del derecho; ya que las actividades de desarrollo se venían ejecutando a través de la economía clásica¹⁰, en

Federal de Protección del Ambiente. 1985 Brasil: Ley No 7347 sobre acción civil pública, por daños al ambiente. 1986 Guatemala: Ley para la Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente. 1988 México: Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. 1990 Perú: Código del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. 1992 Bolivia: Ley General del Medio Ambiente. 1993 Honduras: Ley general de Ambiente. 1994 Chile: Bases Generales del Medio Ambiente. 1996 Costa Rica: Ley Orgánica del Ambiente. 1996 Nicaragua: Ley General del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. 1998 El Salvador: Ley del Medio Ambiente. 1998 Panamá: Ley General del Ambiente.

¹⁰ Gudynas, E. *La herencia europea en las concepciones de la Naturaleza*. Centro Latino Americano de Ecología Social CLAES, (2004, pp. 10–12). *La Naturaleza quedó tan disminuida que fue reducida en los primeros estudios de economía al factor de producción “tierra”. Los primeros economistas, profundamente imbuidos en estas concepciones, promovían tanto el progreso material como la apropiación de la Naturaleza para hacerlo posible. Adam Smith en su texto monumental sobre la “riqueza de las naciones”, publicado en 1776, alude específicamente a las metas de la acumulación de riqueza, mediante un progreso sostenido. John Stuart Mill en su influyente obra de economía política, publicada desde 1848, también señalaba las ventajas del progreso perpetuo y el dominio de la Naturaleza como su aspecto privilegiado. La marcha de las naciones era concebida como un movimiento progresivo que se continúa con pocas interrupciones de un año a otro y de una a otra generación: un progreso de la riqueza, un progreso de lo que se llama la prosperidad material. Este “movimiento económico progresivo” es una forma de crecimiento perpetuo y es mediado por el dominio ilimitado del hombre sobre la naturaleza.*

palabras de Gudynas (2004) Se manipula y apropia la Naturaleza como condición y necesidad para atender requerimientos cuya meta era el progreso perpetuo[...] Los recursos naturales eran considerados como ilimitados, y tan sólo debían encontrarse sus paraderos para enseguida explotarlos (p.11). Por tanto, considero que es un avance por mejorar en el tema del derecho ambiental y especialmente a la construcción de leyes en ALC (a como se venían haciendo las cosas) por decir este último enunciado de manera coloquial.

Entonces ¿Cuál es el límite del uso racional de los recursos naturales? Sí pasamos una transición histórica de ver a la naturaleza como algo infinito e inmenso (la economía tradicional) a la gestión integral de la naturaleza con una visión compleja donde interactúan los sistemas complejos y socio ambientales (economía ecológica).

En ese mismo contexto, años después surgió el informe *Nuestro Futuro Común*, también conocido como *Informe Brundtland*, el cual popularizó el término desarrollo sostenible (World Commission on Environment and Development, 1987).

Sin embargo, lejos de representar una transformación profunda, este documento reafirma el modelo tradicional de desarrollo centrado en el crecimiento económico y en la explotación de la naturaleza.

Es un ejemplo de cómo las corrientes convencionales han adaptado conceptos ecológicos para que se ajusten a sus propios fines. Esto refleja que, pese a distintos enfoques iniciales, muchas veces se llega a una visión similar de la naturaleza, basada en su utilidad como recurso. En otras palabras, los preconceptos sobre el entorno natural logran manifestarse de diferentes maneras en distintos contextos teóricos (Gudynas, 2004, p.35).

III.I La Declaración de Río de 1992: principios para el desarrollo sostenible y la protección ambiental

Derivado del reconocimiento internacional del derecho a un medio ambiente sano, consolidado en la Declaración de Estocolmo de 1972, se organizó la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, también conocida como la Cumbre de la Tierra o Conferencia de Río, con el objetivo de fortalecer el compromiso global hacia un desarrollo ambientalmente sostenible. La cual representó un nuevo hito en la agenda ambiental internacional, puesto que por ser una conferencia que tuvo cita en América Latina los países de esta región se involucraron a seguir la línea del desarrollo sostenible.

La Declaración de Río, establece que los seres humanos constituyen el centro de las preocupaciones ambientales, lo cual repite en esencia, lo establecido en la Declaración de Estocolmo. Igualmente se reitera el derecho soberano a explotar los recursos naturales, solo que esta vez se agrega el calificativo de conformidad con las políticas ambientales y de desarrollo.” (Medaglia, 2003, p.309).

En este espacio se elaboraron cinco documentos fundamentales: la Agenda 21, enfocada en acciones para el desarrollo sostenible; la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo; y la Declaración de Principios Relativos a los Bosques. Además, se concretaron dos convenciones internacionales con carácter legalmente vinculante: la Convención sobre la Diversidad Biológica y la Convención Marco sobre el Cambio Climático. Estos instrumentos reflejaron el esfuerzo por establecer compromisos

concretos entre las naciones en torno a la protección ambiental y el uso responsable de los recursos naturales.

El 20 aniversario de la Declaración de Estocolmo y el 10 de la Carta Mundial de la Naturaleza, a la par del Informe de la Comisión Brundtland nominado “Nuestro Futuro Común” en 1987, constituyeron pasos y antecedentes importantes para la Cumbre y afianzaron el concepto de Desarrollo Sostenible. Otros hechos como la creación del Panel Intergubernamental de Cambio Climático sirvieron de fundamento para que la Asamblea General de las Naciones Unidas, por medio de la resolución 44-228 convocará a la Conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo, la cual contó con la asistencia de aproximadamente 112 jefes de Estado. En el ámbito latinoamericano, los gobiernos fijaron sus posiciones en diferentes documentos, tales como la Plataforma de Tlatelolco en febrero de 1991, Manos en 1992 y Canela en ese mismo año (Medaglia, 2003, pp. 308-309).

Como se ha dicho, la Conferencia de Río de Janeiro, realizada del 2 al 14 de junio de 1992, representó un paso significativo en la evolución del derecho internacional y en la formulación de políticas orientadas al desarrollo sostenible. Río responde a, la necesidad de integrar el derecho al desarrollo y la protección del ambiente, a las relaciones entre el sistema de comercio y la protección ambiental (Medaglia, 2003, p.312). La cuestión para resolver era garantizar el desarrollo sostenible, que como se mencionó en párrafos anteriores, esta capacidad de satisfacer a las generaciones presentes y futuras de nuevo se ponía en el marco de esta cumbre como sostenibilidad y que fue aquí, en Río donde nació el concepto de desarrollo sostenible como una estrategia a seguir.

La creciente atención sobre la necesidad de proteger la Naturaleza y sus recursos ha desembocado en las propuestas de desarrollo sostenible. No es raro que ante el interrogante de cómo permitir el desarrollo y asegurar la conservación del ambiente, se conteste que la respuesta reside en el desarrollo sostenible. Esa particular visión del desarrollo sería la que asegura la preservación de la Naturaleza. A lo largo de

los últimos años ha quedado en claro que “desarrollo sustentable” en realidad esconde varias propuestas, a veces contradictorias entre ellas, y que no necesariamente asegurar los objetivos de conservación y desarrollo (Gudynas, 2004, p. 47).

Si bien es cierto que el esfuerzo por proteger a la naturaleza fue tema internacional en 1972, 1987 y 1992, con los jefes de estado involucrados y el desarrollo sostenible como una estrategia a seguir y el desarrollo de ALC queda en función del mercado. La visión a la naturaleza es antropocéntrica y por lo tanto el medio ambiente pasa a ser una condición para el crecimiento económico. En palabras de Gudynas (2004) afirma:

La postura frente al ambiente es fuertemente antropocéntrica. La Naturaleza está al servicio del hombre. Ella no posee valores ni derechos propios; en los planes de desarrollo es un predicado. Por esa razón se la percibe como una canasta de recursos, una máquina, un sistema, o una forma de capital (p.42).

La cumbre de Estocolmo precedió a la de Río y ambas se complementan para llegar al punto de gestión de los recursos naturales a través de la institucionalización en los países de ALC haciendo del uso de los recursos naturales una constante creciente al desarrollo económico, donde el estado y los agentes privados son los encargados de la gestión del ambiente al puro estilo de desarrollo neoliberal. Puesto que la naturaleza pasó de ser un ente viviente a ser un concepto de uso instrumental que se introdujo al derecho ambiental, cabe decir que de este modo es como la naturaleza quedó dominada.

De alguna manera, como advierte C. Lewis, la Naturaleza pasó a ser un concepto para justificar la dominación: “... reducimos las cosas a una mera naturaleza para poder conquistarlas. Estamos siempre conquistando la naturaleza, porque

naturaleza es el nombre que tenemos para aquello que hemos conquistado en un sentido.” Al separarnos del entorno, y otorgarle la denominación de Naturaleza, lo ponemos todo por fuera, permitiendo que la dominemos y manipulemos. (Tomado de Gudynas, 2004, p. 44).

AL respecto de la búsqueda entorno a el desarrollo sostenible y el crecimiento económico continuo que desde Estocolmo, pasando por el Informe Brundtland y la Declaración de Río siempre se vio como necesario para la región de ALC Gudynas (2004) apela en su obra que este tipo de desarrollo se forje desde la integridad de las esferas ambiental, política, social, me atrevo a decir que hasta cultural, porque se deben de respetar también los saberes ambientales de los pueblos Indígenas de ALC.

Es cierto que debe existir un crecimiento económico en América Latina, pero es imperioso discernir en qué sectores, y bajo que mecanismos debe darse, de manera de asegurar la mayor justicia social en sus beneficios. El crecimiento económico no puede ser un fin en sí mismo, sino uno de los componentes en el desarrollo. Precisamente es necesario discernir cómo construir una estrategia de desarrollo que será plural en sus contenidos, y por lo tanto exige de una discusión, que es política en su amplio sentido (Gudynas, 2004, p. 44).

Como se ha venido mencionando continuamente, en Río se trabajó por vincular el desarrollo económico con la protección del ambiente, esta manera de hacer política propuso que para que a este vínculo fuera posible se debían adoptar clausulas rectoras tales como: el principio de quien contamina paga, el principio de integración de la variable ambiental en el desarrollo, el uso de instrumentos económicos, el principio de precaución, quien usa paga[...] el derecho a la información y participar en las evaluaciones de impacto ambiental (Mendaglia, 2003, p.311).

Otros principios fundamentales nacidos en Río son:

los estudios de evaluación de impacto ambiental, el uso de instrumentos económicos [...] La incorporación de la variable ambiental en los procesos de desarrollo y la vinculación de los procesos de integración con consideraciones de orden ambiental. El fortalecimiento de toda una institucionalidad y de marcos jurídicos para la protección del medio. La formulación e implementación de planes y lineamientos de política de orden ambiental. La participación de la sociedad civil en la definición de políticas y la gestión ambiental.” (Medaglia, 2003, pp. 312-313).

Es así como las leyes generales en ALC después de Río introdujeron en gran medida los mandatos anteriormente citados. De esta manera de la Declaración de Estocolmo y Río se reconoce internacionalmente el derecho a un medio ambiente sano (eje rector del derecho ambiental internacional). Por lo tanto, se puede decir que ambas son el hito hacia una nueva política ambiental para ALC. Para más información sobre legislación e instituciones ambientales en ALC véase (PNUMA, 2000, pp. 92-95).

Para fines de este trabajo, un hito relevante en la construcción de la política ambiental en la región de América Latina y el Caribe es el principio 17 de la Conferencia de Río porque hace hincapié a la EIA:

Deberá emprenderse una evaluación del impacto ambiental, en calidad de instrumento nacional, respecto de cualquier actividad propuesta que probablemente haya de producir un impacto negativo considerable en el medio ambiente y que esté sujeta a la decisión de una autoridad nacional competente; *Principio 17* (General Assembly, 1992).

Aunado a lo anterior, la EIA se vuelve una herramienta de la política ambiental en ALC para gestionar los futuros proyectos de esta región, incluyendo México. La evaluación

de impacto ambiental fue también recogida en la mayoría de los países de América Latina, pero de maneras que han sido diversas de un país a otro (Brañes, 2018, p.217).

Para conocer algunos cambios institucionales importantes, así como la implementación de planes y lineamientos de política en temas ambientales formulados después de Río en la región de ALC, Medaglia (2003) expone en su obra lo siguiente:

En el caso de Bolivia se creó el Consejo Nacional de Desarrollo Sostenible en 1994. En 1991 se establece la Secretaría de Ambiente y se desarrolló el Plan de Acción Ambiental. En 1993 se crea el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y se emitieron importantes leyes como la Ley de Participación Popular, la Ley del Ambiente y la nueva Ley Forestal. Igualmente se inicia con la Agenda 21 nacional y otros esquemas de política ambiental.

En el caso de Brasil en 1994 fue creada la Comisión Interministerial de Desarrollo Sostenible y luego se creó el Programa Nacional de Biodiversidad, el Fondo Nacional de Biodiversidad en 1996 y algunos planes para combatir la desertificación.

En Honduras se crea en 1996 la Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente y el Consejo Nacional de Desarrollo Sostenible. Se constituye la Comisión Nacional de Biodiversidad en 1998 y se emiten leyes importantes como la Ley del Medio Ambiente (1993) con sus disposiciones sobre estudios de impacto ambiental, las cuales fueron reglamentadas posteriormente.

En México se cuenta con Consejos de Desarrollo Sostenible (a nivel local y nacional) y se reforma la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección del Ambiente, incorporando muchas de las disposiciones e inquietudes de Río y nuevas leyes forestales se han emitido. Se cuenta con Programas Ambientales que cubren de 1995 al 2000. (pp. 313-314).

Los países como Belice, Chile, Cuba, El Salvador, Nicaragua y Perú también estructuraron sus leyes más o menos similar, con la de los países anteriormente citados. En palabras de (Medaglia 2003, p. 316), ellas establecen la política nacional ambiental y los instrumentos jurídicos para su aplicación

Lo habitual era que la EIA se incorporara a los sistemas jurídicos para la protección del medio ambiente a través de las leyes generales sobre la materia que han caracterizado

el desarrollo del derecho ambiental en la región, como uno de los instrumentos que se iban estableciendo para llevar a cabo la política ambiental nacional. (Brañes, 2018, p. 217).

Sin embargo, en ciertos países como Paraguay y Uruguay la EIA fue incorporada por medio de leyes específicas sobre la evaluación del impacto ambiental [...]en otros, en cambio, la EIA fue incorporada mediante leyes especiales como ocurre en Argentina. (Brañes, 2018, p. 217).

III.II El procedimiento de evaluación de impacto ambiental en México

La evaluación de impacto ambiental es un mecanismo que apareció por vez primera en los Estados Unidos, dentro de la Ley sobre Política Nacional Ambiental de 1969 de los Estados Unidos de América (National Environmental Policy Act, NEPA), cuya sección 102, núm. 2, letra C, establece literalmente lo siguiente:

Todas las Agencias del Gobierno Federal deberán incluir en cada recomendación o informe sobre propuestas para legislación, y otras acciones federales importantes que afecten significativamente la calidad del ambiente humano (Brañes, 2018, p. 215).

La evaluación de impacto ambiental (EIA) es un proceso para garantizar información temprana y adecuada sobre el probable impacto en el medio ambiente debido a los proyectos de desarrollo. La EIA se estableció formalmente en EUA en 1969 como se mencionó con anterioridad, pudo recibir un impulso significativo en Europa después de que se introdujera la Directiva del Consejo Europeo sobre EIA en 1985 y desde

entonces el alcance de la EIA se ha desarrollado, pero también ha adoptado cambios a lo largo de los años. La EIA evalúa los impactos ambientales tanto beneficiosos como adversos de un proyecto propuesto junto con los impactos socioeconómicos, culturales y de la salud humana interrelacionados.

La Asociación Internacional para la Evaluación de Impacto (IAIA) define una evaluación de impacto ambiental como el proceso de identificar, predecir, evaluar y mitigar los efectos biofísicos, sociales y otros efectos relevantes de las propuestas de desarrollo antes de que se tomen decisiones importantes y se asuman compromisos (International Association for Impact Assessment, tomado de Environmental Impact Assessments, 2016, P. 1).

En el caso de México, este proceso se encuentra normado por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y su aplicación está a cargo de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Este capítulo analiza el procedimiento de EIA en México y su importancia en la preservación del medio ambiente y el desarrollo sostenible.

El marco normativo y legal de la EIA en México lo encabeza La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) define los lineamientos fundamentales para conservar y recuperar el equilibrio ecológico, así como para garantizar la protección del medio ambiente. Dentro de esta ley, la EIA es un mecanismo clave para asegurar que las actividades económicas no comprometan la salud ambiental.

En su artículo 28 de la LGEEPA define la EIA como:

el procedimiento a través del cual la Secretaría establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el medio ambiente (Camara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 24).

Seguido del reglamento de la LGEEPA en materia de evaluación de impacto ambiental y diversas normas oficiales (NOM'S) cuales instrumentos complementan el marco legal de la EIA, estableciendo los procedimientos específicos, criterios técnicos y administrativos necesarios para la realización de las evaluaciones.

Posteriormente sigue procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental, sus etapas comienzan con la solicitud y presentación de la Manifestación de Impacto Ambiental (MIA) las empresas o entidades que desean realizar un proyecto deben presentar una MIA ante la SEMARNAT, describiendo detalladamente el proyecto y sus posibles impactos ambientales.

La EIA también tiene una etapa donde se hace la participación ciudadana; la consulta pública en el proceso de EIA está contemplada para fortalecer la democracia participativa, permitiendo que la sociedad civil y que las comunidades potencialmente impactadas participen en el proceso de toma de decisiones respecto a los proyectos que puedan alterar su entorno. Aunque en la realidad, en México las normas no se apliquen.

Como la prevención de conflictos al identificar y abordar los posibles impactos ambientales antes de la implementación de un proyecto, la EIA ayuda a prevenir conflictos sociales y legales que puedan surgir de los daños ambientales no previsto.

Ante el ingreso de las obras y actividades a la gaceta ecológica, la alteración de la realidad, de cada proyecto autorizado comienza a restringir el espacio ecosistémico de la flora y fauna. Produciendo efectos de riesgo ambientalmente significativos, como poner a alguna especie en situación de amenaza o en riesgo de extinción teniendo en cuenta que el medio ambiente sano es significativo para cada ser vivo del planeta, así como la salud humana. Un desarrollo no controlado ensancha la pérdida de cobertura vegetal, acelera y modifica los ecosistemas y se pierde la biodiversidad mexicana.

Precisamente desde hace más de 30 años surge la EIA para atender los posibles impactos ambientales desde antes de que ocurran. Es un mecanismo casi nuevo que cabe analizar para comprender su función específica en relación con los años de experiencia que lleva como instrumento; en correlación a la política, gestión y administración ambiental.

El instrumento de evaluación de impacto ambiental tiene el aplicativo de prevenir, identificar y valorar los efectos que las actividades humanas puedan tener sobre el medio ambiente. Así dentro de la política mexicana se adopta el principio 17 de la cumbre de río 1992, principio ya expuesto en párrafos anteriores de este capítulo.

Como lo dice Raúl Brañes en su obra “En definitiva, estimamos que la EIA llegará a funcionar de manera apropiada como instrumento de la política ambiental, a nivel de proyecto, cuando forme parte de un sistema completo de protección del medio ambiente y promoción del desarrollo sostenible” (Brañes, Manual de derecho ambiental mexicano , 2018).

Capítulo IV. Sistemas de información geográfica e interpolación: aplicaciones en el análisis espacial

Este capítulo tiene como propósito ofrecer una visión general sobre los Sistemas de Información Geográfica (SIG), incluyendo una breve descripción de su evolución histórica, sus componentes esenciales, principales funciones y aplicaciones representativas. En particular, se abordará la técnica de interpolación, la cual será utilizada en el presente trabajo de investigación.

La interpolación en el ámbito de los SIG se refiere al proceso de estimar valores desconocidos en una superficie geográfica a partir de valores conocidos en puntos cercanos. Este método es muy útil para la creación de mapas temáticos basados en múltiples variables ambientales, tales como concentraciones de gases contaminantes (en este caso, monóxido de carbono CO), mapas de cambios de uso de suelo, urbanos, climáticos, así como mapas sobre incidencia delictiva (Burrough & McDonnell, 1998).

En esta investigación se aplicó el método de interpolación mediante el software Quantum Geographic Information System (QGIS Geographic Information System, s.f.) con el fin de generar superficies continuas que representen la concentración de CO en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Se utilizaron datos obtenidos de la Red de Estaciones Automáticas de Monitoreo Atmosférico (RAMA), perteneciente al Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT), compuesto por 32 estaciones que registran niveles de CO de forma horaria (SEDEMA, s.f.).

Entre los métodos de interpolación descritos en la literatura especializada, destacan:

IDW (Inverse Distance Weighting): Método que asigna mayor peso a los puntos cercanos al lugar de estimación, disminuyendo la influencia a medida que aumenta la distancia.

Spline: Técnica que suaviza valores mediante superficies continuas que pasan por todos los puntos de datos, siendo adecuada para generar superficies sin discontinuidades abruptas.

Kriging: Considerado uno de los métodos más robustos, ya que incorpora tanto la distancia como la estructura de la variabilidad espacial entre puntos, permitiendo estimaciones con menores errores y mapas de incertidumbre (Burrough & McDonnell, 1998).

Estos métodos se aplican en numerosos campos, incluyendo la generación de modelos digitales de elevación (DEM), estimaciones de precipitación, temperatura, entre otros fenómenos espaciales. Sin embargo, su eficacia depende de la calidad y distribución de los puntos de datos originales, por lo que es esencial comprender las propiedades espaciales del fenómeno a modelar (Burrough & McDonnell, 1998).

Para la evaluación de la contaminación por CO se propone un análisis espaciotemporal basado en una serie de 24 mapas mensuales (2020–2021) generados a partir de datos de SEDEMA. Este análisis permitirá la creación de un modelo espacial en QGIS, siguiendo un enfoque sistemático.

En este sentido, se retomó el enfoque metodológico de Garrido (2003), quien establece como primer paso la representación concreta del fenómeno geográfico, en este caso la contaminación atmosférica por CO en la Ciudad de México para el año de 2020 y 2021.

El segundo paso implica la recopilación de datos con atributos espaciales y temáticos los cuales fueron obtenidos de fuentes oficiales. Posteriormente, se creó una base de datos digital en Excel donde se cargaron estos atributos al software QGIS permitiendo un análisis interpretativo por parte del investigador. Finalmente, se generaron salidas de información para alcanzar los objetivos planteados.

Como complemento metodológico, se aplicó una entrevista semiestructurada de tipo cualitativo a un servidor público de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) con el objetivo de obtener una visión práctica sobre el uso de los SIG.

IV.I Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG constituyen herramientas fundamentales para el análisis espacial en múltiples disciplinas. Permiten la captura, almacenamiento, gestión, análisis y visualización de información geoespacial, facilitando la toma de decisiones en áreas como la planificación urbana, gestión ambiental, agricultura, salud pública, y logística (Longley et al., 1999).

De acuerdo con (Almeida, 2024), usuario experimentado de SIG que actualmente labora en la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), el sistema se compone de:

Hardware: Equipos informáticos y periféricos utilizados para operar un SIG.

Software: Aplicaciones como QGIS, ArcGIS o GRASS GIS que permiten la manipulación y análisis de datos geoespaciales.

Datos: Información geoespacial en formato vectorial, raster o imágenes satelitales.

Métodos: Técnicas analíticas como la interpolación, análisis de redes o modelado geoespacial.

Personal: Profesionales capacitados en la gestión de datos geográficos.

Dicho brevemente el genesis de los SIG viene desde la década de 1960, destacando el desarrollo del "Canada Geographic Information System" (CGIS) en 1963, utilizado para la gestión de recursos naturales en Canadá (Tomlinson, 2003). Desde entonces, su evolución ha sido impulsada por avances tecnológicos y la creciente demanda de análisis espaciales sofisticados.

IV.II Funciones de los SIG

Los SIG ofrecen funciones esenciales como la digitalización de datos, su almacenamiento eficiente, el análisis espacial (como la superposición de capas), la visualización de mapas y gráficos, así como el modelado y simulación de escenarios futuros (Chang, 2018).

Funciones adicionales de los SIG según Chang (2018) y fuentes complementarias:

1. Análisis de redes (network analysis), por ejemplo, rutas más cortas, áreas de servicio, análisis de accesibilidad entre puntos.

2. Geocodificación (conversión de direcciones en coordenadas geográficas) y segmentación dinámica de líneas (usar características lineales como carreteras para referenciar ubicaciones).
3. Análisis de terreno, incluyendo la generación de superficies digitales, cálculo de pendientes (slope), orientación de pendientes (aspect), curvatura de superficies, visibilidad desde puntos de observación (viewshed) y cuencas hidrológicas (watershed) para modelado hidrológico.
4. Interpolación espacial: estimar valores en ubicaciones no muestreadas a partir de puntos conocidos; métodos como kriging, pesos inversos a distancia (IDW), redes irregulares trianguladas (TIN).
5. Operaciones raster locales, zonales y globales: reclasificación, operaciones de vecindad, combinaciones de mapas raster mediante álgebra de mapas.

IV.III Aplicaciones geoespaciales en el análisis ambiental: estudios de caso con QGIS.

El uso de los SIG se ha consolidado como una herramienta esencial para el análisis, gestión y modelación de fenómenos espaciales en diversas disciplinas. Su aplicación en investigaciones científicas y proyectos de gestión ambiental ha permitido optimizar la toma de decisiones, evaluar escenarios territoriales y mejorar la comprensión de procesos naturales y antrópicos. A continuación, se presentan diversos estudios de caso internacionales en los que se ha empleado QGIS como herramienta principal, con el propósito de ilustrar su alcance metodológico y su relevancia en el análisis espacial aplicado, aportando un referente para el enfoque adoptado en la presente tesis.

Estudios ambientales, como el desarrollado por la Universidad Tecnológica de Pereira, en Colombia, donde se analizaron niveles de corrosión atmosférica mediante georreferenciación GPS y SIG, generando mapas que permiten estimar la vida útil de materiales expuestos (Castaño González, 2007). Asimismo, Bravo (2000) destaca su utilidad en ámbitos socioeconómicos y de administración pública, subrayando su aplicabilidad al medio ambiente.

IV.IV Estudios de caso con QGIS:

1. Contaminación difusa y gestión de cuencas (H. Lee, 2022)

En este estudio, los autores desarrollan y aplican un modelo en QGIS para manejar contaminación difusa causada por animales domésticos, integrando análisis espacial para mejorar la gestión de cuencas.

2. Gestión de recursos hídricos subterráneos (De Filippis et al, 2020).

Este trabajo ilustra cómo la plataforma FREEWAT integrada con QGIS se ha empleado en 13 casos reales para la gestión numérica y espacial del agua subterránea.

3. Dinámica del uso del suelo en el sur de India (Padma et al, 2022).

En este artículo se usa QGIS para analizar los cambios en uso de la tierra y cobertura vegetal sobre varias fechas, además de simular los cambios futuros usando datos de Google Earth junto con módulos de QGIS.

4. Creación de mapas web con QGIS (Basholli et al, 2025).

Este estudio analiza cómo se emplean plugins de QGIS para crear mapas web integrados con plataformas como GIS Cloud, permitiendo el monitoreo de poblaciones de mosquitos mediante visualización y análisis espacial accesibles.

IV.V Perspectivas futuras de los SIG

El estudio de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) brinda una oportunidad significativa para comprender sus amplias capacidades y explorar su aplicación en contextos reales. Entre sus principales fortalezas se destacan la gestión eficiente de grandes volúmenes de datos espaciales, la capacidad de integrar información

proveniente de diversas fuentes con distintos formatos y estructuras y la posibilidad de realizar análisis espaciales complejos que permiten una interpretación más profunda del territorio. Este acercamiento también permite identificar los desafíos inherentes a su uso, como la necesidad de formación continua del personal especializado y la constante actualización tecnológica. En este sentido, familiarizarse con los SIG no solo enriquece el conocimiento técnico, sino que también habilita nuevas herramientas para la toma de decisiones sustentadas en información geoespacial confiable.

En este contexto, (Almeida, 2024) señala que uno de los principales retos a nivel institucional y personal es trascender el rol de usuario operativo para asumir una posición más activa en el desarrollo de soluciones geoespaciales, mediante el dominio de lenguajes de programación. Esta visión se materializa en su trabajo con el Sistema de Información Geográfica para la Evaluación del Impacto Ambiental (SIGEIA), una plataforma propia de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), que busca el avance en la incorporación de herramientas geoespaciales al análisis de proyectos susceptibles de generar impactos ambientales e incrementar su funcionalidad e inteligencia a través del desarrollo de nuevas versiones.

Al ser yo parte de la subdirección de Innovación y Desarrollo aunada a la SEMARNAT, en síntesis, puedo decir que el SIGEIA se estructura en dos versiones funcionales que responden a distintos niveles de acceso y profundidad técnica. Por un lado, la versión pública está orientada a la ciudadanía y permite la consulta de información ambiental básica sobre sitios específicos, incluyendo su relación con instrumentos de planeación territorial como ordenamientos ecológicos, áreas naturales protegidas y zonas

prioritarias para la conservación. Esta interfaz promueve la transparencia institucional y fomenta la participación informada en los procesos de evaluación ambiental.

Por otro lado, la versión técnica del SIGEIA está destinada exclusivamente a los evaluadores ambientales dentro de la SEMARNAT. Esta versión incorpora capas de información más detalladas, criterios normativos específicos y funcionalidades analíticas avanzadas que permiten realizar dictámenes técnicos conforme a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. La distinción entre ambas versiones no solo responde a criterios de acceso a la información, sino que refleja una estrategia institucional para equilibrar la participación ciudadana con la rigurosidad técnica en la toma de decisiones ambientales.

Esta dualidad funcional convierte al SIGEIA en una plataforma híbrida que articula la gestión ambiental participativa con la evaluación técnica especializada, consolidando su papel como instrumento clave en la política ambiental mexicana.

El futuro de los SIG se vislumbra estrechamente vinculado al avance de tecnologías emergentes, particularmente la programación y el aprendizaje automático. La convergencia entre estas disciplinas promete potenciar las capacidades analíticas de los SIG, habilitando nuevas herramientas y mejorando el aprovechamiento de los datos geoespaciales con miras a una toma de decisiones más precisa, predictiva y eficiente.

Capítulo V. Metodología por el método de interpolación IDW en QGIS para el análisis espacial del monóxido de carbono en la Ciudad de México en los años 2020 y 2021.

El estudio de la concentración de Monóxido de Carbono (CO) en la Ciudad de México es clave para entender cómo nuestras actividades diarias impactan la calidad del aire. En esta investigación, se tomó en cuenta un período que abarca durante la pandemia de COVID-19 con la intención de ver qué tanto influyeron las restricciones de movilidad y la posterior reactivación económica en los niveles de este gas.

Antes de la pandemia la principal fuente de CO era el tráfico y las actividades industriales. Pero con el confinamiento en 2020 la movilidad se redujo de manera drástica lo que probablemente llevó a una disminución de este gas en la atmósfera. Luego, con el regreso paulatino de las actividades en 2021 es importante analizar si los niveles de CO volvieron a ser los mismos de antes o si hubo cambios significativos en la calidad del aire.

El análisis espacial de los contaminantes atmosféricos es clave para entender su distribución y efectos en áreas urbanas. Entre las técnicas más usadas para este propósito está la interpolación ponderada inversa (IDW, por sus siglas en inglés), que se implementa en sistemas de información geográfica (SIG) como QGIS. En este capítulo se detalla la metodología empleada para estudiar la concentración de CO en la Ciudad de México durante 2020 y 2021 utilizando el método IDW en QGIS.

Con el propósito de obtener la información necesaria para el desarrollo del presente estudio, se solicitó a la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA), a través de su área de Transparencia, los registros de concentraciones de monóxido de carbono (CO) correspondientes a los años 2020 y 2021. Dichos datos resultaban fundamentales para la elaboración del análisis espacial e interpolación de concentraciones dentro del área de estudio.

El proceso de obtención de la información fue prolongado y requirió insistencia constante. En primera instancia, se realizaron solicitudes a través de mi correo electrónico personal, sin obtener respuesta. Posteriormente, la petición se reiteró desde la cuenta institucional proporcionada por la universidad, sin éxito. Finalmente, al realizar la solicitud mediante mi correo oficial como servidor público de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), se obtuvo respuesta favorable y la SEDEMA proporcionó los datos solicitados.

El archivo recibido contenía, en formato Excel, las concentraciones horarias de monóxido de carbono desde 1989 hasta 2024 junto con las coordenadas geográficas de cada estación de monitoreo atmosférico, así como la clave de la alcaldía en la que se encuentra cada una de ellas. A partir de esta base de datos, se procedió a preparar y depurar la información correspondiente a las tres estaciones que registran monóxido de carbono: UAM Xochimilco, UAM Iztapalapa y Tláhuac, ajustando los formatos y atributos de los registros a los requerimientos específicos del software QGIS para su posterior procesamiento, análisis e interpolación espacial (en párrafos posteriores se detalla mejor la preparación de los datos).

Este proceso evidenció las dificultades que pueden presentarse en la gestión y acceso a la información ambiental, y resalta la importancia de la persistencia y del uso de canales institucionales adecuados para garantizar la transparencia y la disponibilidad de datos confiables en materia ambiental.

Con esta información, se generan mapas mediante interpolaciones espaciales con el método IDW en QGIS con la finalidad de visualizar con mayor detalle cómo se distribuyó el CO en la Ciudad de México a lo largo de las distintas etapas de la pandemia.

Como ejemplo representativo del análisis espacial realizado se presenta de forma detallada la distribución de las concentraciones de (CO) correspondientes al mes de enero del año 2020 pues para este período se utilizaron los datos promedio mensuales obtenidos de tres estaciones de monitoreo atmosférico ubicadas en la Ciudad de México los cuales fueron procesados mediante el método ya mencionado. Lo que permitió la generación de un mapa continuo que muestra la variación espacial del contaminante.

Por su parte, los resultados correspondientes a los demás meses del período de estudio que abarca los años 2020 y 2021 se presentan de manera resumida en formato tabular incluyendo valores estadísticos como el promedio, la desviación estándar, los valores mínimo y máximo, así como el rango de variabilidad. Esta presentación permite organizar la información de manera clara y concisa evitando la dispersión que implicaría mostrar cada mes en un mapa independiente. Además, dichos resultados se comparan con los límites establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-

2021 con el objetivo de evaluar si los niveles de CO registrados se encuentran dentro de los estándares de calidad del aire establecidos para la Ciudad de México.

V.I Preparación de los datos

1. **Selección de estaciones de monitoreo:** En la Zona Metropolitana del Valle de México se encuentran activas 33 estaciones que son parte de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico (por sus siglas, RAMA). Dicho lo anterior se identificaron 3 estaciones con datos completos y confiables en el período de estudio. Estas estaciones se encuentran ubicadas en la zona de la alcaldía de Tláhuac, UAM Xochimilco y UAM Iztapalapa; a propósito que se seleccionaron por ser las más cercanas a mi hogar de residencia.
2. **Preprocesamiento:** Los datos fueron limpiados para eliminar valores atípicos y manejos de datos faltantes. Es decir, algunas horas del día no contaban con registro de datos del monóxido de carbono; así que me asesoré con un especialista en SIG y me recomendó que sacara los promedios correspondientes utilizando solo los datos con los que cuento, así que si no había registro (SR), o en su defecto un valor atípico en una hora determinada del día el valor se cambió a 0.
3. **Georreferenciación:** En cuanto a la georreferenciación, se asignaron las coordenadas geográficas a cada estación de monitoreo atmosférico para su representación en QGIS. Tomadas de los datos proporcionados por SEDEMA.

V.II Aplicación del método IDW en QGIS

El método de interpolación IDW es una técnica que estima valores en ubicaciones desconocidas a partir de datos de puntos muestreados. La idea principal es que los valores en puntos cercanos tienen más influencia en la estimación que los valores en puntos lejanos (Shepard, 1968).

En virtud de ello, para la implementación de este método, previamente, en el mes de octubre de 2024 se mandó un correo electrónico a la Secretaria de Medio Ambiente (por sus siglas SEDEMA) para consultar de manera formal la base de datos correspondiente al contaminante CO en los años 2020 y 2021.

Dicho sea de paso, las bases de datos contienen los promedios del CO por hora, por tal motivo se obtuvo el promedio por día, para luego obtener el promedio por mes. A todo esto, se manejaron los datos con el soporte de Microsoft Excel.

Llegados a este punto, la base de datos por mes se guardó en formato CSV ya que es un formato valido que lee Qgis.

V.III ¿Qué es un archivo CSV?

CSV significa Comma Separated Values (valores separados por comas). Es un formato de archivo que almacena datos en texto plano, donde cada línea representa un registro y las columnas están separadas por comas. Es muy útil para transferir datos entre diferentes programas o sistemas, como Excel (hojas de cálculo) y bases de datos. Es uno de los formatos más universales para trabajar con datos tabulares. Además, permite la estructuración de datos tabulares con encabezados en la primera fila para identificar las variables (IBM, 2021).

A todo esto, para crear la base de datos correspondiente se usó como soporte el programa Microsoft Excel, no obstante, se diseñó de manera que en la primera columna se encabezó el ID de la estación y debajo la nomenclatura “EST_TAH”. En la segunda columna se encabezó el AÑO, y debajo “2020”, por ejemplo. En la tercera se encabezó el MES y de bajo “ENE”. En la cuarta columna se encabezó el eje de las X y debajo la coordenada “-99.010564”. En la quinta columna se encabezó el eje de las Y, de bajo la coordenada “19.246459”. (cabe mencionar que las coordenadas son geográficas). En la sexta columna se encabezó la CLAVE y debajo “TAH” (para la estación Tláhuac). Y, por último, en la última columna se encabezó CO y se coloca su valor abajo “0.37587366”, (cabe señalar que este es el promedio por mes).

Dicho lo anterior se revisó la estructura verificando que todo estuviera en orden, para después guardar el archivo en formato CSV que ofrece Microsoft Excel.

Siendo así, se generaron 12 bases de datos por mes del año 2020 en una carpeta y 12 bases más por mes para el año 2021 en otra carpeta.

A continuación, se muestra el primer ejemplo de archivo CSV del año 2020 que incluye el promedio de las 3 estaciones del mes de enero:

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	ESTACION	AÑO	MES	X	Y	CLAVE	CO	
2	EST_TAH	2020	ENE	-99.010564	19.246459	TAH	0.37587366	
3	EST_UIZ	2020	ENE	-99.07388	19.360794	UIZ	0.36717063	
4	EST_UAX	2020	ENE	-99.103629	19.304441	UAX	0.38467742	
5								

Figura 8. Base de datos enero 2020 en archivo CSV estructurado en Microsoft Excel en marzo de 2025.

Para la ejecución en QGIS consta de los siguientes pasos:

1. **Carga de datos:** Una vez teniendo las 24 bases de datos en formato CSV fueron importadas a QGIS base por base de modo de generar 24 mapas por mes que representan la dispersión del CO en el área de estudio antes mencionada
2. **Configuración de parámetros:** En la herramienta de interpolación IDW de QGIS se establecieron los parámetros de peso inverso y el número de vecinos más cercanos.
3. **Generación de mapas:** Se ejecutó el algoritmo “Interpolación IDW” y se generó el mapa correspondiente al mes y al año el cual muestra la distribución espacial de CO en el área de estudio de interés.

Llegados a este punto se presentan los mapas para el análisis espacial de la contaminación por monóxido de carbono (CO) en la Ciudad de México para los años

2020 y 2021. Como se mencionó en párrafos anteriores, la evaluación se realizó utilizando interpolación mediante el método de IDW (QGIS Development Team, 2025) a partir de los datos promedio mensuales obtenidos de tres estaciones de monitoreo atmosférico. Los resultados permiten identificar las tendencias espaciales de la concentración de CO y su variabilidad temporal, lo que contribuye a la comprensión de la dinámica de la contaminación en la zona de estudio.

La información de los meses del período 2020 se presenta de forma resumida en la Figura 10 que incluye indicadores estadísticos como promedio, desviación estándar, valores extremos y rango.

V.IV Distribución espacial de CO, variaciones mensuales (enero 2020)

En enero de 2020, se registraron las siguientes concentraciones de monóxido de carbono (CO) en las estaciones de monitoreo ya mencionadas.

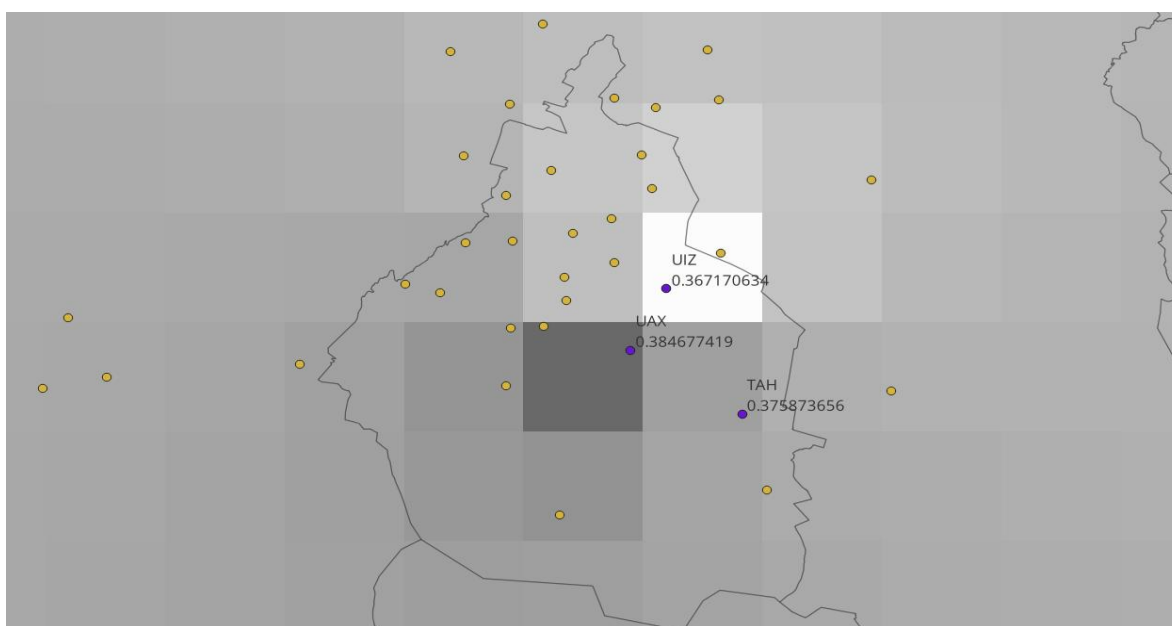


Figura 9. Promedio CO enero 2020, mapa diseñado en QGIS marzo 2025. (QGIS Development Team, 2025).

Este análisis presenta la distribución espacial y la evaluación de la contaminación por monóxido de carbono (CO) en la Ciudad de México durante enero de 2020. Se utilizaron datos de tres estaciones de monitoreo atmosférico y se compararon con los valores establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SSA1-2021.

V.V Resultados del análisis espacial

Los valores de concentración de CO registrados en enero de 2020 fueron los siguientes:

- **Promedio de CO:** 0.376 ppm
- **Desviación estándar:** 0.0071 ppm (baja variabilidad)
- **Valor mínimo:** 0.367 ppm (EST_UIZ)
- **Valor máximo:** 0.385 ppm (EST_UAX)
- **Rango de variabilidad:** 0.0175 ppm

Los datos muestran que las concentraciones de CO fueron homogéneas entre las estaciones de monitoreo, con diferencias mínimas en los valores medidos.

V.VI. Comparación con la norma NOM-021-SSA1-2021

La NOM-021-SSA1-2021 establece los siguientes límites de concentración de monóxido de carbono:

- **Límite máximo en 1 hora:** 26 ppm.
- **Límite máximo en 8 horas:** 9 ppm.

Comparando estos valores con los datos de enero 2020:

- El valor máximo registrado (0.385 ppm) representa solo 1.48% del límite normativo de 26 ppm para un promedio de 1 hora.
- Así mismo en un período de 8 horas, dicho valor corresponde al 4.28% del límite de 9 ppm, con forme a la normatividad vigente.

Estos resultados indican que las concentraciones de CO en enero de 2020 estuvieron muy por debajo de los límites normativos, lo que sugiere que no representaron un riesgo significativo para la salud según la normativa vigente.

El análisis espacial de enero de 2020 muestra que los niveles de CO en la Ciudad de México fueron relativamente homogéneos y bajos en comparación con los estándares normativos. La concentración más alta representó menos del 7% del límite permitido en 8 horas, indicando una baja afectación por este contaminante en ese período.

MES	ANO	PROM_CO_PPM	DES_ESTANDAR_PPM	PROM_MIN_PPM	ROM_MAX_PP	RANGO_VARIABILIDAD_PPM
ene	2020	0.376	0.0071	0.367	0.385	0.0175
feb	2020	0.372	0.032	0.339	0.402	0.063
mar	2020	0.314	0.023	0.292	0.338	0.0459
abr	2020	0.2524	0.0342	0.219	0.286	0.0673
may	2020	0.2559	0.0323	0.23	0.301	0.0708
jun	2020	0.1988	0.013	0.184	0.21	0.0258
jul	2020	0.2549	0.0142	0.237	0.265	0.0281
ago	2020	0.292	0.0213	0.275	0.321	0.0464
sep	2020	0.2857	0.0211	0.265	0.315	0.0497
oct	2020	0.2933	0.0084	0.283	0.304	0.0208
nov	2020	0.373	0.0326	0.347	0.41	0.0635
dic	2020	0.3522	0.0366	0.326	0.396	0.0708

Figura 10. Elaboración propia con datos registrados durante el año 2020. Resumen estadístico mensual de concentraciones de CO (ppm) durante 2020. Se incluye promedio, desviación estándar, valores mínimo y máximo y rango de variabilidad. Soporte Excel 2025.

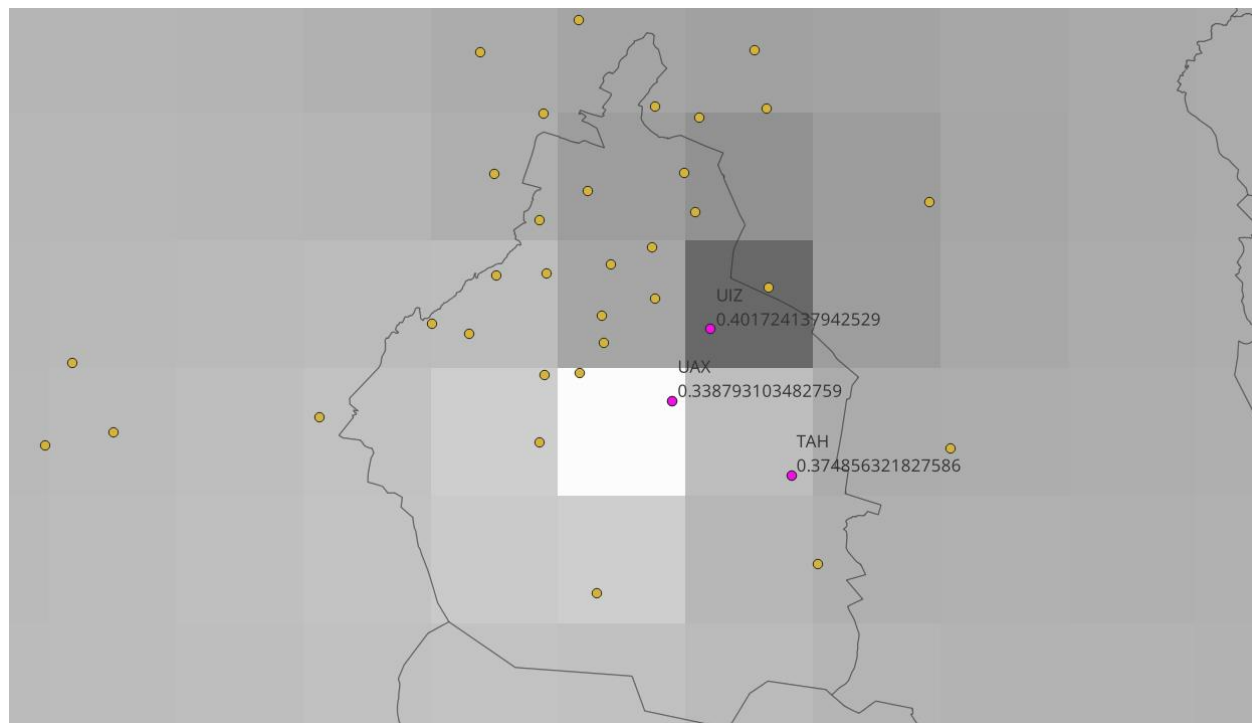


Figura 11. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX febrero 2020 (QGIS Development Team, 2025).

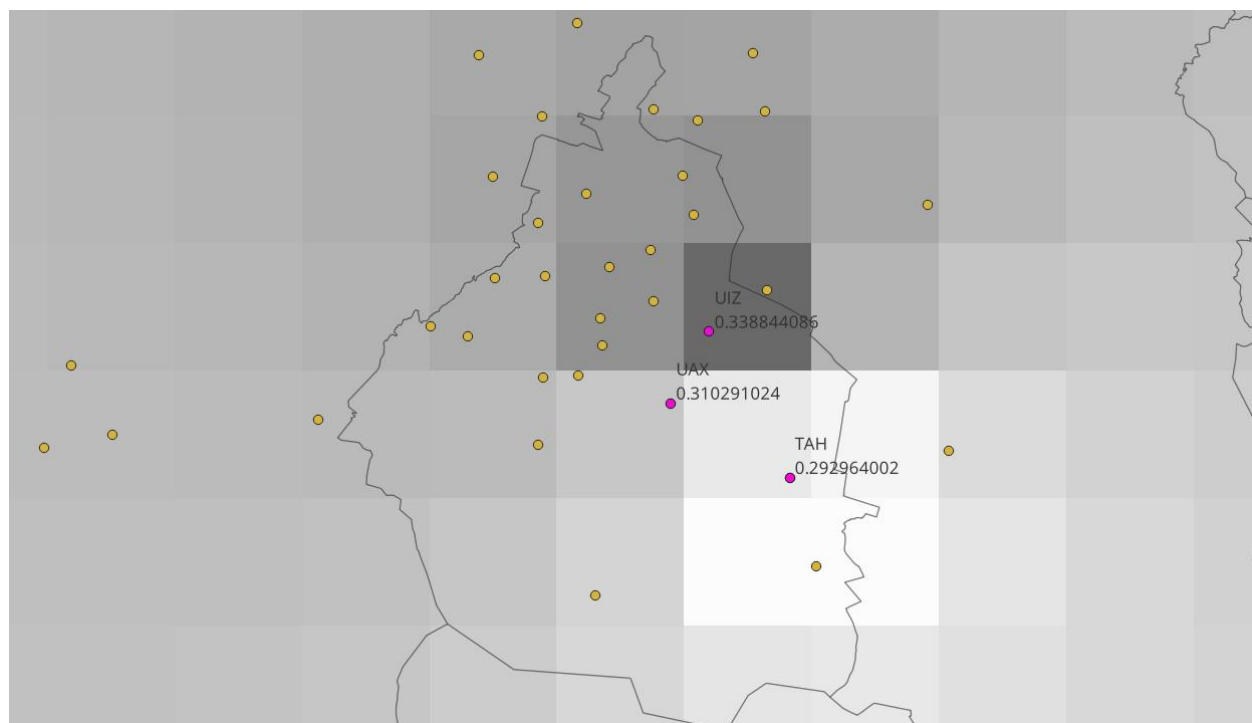


Figura 12. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX marzo 2020 (QGIS Development Team, 2025).

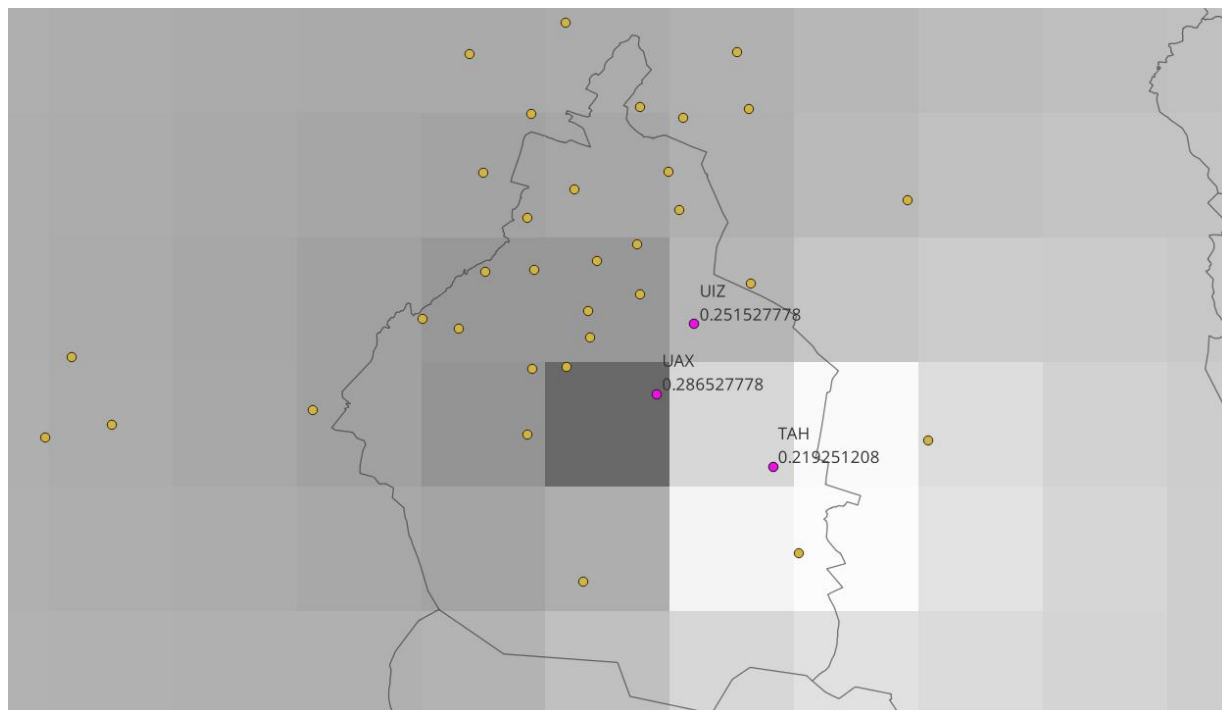


Figura 13. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX abril 2020 (QGIS Development Team, 2025).

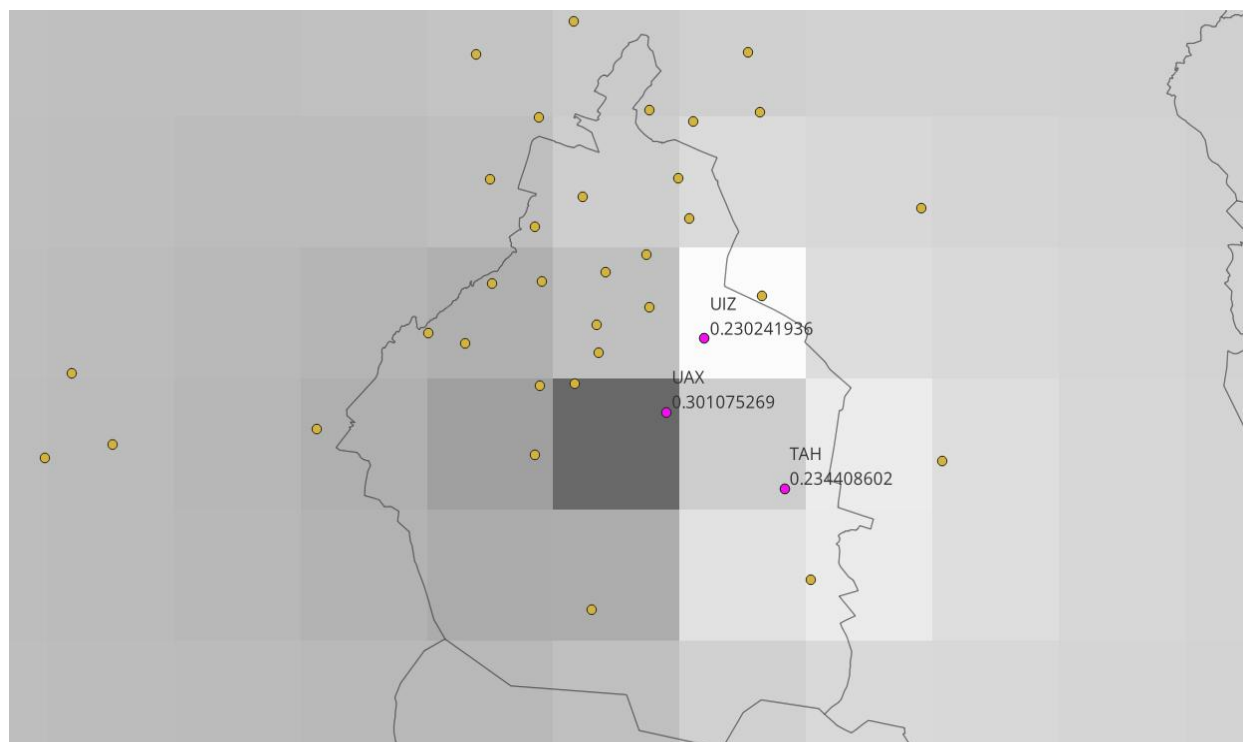


Figura 14. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX mayo 2020 (QGIS Development Team, 2025).

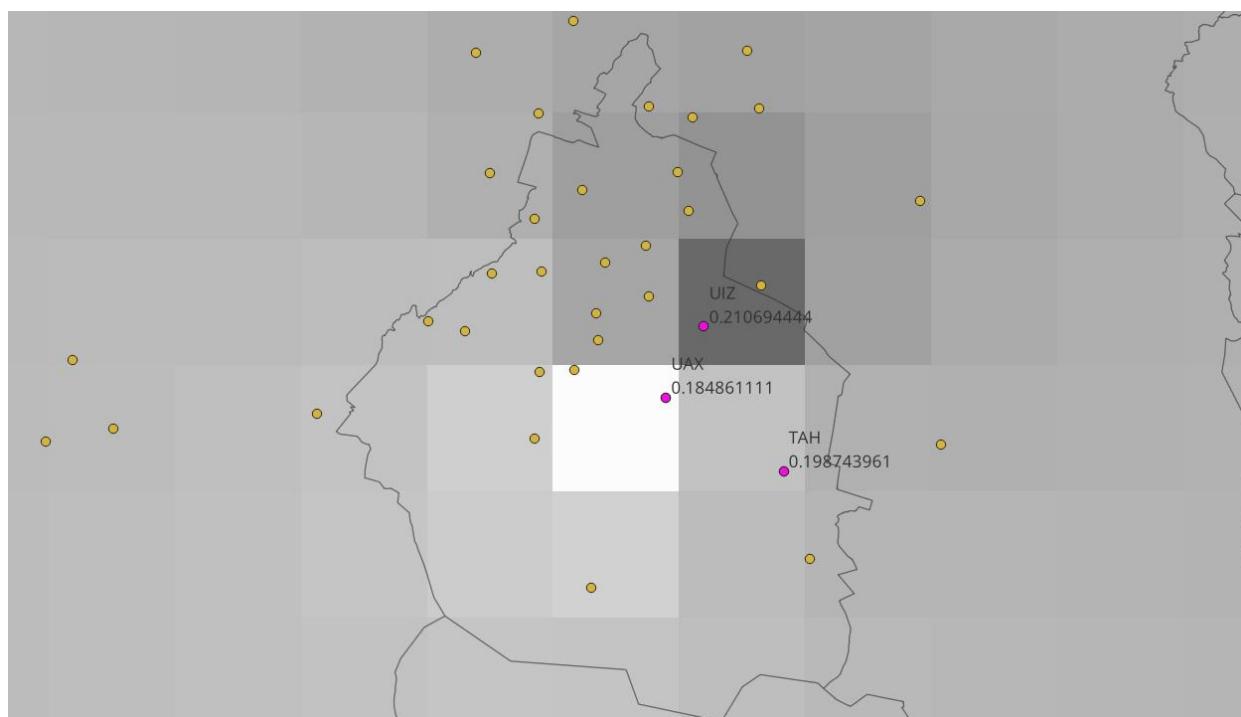


Figura 15. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX junio 2020 (QGIS Development Team, 2025).

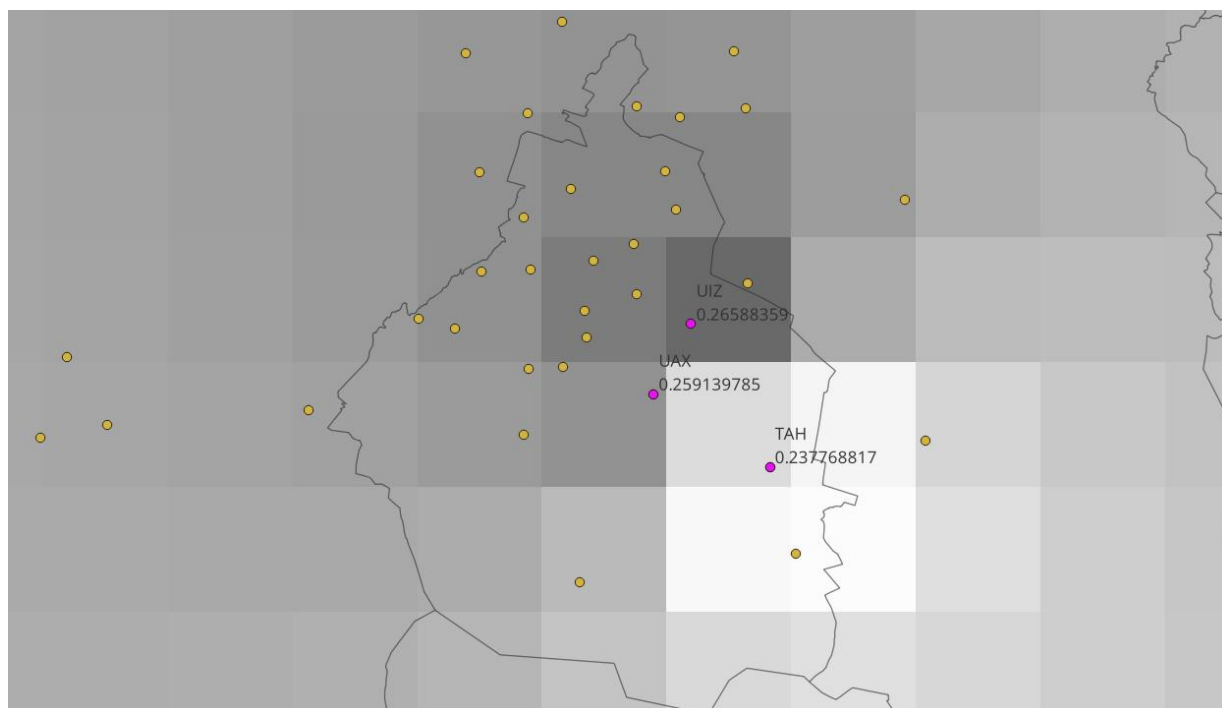


Figura 16. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX julio 2020 (QGIS Development Team, 2025).

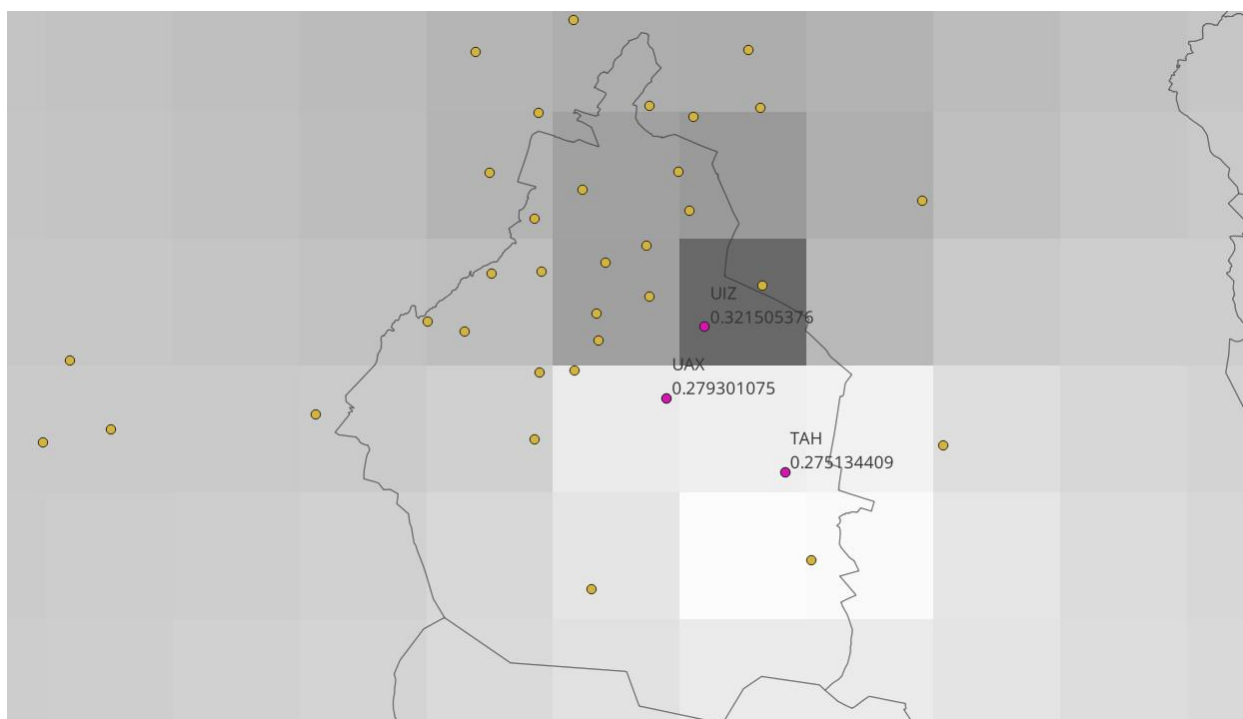


Figura 17. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX agosto 2020 (QGIS Development Team, 2025).

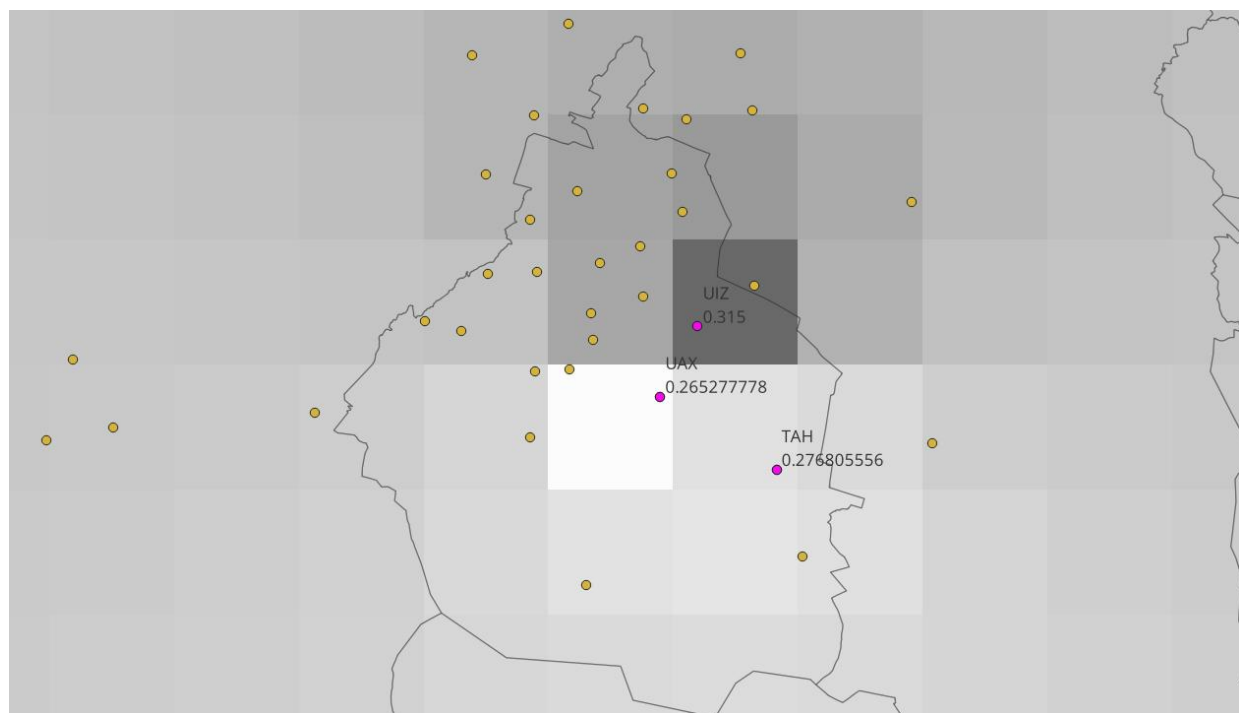


Figura 18. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX septiembre 2020 (QGIS Development Team, 2025).

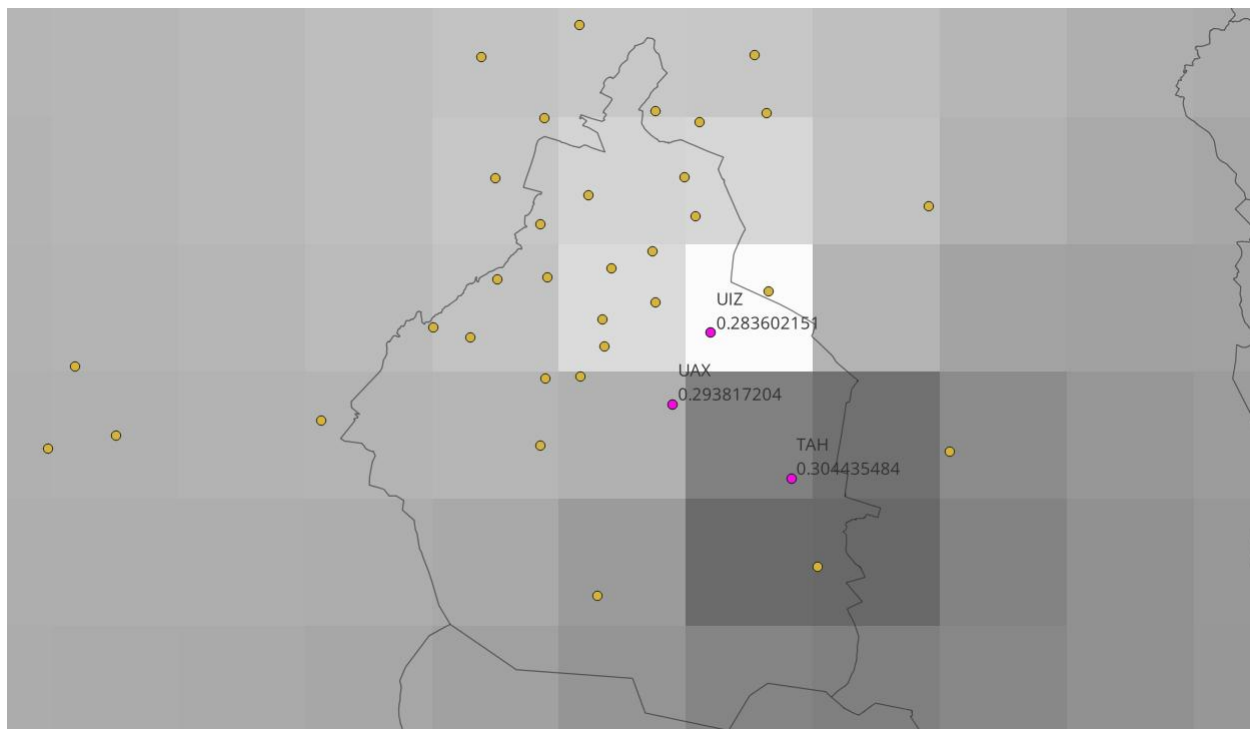


Figura 19. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX octubre 2020 (QGIS Development Team, 2025).

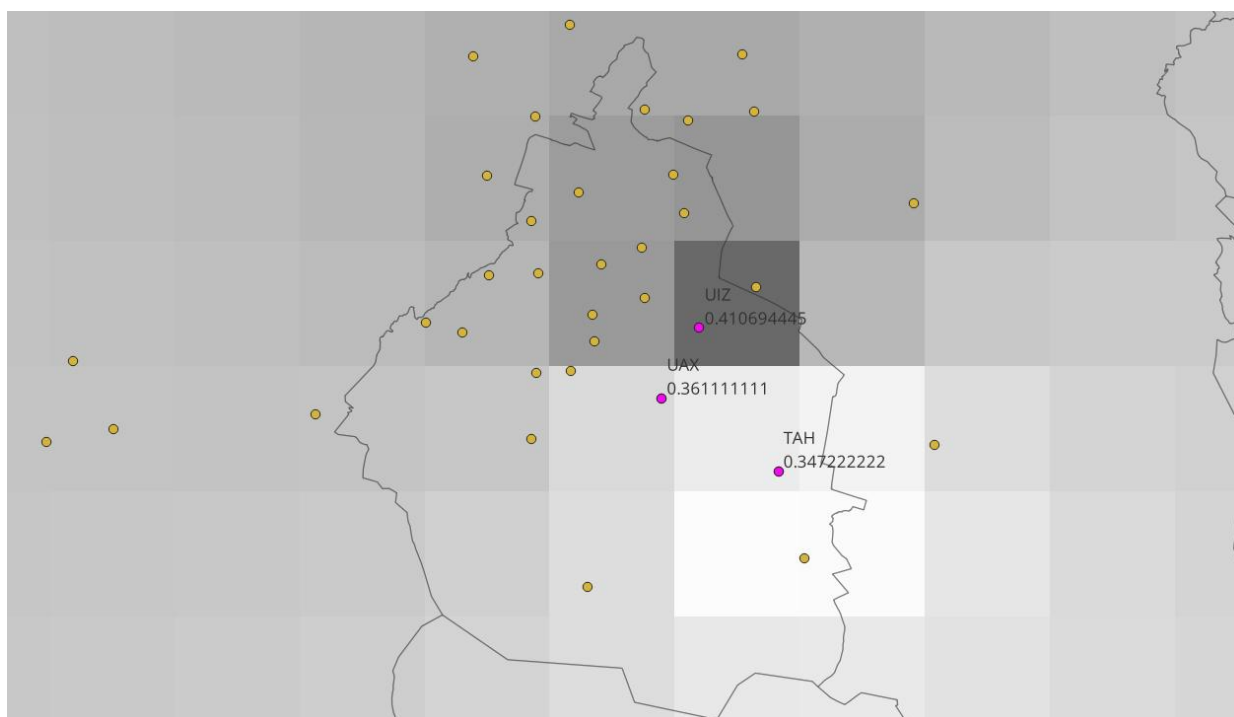


Figura 20. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX noviembre 2020 (QGIS Development Team, 2025).

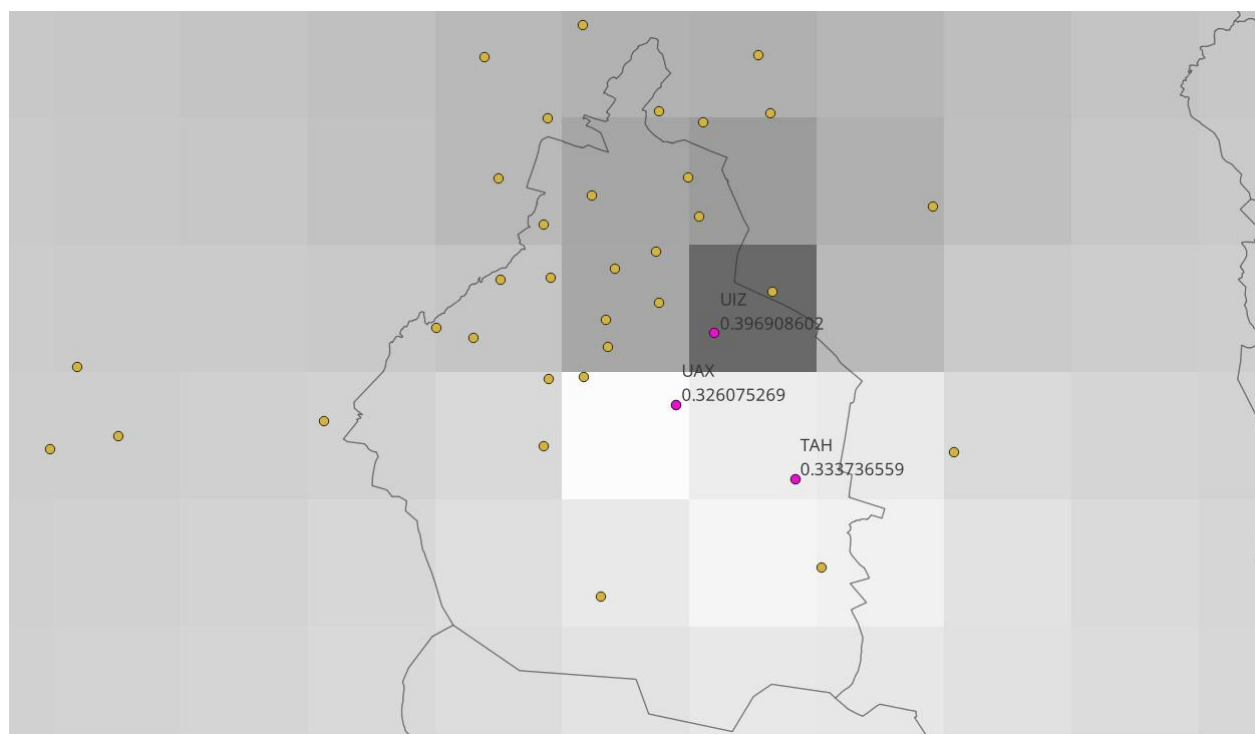


Figura 21. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX diciembre 2020 (QGIS Development Team, 2025).

La información de los meses del período 2021 se presenta de forma resumida en la Figura 22 que incluye indicadores estadísticos como promedio, desviación estándar, valores extremos y rango.

MES	AÑO	PROM_CO_PPM	DES_ESTANDAR_PPM	PROM_MIN_PPM	PROM_MAX_PPM	RANGO_VARIABILIDAD_PPM
ene	2021	0.3441	0.0304	0.307	0.382	0.0745
feb	2021	0.2371	0.1522	0.0579	0.361	0.3039
mar	2021	0.2936	0.1151	0.1228	0.3948	0.272
abr	2021	0.3016	0.0427	0.2677	0.3506	0.0829
may	2021	0.2519	0.0463	0.1846	0.2923	0.1077
jun	2021	0.2714	0.0411	0.2256	0.3055	0.0799
jul	2021	0.2192	0.0869	0.1538	0.3259	0.1721
ago	2021	0.134	0.111	0	0.2717	0.2717
sep	2021	0.2614	0.0417	0.2067	0.3081	0.1014
oct	2021	0.3259	0.0438	0.2727	0.3568	0.0841
nov	2021	0.3401	0.0099	0.326	0.3472	0.0212
dic	2021	0.5257	0.205	0.2477	0.732	0.4955

Figura 22. Elaboración propia con datos registrados durante el año 2021. Resumen estadístico mensual de concentraciones de CO (ppm) durante 2020. Se incluye promedio, desviación estándar, valores mínimo y máximo y rango de variabilidad. Soporte Excel 2025.

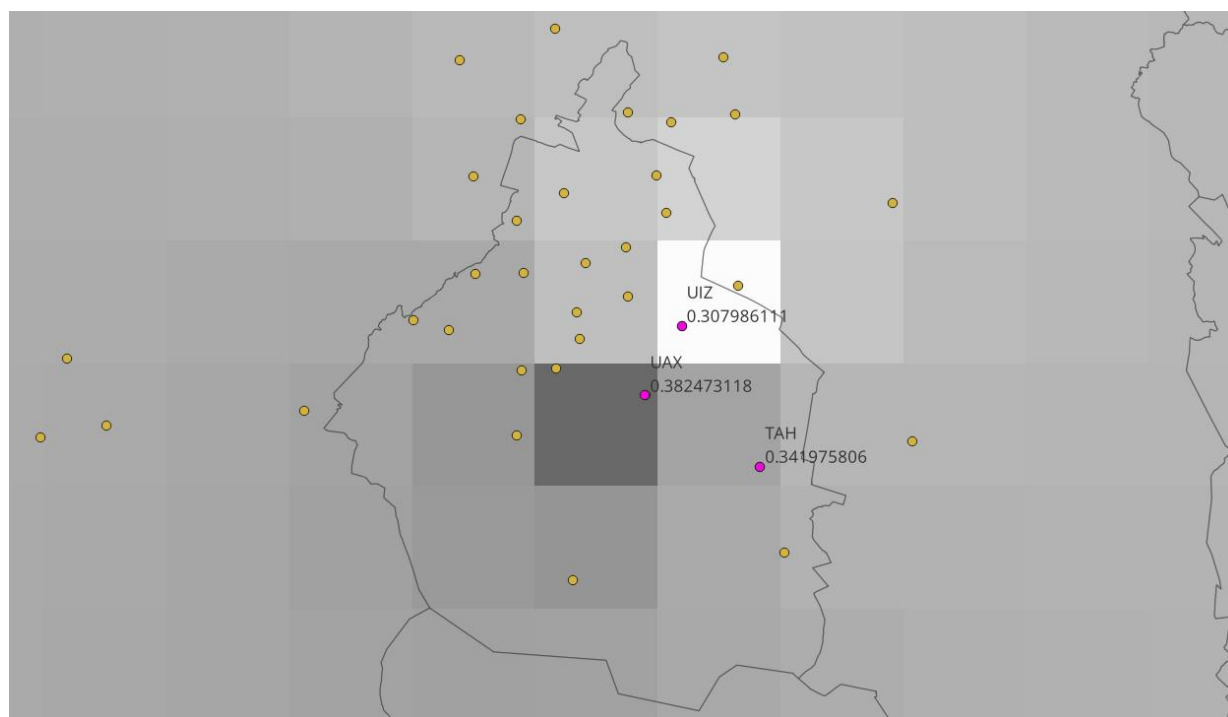


Figura 23. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX enero 2021 (QGIS Development Team, 2025).

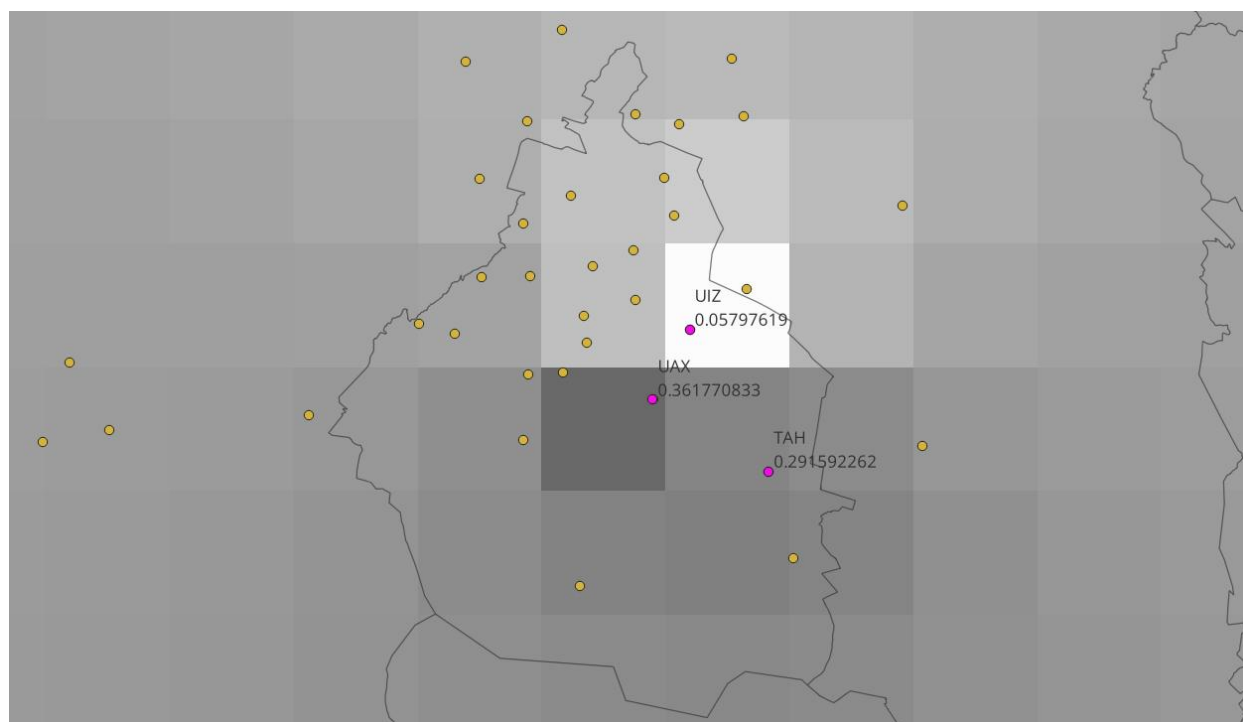


Figura 24. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX febrero 2021 (QGIS Development Team, 2025).

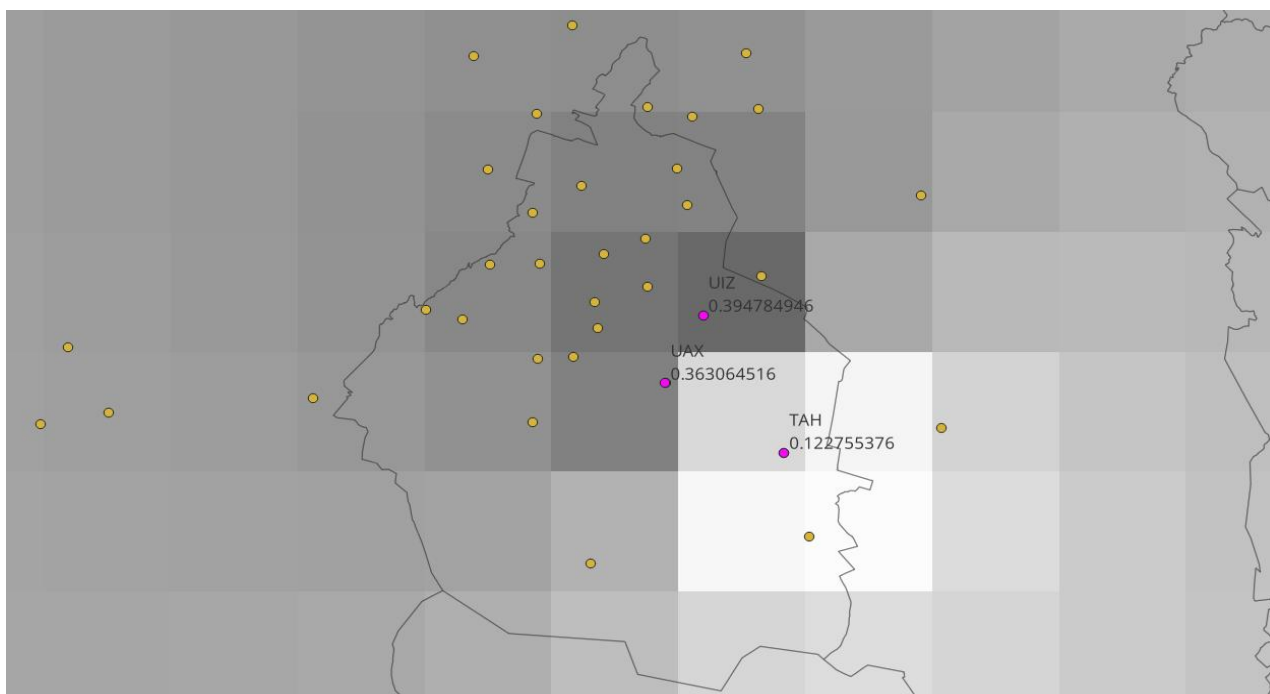


Figura 25. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX marzo 2021 (QGIS Development Team, 2025).

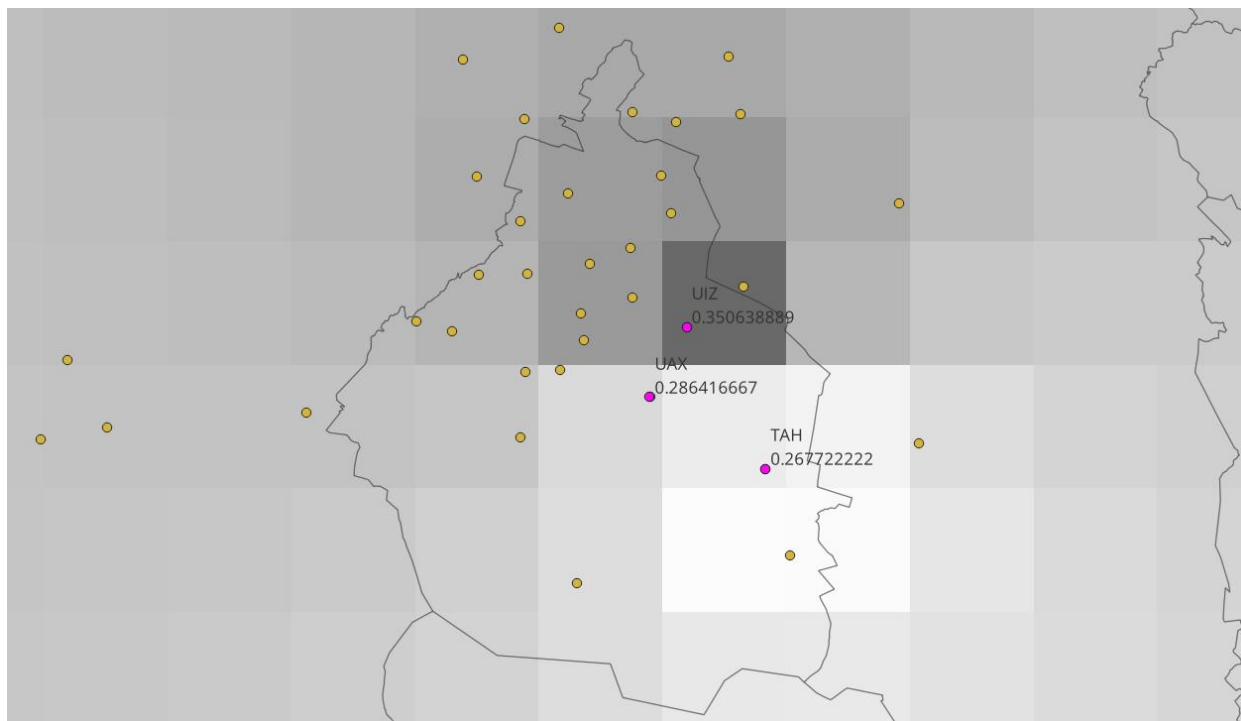


Figura 26. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX abril 2021 (QGIS Development Team, 2025).

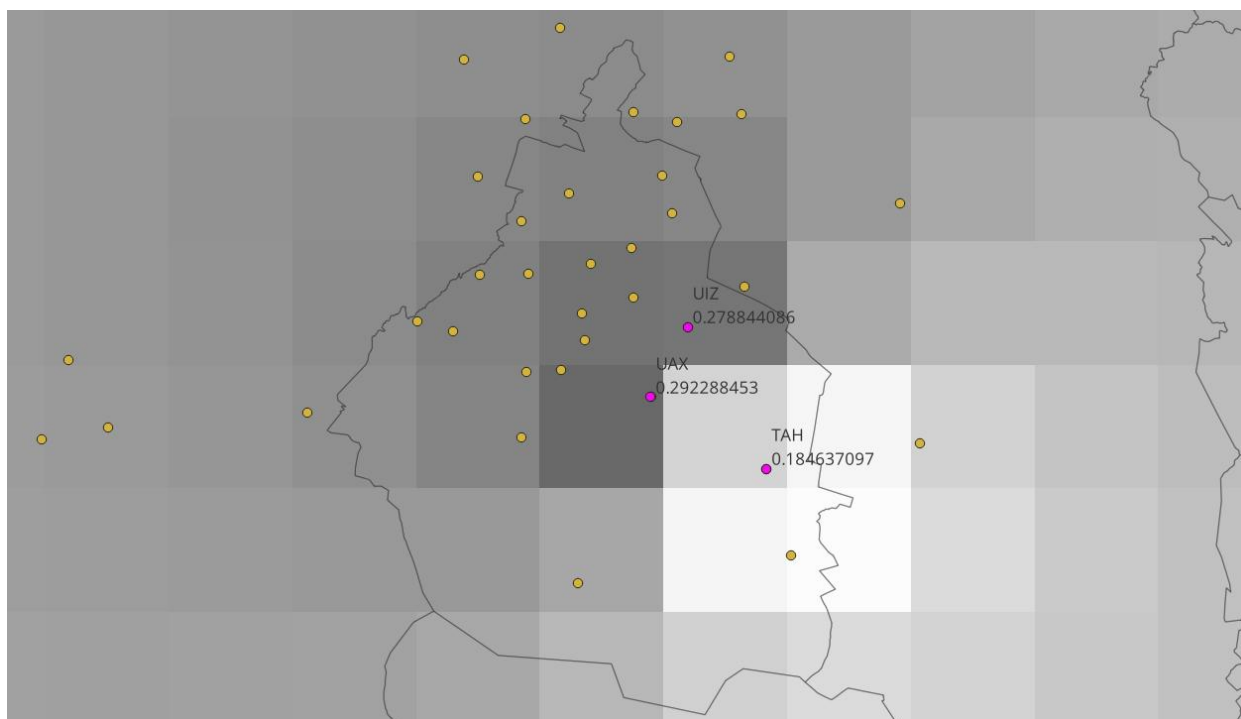


Figura 27. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX mayo 2021 (QGIS Development Team, 2025).

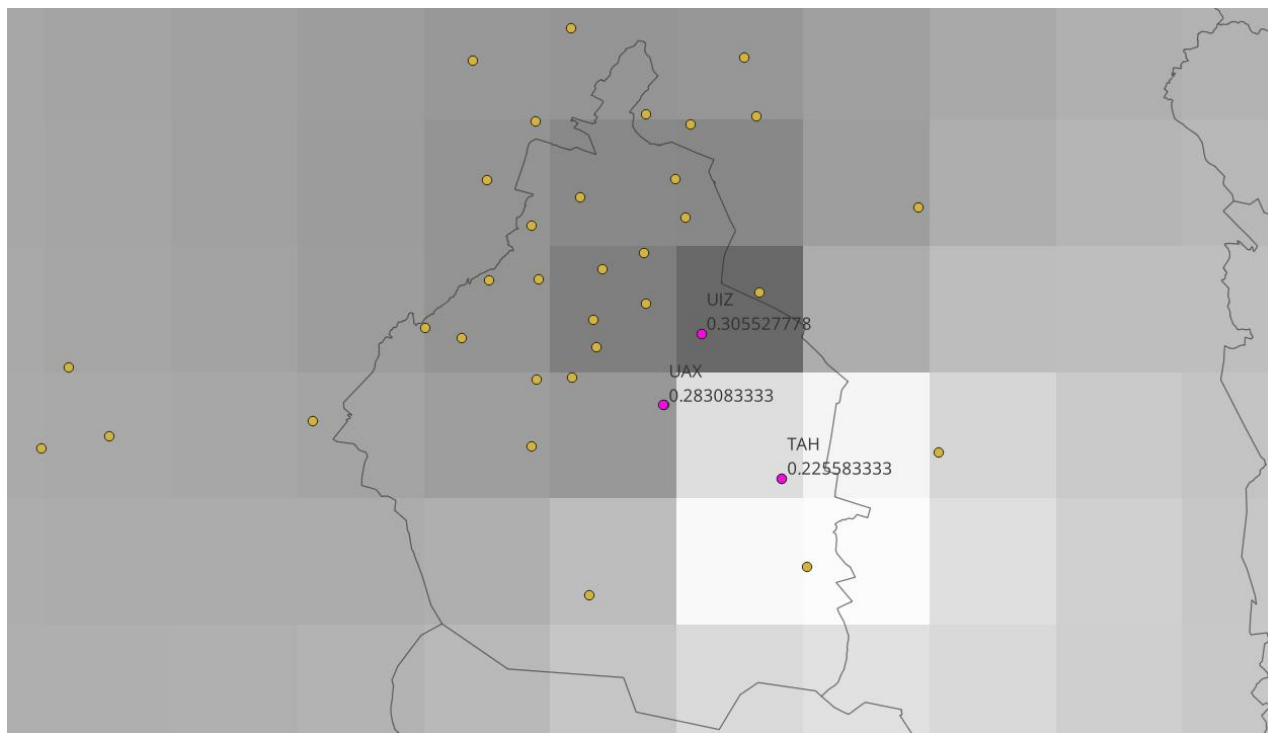


Figura 28. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX junio 2021 (QGIS Development Team, 2025).

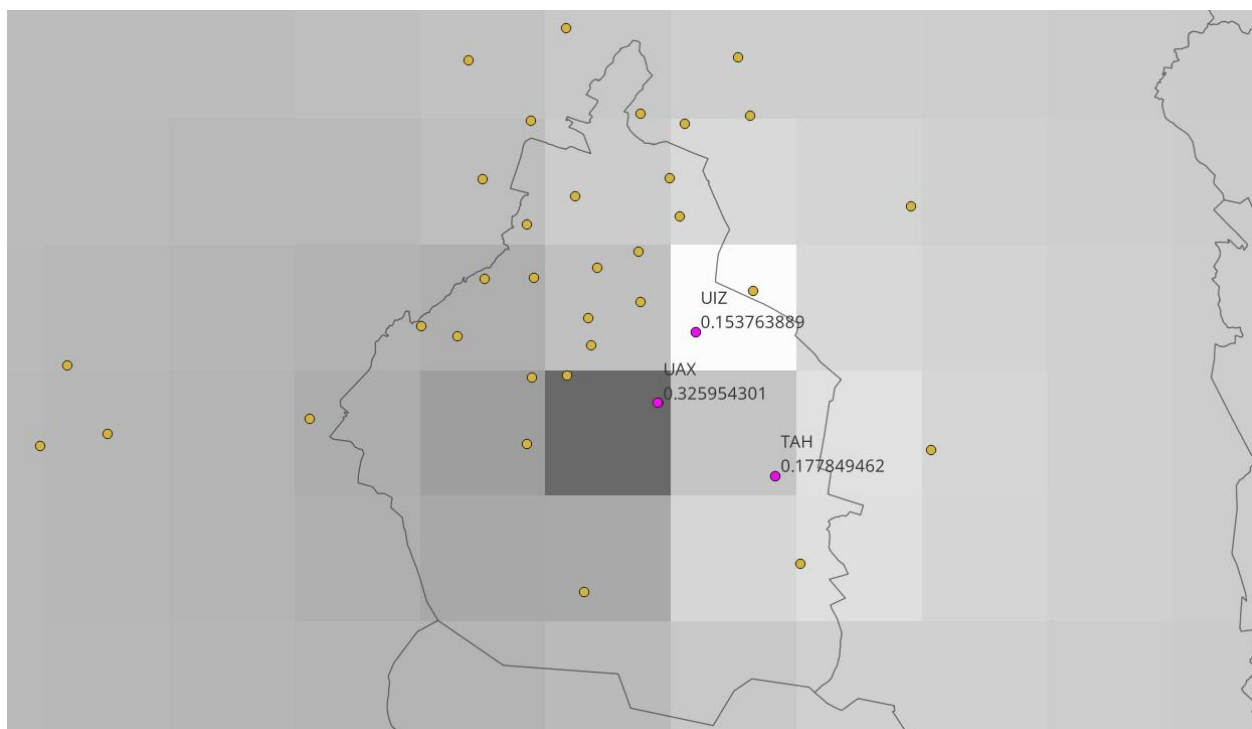


Figura 29. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX julio 2021 (QGIS Development Team, 2025).

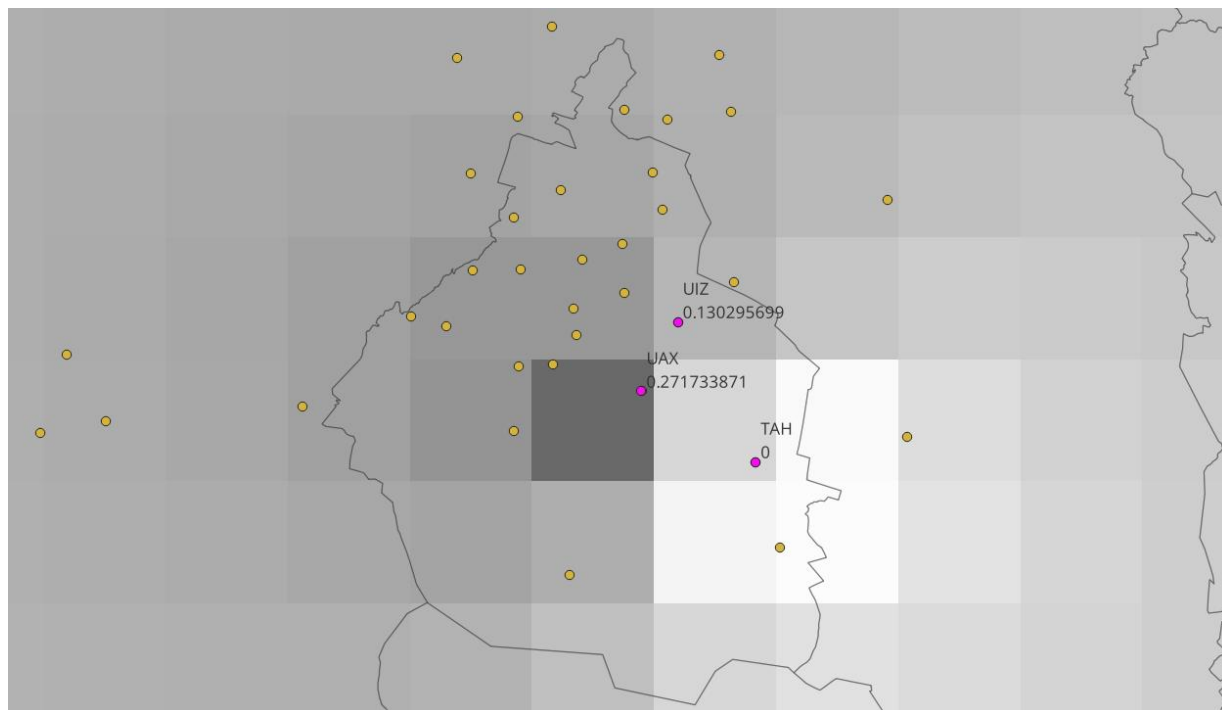


Figura 30. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX agosto 2021 (QGIS Development Team, 2025).

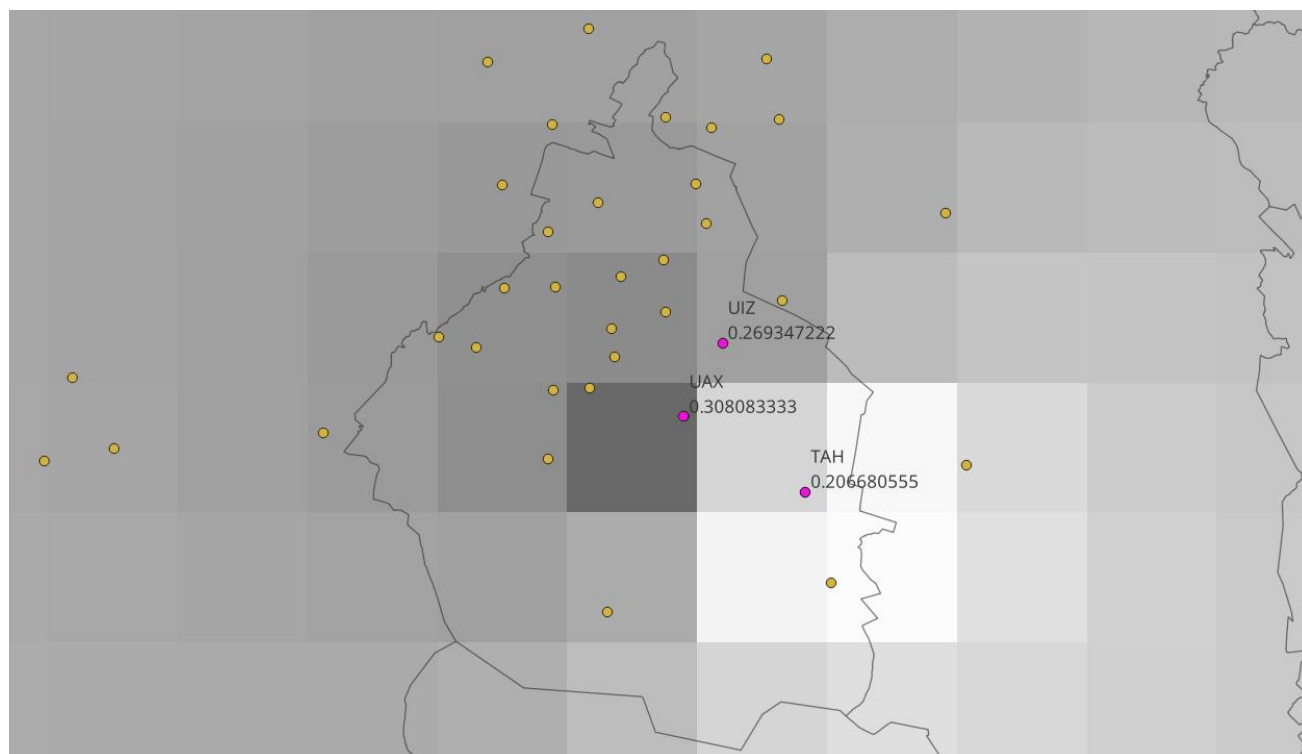


Figura 31. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX septiembre 2021 (QGIS Development Team, 2025).

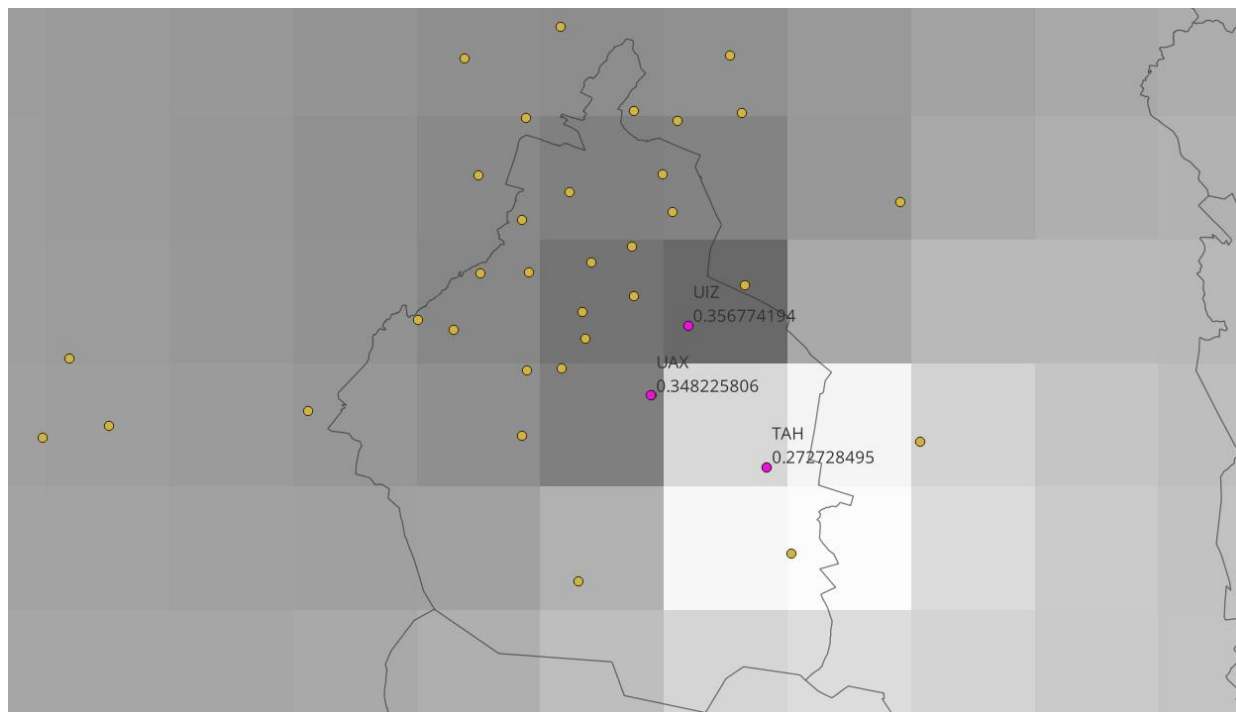


Figura 32. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX octubre 2021 (QGIS Development Team, 2025).

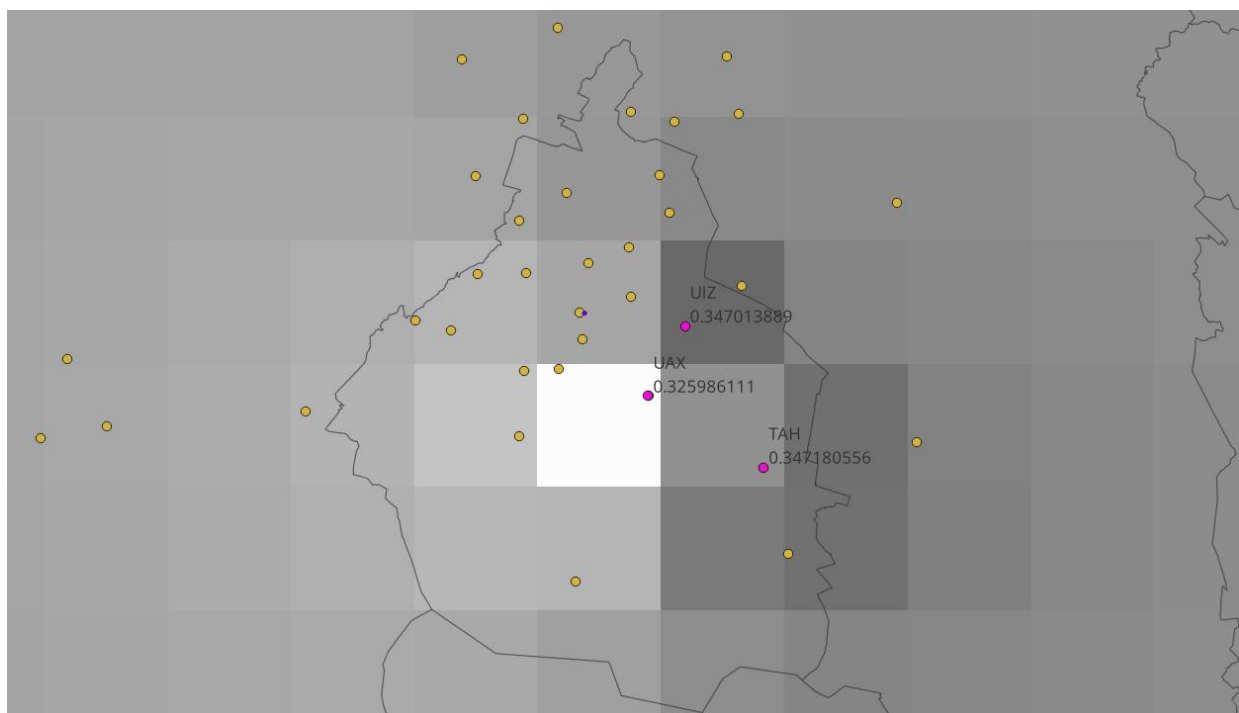


Figura 33. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX noviembre 2021 (QGIS Development Team, 2025).

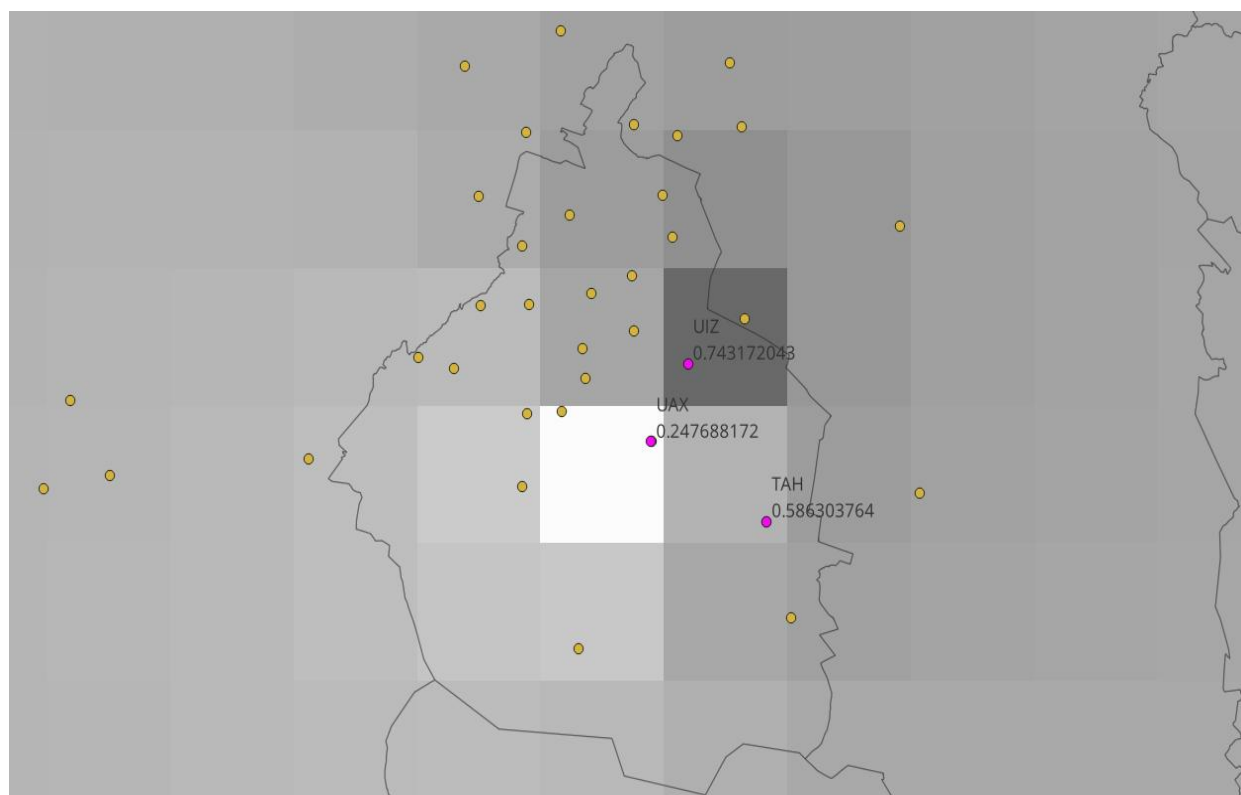


Figura 34. Promedio de CO para las estaciones TAH, UIZ, UAX diciembre 2021 (QGIS Development Team, 2025).

Discusión

Comportamiento anual del CO en 2020 y su comparación con la NOM-021-SSA1-2021.

En resumen, la Normativa de referencia NOM-021-SSA1-2021 que establece los límites permisibles de exposición al CO en la atmósfera; que es de 26 partes por millón (ppm) para exposiciones de 1 hora y de 9 ppm para exposiciones de 8 horas son valores establecidos para proteger la salud humana en la Ciudad de México ante los efectos nocivos del CO, un gas incoloro, inodoro y altamente tóxico que se genera principalmente por combustión incompleta de combustibles fósiles, sobre todo en el tráfico vehicular y procesos industriales; por ende, en este apartado se presentan las tendencias generales de las concentraciones de CO en 2020.

A lo largo del año 2020 las concentraciones de CO se mantuvieron consistentemente muy por debajo de los límites establecidos por la NOM, sin registrarse superaciones ni en el umbral de 1 hora ni en el de 8 horas, esto representa una situación inusual especialmente en áreas urbanas y se debe entender en el contexto del confinamiento global por la pandemia de COVID-19.

Los puntos más relevantes del año:

Mínimos mayo–julio 2020:

Durante los meses de mayo, junio y julio se registraron los valores más bajos del año, esto coincide con el pico del confinamiento estricto cuando:

- El uso de vehículos motorizados se redujo drásticamente.
- Las industrias suspendieron parcial y totalmente sus operaciones.

- Las actividades sociales y comerciales urbanas quedaron limitadas. (Solo quedaron activas actividades económicas de primera necesidad, carnes, tortillas, recauderías, abarrotes, etc.)
- Esta reducción evidenció la influencia directa de las actividades humanas sobre la emisión de contaminantes atmosféricos. En términos de salud ambiental, este período significó una mejora importante en la calidad del aire.

Aumentos graduales septiembre–diciembre 2020:

- A partir de septiembre conforme se reactivaron progresivamente las actividades económicas, sociales y de transporte, las concentraciones de CO empezaron a aumentar levemente, aunque sin superar nunca los límites de la NOM.
- Este comportamiento gradual demuestra cómo incluso un incremento parcial en la movilidad y las actividades industriales es suficiente para provocar un alza en los niveles de este contaminante.
- Diciembre presentó el valor más alto del segundo semestre posiblemente vinculado con el aumento de movilidad durante las festividades navideñas (Ver Figura 35).

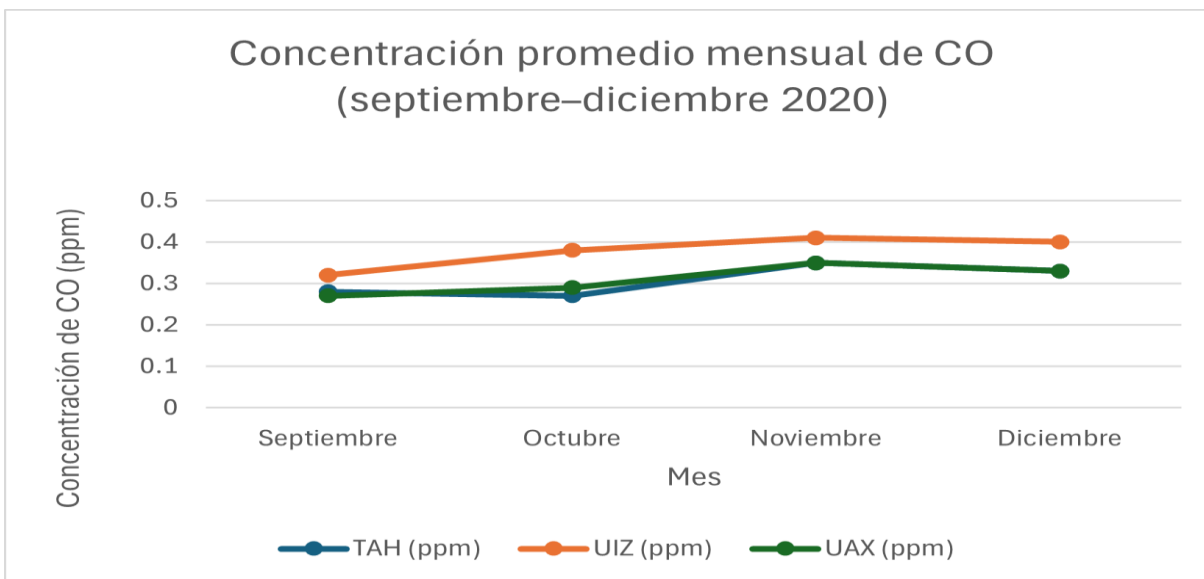


Figura 35. Elaborada en Excel con datos promedio de monóxido de carbono (CO) registrados en tres estaciones de monitoreo de la Ciudad de México entre septiembre y diciembre de 2020. La estación TAH presentó valores de 0.28 ppm (sep), 0.27 ppm (oct), 0.35 ppm (nov) y 0.33 ppm (dic); UIZ registró 0.32 ppm, 0.38 ppm, 0.41 ppm y 0.40 ppm respectivamente; mientras que UAX reportó 0.27 ppm, 0.29 ppm, 0.35 ppm y 0.33 ppm en los mismos meses. Se observa un incremento gradual en las concentraciones mensuales, con un valor máximo en noviembre para la estación UIZ. Debido a que las concentraciones registradas representan menos del 5% de los límites normativos, la inclusión gráfica de la NOM no resultaba informativa, evitando una distorsión visual de los resultados. Por ello, la comparación con la NOM se realizó de forma técnico-analítica para referencia en el texto. Ya que dicha norma establece límites para promedios de 1 hora (26 ppm) y 8 horas (9 ppm). Aun considerando esta diferencia temporal, las concentraciones registradas se mantienen muy por debajo de los umbrales normativos.

Comparación con la NOM-021-SSA1-2021

- En ningún mes del año 2020 se superaron los límites de 26 ppm (1 hora) o 9 ppm (8 horas).
- Incluso en los meses de mayor actividad como diciembre las concentraciones se mantuvieron muy por debajo de los umbrales normativos.
- Esto indica que el año 2020 puede considerarse atípico desde el punto de vista de la contaminación por CO al estar influenciado por factores externos como la pandemia y no por políticas ambientales directas.

Implicaciones y reflexiones

La relación entre actividades humanas y emisiones de CO es directa, evidente y cuantificable.

- El confinamiento actuó como un "experimento natural" que reveló el potencial de mejora en la calidad del aire al reducir las fuentes antropogénicas de contaminación.
- El comportamiento del CO en 2020 sirve como base para repensar estrategias de movilidad sustentable, energías limpias y políticas de urbanismo orientadas a la reducción de emisiones.
- Se reafirma la importancia de los sistemas de monitoreo ambiental ya que permiten vincular políticas públicas, eventos sociales extraordinarios y sus efectos reales sobre el entorno.

Análisis general del comportamiento anual 2021

Durante todo el año 2021, los valores registrados de CO en todas las estaciones de monitoreo analizadas se mantuvieron muy por debajo de los límites establecidos, cumpliendo ampliamente con la regulación ambiental vigente. Sin embargo, se identifican tendencias clave asociadas a la recuperación progresiva de las actividades humanas tras los confinamientos de 2020:

Puntos más relevantes del año

Primer trimestre enero–marzo: impacto rezagado del confinamiento

- Concentraciones más bajas del año.

- El efecto del confinamiento aún era evidente, con niveles reducidos de tráfico y operaciones industriales.
- En enero, los valores fueron especialmente bajos reflejando un ambiente aún restringido, aunque con una ligera tendencia al alza respecto a meses anteriores.
- Diferencias regionales en estaciones como UIZ mostraron valores reducidos, mientras que otras como UAX comenzaron a reflejar mayor movilidad.

Lo anterior significa que se mantiene una buena calidad del aire gracias a la reducción de fuentes móviles y fijas, aunque comienza a vislumbrarse la transición hacia la recuperación.

Segundo trimestre abril-junio: estabilidad con tendencia ascendente

- Se observó una ligera pero consistente alza en los niveles de CO, asociada al incremento en la movilidad y actividades económicas.
- Aunque las concentraciones permanecieron muy por debajo de los valores máximos permitidos, se percibe una recuperación progresiva de emisiones especialmente en zonas urbanas.
- El CO sigue siendo un buen indicador de esta reactivación, reflejando la intensidad del tráfico y la actividad energética industrial.

Vale decir que la calidad del aire seguía beneficiándose del rezago en la movilidad plena, aunque los patrones apuntaban hacia una normalización paulatina de las emisiones.

Tercer trimestre julio–septiembre: valores estables y controlados

- A pesar del avance en la reapertura económica, los valores se mantuvieron sorprendentemente bajos.
- En relación con la evolución temporal de los datos, el mes de agosto presentó una de las concentraciones más bajas del año. Un caso particular se observó en la estación TAH, la cual reportó un valor de 0 ppm durante todo el mes. Este valor atípicamente bajo no indica necesariamente una ausencia total del gas medido, sino que se atribuye a una falla técnica en el sistema de monitoreo de dicha estación, lo que habría impedido el registro adecuado de las concentraciones del gas en ese período. Esta hipótesis se ve respaldada por el hecho de que la base de datos original contiene los registros por cada hora del día pero sin presencia de datos válidos (SR) lo cual sugiere una falla en la captación de información por parte de la estación.
- En septiembre, aunque la movilidad ya se aproximaba a niveles normales, los niveles de CO siguieron por debajo de promedios históricos prepandemia.

De modo que este período muestra una estabilidad notable. Se apunta que algunos cambios estructurales en hábitos sociales, como el *home office*, o menor congestión continuaron beneficiando la calidad del aire.

Cuarto trimestre octubre–diciembre: incremento moderado por reactivación plena

- En este período se observan valores relativamente más altos, especialmente en diciembre coincidiendo con el aumento estacional de movilidad por festividades.

- No obstante, ninguno de los picos registrados comprometió el cumplimiento de la NOM, manteniéndose en niveles seguros y aceptables.

Aunque se confirma un repunte estacional, el control ambiental y la resiliencia del sistema permitieron mantener una buena calidad del aire. Ningún mes presentó valores que representaran un riesgo para la salud humana.

Implicaciones ambientales y sociales

- El CO se confirma como un excelente indicador indirecto de movilidad urbana.
- El hecho de que las concentraciones no rebasaran los límites normativos, ni siquiera en diciembre, sugiere que algunos hábitos postpandemia (home office, desplazamiento individual como el uso de la bicicleta, compras en línea y pagos digitales, educación a distancia, menor uso de vehículos, entre otros, podrían estar arraigándose en la sociedad.
- La calidad del aire en 2021 fue buena, a pesar del retorno a las actividades, lo que abre oportunidades para:
 - Consolidar políticas públicas de transporte sustentable.
 - Mejorar la eficiencia energética.

Promover zonas de bajas emisiones o incentivos para transporte no contaminante.

Conclusión General

El presente trabajo titulado *“Análisis espacial para la evaluación del impacto ambiental atmosférico por contaminación de monóxido de carbono (CO); a través de un Sistema de Información Geográfico para la Ciudad de México, 2020–2021”* permitió responder a la pregunta de investigación al demostrar que los Sistemas de Información Geográfica constituyen una herramienta eficaz para representar y analizar la distribución espacial del monóxido de carbono a partir de datos de monitoreo atmosférico. Mediante la georreferenciación de registros provenientes de estaciones de monitoreo y la aplicación de técnicas de interpolación espacial, fue posible generar mapas continuos que evidencian patrones espaciales y temporales del contaminante en la Ciudad de México. Estos resultados permitieron identificar zonas con mayores concentraciones relativas de CO y analizar su comportamiento durante un periodo marcado por cambios significativos en la movilidad urbana, confirmando que los SIG facilitan la visualización, comparación y análisis territorial de la contaminación atmosférica, y constituyen un insumo relevante para la evaluación ambiental y la toma de decisiones.

En el Capítulo I, se abordó la estructura y composición de la atmósfera resaltando su papel fundamental como sistema dinámico y regulador del equilibrio climático y de la vida. Este marco conceptual permitió comprender que los contaminantes atmosféricos como el monóxido de carbono alteran directamente dicho equilibrio generando impactos tanto en los ecosistemas como en la salud humana. Así, se establecieron las bases teóricas para entender la importancia del monitoreo y control de la calidad del aire en entornos urbanos densamente poblados.

El Capítulo II profundizó en las características físico-químicas del monóxido de carbono, su comportamiento en la atmósfera y sus efectos en la salud. Se destacó su origen principalmente antropogénico asociado a la combustión incompleta de combustibles fósiles lo que subraya la relevancia de este gas como indicador indirecto de la movilidad y la actividad económica. Esta comprensión fue esencial para interpretar los resultados obtenidos durante el análisis espacial, ya que permitió vincular las variaciones de concentración con los cambios en las dinámicas humanas y las fuentes emisoras.

En el Capítulo III se revisaron los antecedentes internacionales y los marcos jurídicos vinculados al derecho a un medio ambiente sano, así como el papel de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) en América Latina. Este capítulo proporcionó el contexto normativo y ético que fundamenta la necesidad de estudios como el presente donde la información espacial y ambiental se integra para fortalecer la gestión pública y el cumplimiento de las normas, en este caso, la NOM-021-SSA1-2021, que regula los límites permisibles de exposición al CO.

El Capítulo IV introdujo los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramientas analíticas y de soporte a la toma de decisiones. Se destacó su capacidad para integrar datos espaciales y ambientales, realizar modelados, análisis de tendencias y generar mapas temáticos que visualizan los fenómenos de forma precisa. En este sentido, los SIG demostraron ser instrumentos clave para transformar datos tabulares en información georreferenciada significativa, facilitando el análisis del comportamiento del CO en el espacio y el tiempo. Este estudio se centró en el análisis detallado de las concentraciones de CO en tres estaciones clave del sistema de

monitoreo atmosférico: UAX, UIZ y TAH, seleccionadas por la cercanía a mi hogar y cobertura regional. El análisis conjunto de estos dos años un período particularmente significativo por el contexto del confinamiento permitió identificar patrones, contrastes y transiciones en la dinámica de las emisiones urbanas.

En este sentido, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) representan una herramienta potente para complementar el análisis de contaminantes atmosféricos como el CO. Los SIG permiten integrar, visualizar y analizar espacialmente grandes volúmenes de datos ambientales, lo cual los convierte en un recurso esencial para el análisis y evaluación de impacto ambiental, el modelado de emisiones y la toma de decisiones territoriales con enfoque sustentable.

El Capítulo V representó la aplicación práctica de todo lo anterior, mediante la implementación del método de interpolación IDW en QGIS. Se procesaron los datos de concentración de CO proporcionados por la SEDEMA para los años 2020 y 2021, incluyendo las coordenadas y claves de las estaciones de monitoreo (UAM Xochimilco, UAM Iztapalapa y Tláhuac). Tras múltiples gestiones para la obtención de los datos y su posterior depuración, se generaron superficies de distribución espacial del CO, lo que permitió visualizar con claridad las variaciones temporales y regionales de este contaminante.

Los resultados evidenciaron que durante 2020 las concentraciones de CO se mantuvieron muy por debajo de los límites establecidos por la NOM-021-SSA1-2021 sin registrarse superaciones en ningún mes del año. Este comportamiento estuvo fuertemente influido por el confinamiento sanitario que redujo drásticamente la

movilidad vehicular y la actividad industrial. El año 2021, en cambio, mostró una tendencia ascendente gradual asociada a la reactivación económica y social aunque las concentraciones permanecieron dentro de los márgenes normativos.

En términos ambientales, este estudio confirmó que el CO actúa como un indicador indirecto de la movilidad urbana reflejando los cambios sociales y económicos del periodo pandémico. Desde el punto de vista técnico, los SIG demostraron ser herramientas altamente eficaces para el análisis de contaminantes atmosféricos, al permitir la georreferenciación, visualización y modelado espacial de las concentraciones, contribuyendo así a la evaluación de impacto ambiental desde un enfoque geoespacial.

De manera general, el trabajo cumple con su objetivo general al demostrar que los Sistemas de Información Geográfica son una alternativa metodológica robusta para analizar la contaminación atmosférica facilitando la comprensión espacial y temporal de los fenómenos ambientales urbanos. Además, los resultados obtenidos abren la posibilidad de ampliar el estudio a otros contaminantes y periodos, fortaleciendo el monitoreo ambiental y la planificación territorial sustentable en la Ciudad de México.

En conclusión, esta investigación no solo aporta evidencia empírica sobre los efectos del confinamiento y la reactivación en la calidad del aire, sino que también consolida el papel de los SIG como herramientas científicas esenciales para la gestión ambiental moderna. Los hallazgos obtenidos reafirman la interdependencia entre las actividades humanas, las políticas públicas y la salud del entorno, sentando las bases para futuros

estudios e iniciativas orientadas a la mejora continua de la calidad del aire y el desarrollo urbano sostenible.

Bibliografía

- Ackerman, J. M. (2015). Prologo. En V. T. Manzur, *Ecocidio en México: La batalla final es por la vida*. Grijalbo.
- Almeida, E. T. (05 de 07 de 2024). ¿QUÉ SON LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO. (J. A. Ramírez, Entrevistador)
- Ambaum, H. S. (2001). Arctic Oscillation or North Atlantic Oscillation? *Journal of Climate*, 14(16), 3495-3507. doi:[https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014)
- Ana María Contreras Vigil, G. G. (2013). *Calidad del aire: una práctica de vida*. Ciudad de México, México: SEMARNAT.
- Anantha R. Aiyer, J. M. (2008). MJO and tropical cyclogenesis in the Gulf of Mexico and eastern Pacific: Case study and idealized numerical modeling. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 65(5), 1571-1583. doi:<https://doi.org/10.1175/2007JAS2301.1>
- Basholli, A. C. (2025). QGIS plugins for web maps creation monitoring with GIS Cloud. *South Eastern European Journal of Public Health*, 3537–3545. doi:<https://doi.org/10.70135/seejph.vi.5767>
- Brañes, R. (s.f.).
- Brañes, R. (2018). *Manual de derecho ambiental mexicano*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Brañes, R. (2018). *Manual de derecho ambiental mexicano* . Ciudad de México : Fondo de Cultura Económica .
- Bravo, J. (2000). Breve introducción a la cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica. Oviedo, Asturias, España.
- Bravo, J. D. (2000). *Breve Introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG)*. España: CIEMAT.
- Bravo, J. D. (Octubre de 2000). Breve Introducción a la Cartografía y a losSistemas de Información Geográfica (SIG). (CIEMAT, Ed.) Madrid, España. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/237467702_Breve_Introduccion_a_la_Cartografi_a_y_a_los_Sistemas_de_Informacion_Geografica_SIG

- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (24 de 01 de 2024, 24 de Enero). *Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente*. Diario Oficial de la Federación. Obtenido de www.diputados.gob.mx
- Camara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (01 de 04 de 24). *Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente*. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>
- Celna Y. Hernández Bello, A. F. (2022). Asfixiantes bioquímicos: Monóxido de Carbono y Cianuro. *Revista de la Facultad de Medicina Humana*. doi:<http://dx.doi.org/10.25176/rfmh.v22i3.4928>
- Chang, K.-t. (2018). Introduction to Geographic Information Systems. (M. Hill, Ed.) Idaho, United States. Obtenido de <https://archive.org/details/kang-tsung-chang-introduction-to-geographic-information-systems-2019-mc-graw-hill-libgen.lc/mode/2up>
- Change, I. P. (2013). Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Inglaterra. doi:<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- Clarke, F. S. (2006). Consideraciones sobre la capa de ozono y su relación con el cáncer de piel. *Revista Médica de Chile*. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872006000900015>
- CLIMATE.GOV. (18 de 01 de 2016). NOAA CLIMATE.GOV. Obtenido de <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/el-ni%C3%B1o-and-la-ni%C3%B1a-frequently-asked-questions>
- Climático, P. d. (2007). *Cambio Climático 2007*. GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO.
- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos {Const.}. (2023, 6 de junio). *Artículo 4 {Título} 2*. Diaro Oficial de la Federación. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf>
- De Filippis, G. P.-C. (2020). *Spatial data management and numerical modelling: Demonstrating the application of the QGIS-Integrated FREEWAT platform at 13 case studies for tackling groundwater resource management*. Pisa, Italy. doi:<https://doi.org/10.3390/w12010041>

- E. J. Tarbuck, F. K. (2016). *Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física*. Pearson Educación .
- Environmental Impact Assessments*. (12 de 09 de 2016). doi:https://doi.org/10.1007/978-94-007-6172-8_183-1
- Garrido, M. A. (2003). *Información Geográfica y Medio Ambiente*. Cádiz: II.
- General Assembly. (1992). Declaration on Environment and Development: Rio Declaration, A/CONF.151/26 (Vol. I). *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Río de Janeiro: United Nations.
- Gobierno de México. (s.f.). Obtenido de LA CAPA DE OZONO:
<https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/31175/introduccionCapadeOzono.pdf>
- Gobierno, S. d. (29 de 10 de 2021). Obtenido de Diario Oficial de la Federación:
https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5634084&fecha=29/10/2021#gsc.tab=0
- Gómez, R. I. (31 de 01 de 2024). Calidad del Aire en la Megalópolis. Ciudad de México, México.
- González, J. G. (Septiembre de 2007). Sistemas de información geográfica aplicados a estudios de corrosión atmosférica. Pereira, Colombia.
- Gudynas, E. (2004). *Ecología, Economía y Ética del Desarrollo Sostenible* (Vol. 5a. edición). (Coscoroba, Ed.) Montevideo, Montevideo, Uruguay: Centro Latino Americano de Ecología Social.
- H. Lee, J. P. (2022). *Developing and applying a QGIS based model that accounts for nonpoint source pollution due to domestic animals*. Korea. doi:<https://doi.org/10.3390/w14172742>
- Hernández, M. A., Montserrat, & Mariana. (2023). Manual de derecho ambiental mexicano. (2da.). Ciudad de México: LIBRUNAM.
- IBM. (07 de 12 de 2021). *Importing CSV Files*. Obtenido de <https://www.ibm.com/docs/en/spss-statistics/beta?topic=files-importing-csv>
- Infobae. (30 de 03 de 2022). *Cómo fue el día que el Valle de México registró la primera contingencia ambiental*. Obtenido de https://www.infobae.com/america/mexico/2022/03/30/como-fue-el-dia-que-el-valle-de-mexico-registro-la-primera-contingencia-ambiental/?utm_source=chatgpt.com

- Institute, W. R. (07 de 09 de 2023). Ahogan contaminantes 7 de cada 10 días del año a la CDMX. WRI México. México: WRI. Obtenido de <https://es.wri.org/noticias/ahogan-contaminantes-7-de-cada-10-dias-del-ano-la-cdmx>
- Isaac M. Held, S. W. (1989). Transient eddies and the variability of the atmospheric general circulation. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 46(14), 2123-2132.
doi:[https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1989\)046](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1989)046)
- Jennifer A. Logan, M. J. (1981). Tropospheric chemistry: A global perspective. *Journal of Geophysical Research*.
- Juan Guillermo Castaño González, F. E. (2007). Sistemas de información geográfica aplicados a estudios de corrosión atmosférica. Colombia.
- Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. (2023,8 de mayo). *Artículo 1*. Diario Oficial de la Federación. Obtenido de <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf>
- LONGLEY, P. A. (1999). GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS. United States of America. Obtenido de https://www.geos.ed.ac.uk/~gisteac/gis_book_abridged/files/00_fm.pdf
- Marisol Anglés Hernández, M. R. (2023). *Manual de Derecho Ambiental Mexicano* (2da ed.). LIBRUNAM.
- Martí Boada, V. M. (2003). *El planeta, nuestro cuerpo. La ecología, el ambientalismo y la crisis de la modernidad*. México: Fondo de Cultura Económica .
- Martí Boada, V. M. (2003). *El planeta, nuestro cuerpo. La ecología, el ambientalismo y la crisis de la modernidad*. Fondo de Cultura Económica.
- Martínez, I. O. (2009). *Espectroscopia FTIR de absorción solar y lunar para la determinación en columna de CO en la capa de la mezcla de la Ciudad de México. (Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México)*. Recurso Electrónico. Obtenido de http://www.epr.atmosfera.unam.mx/thesis/MSc_Ivan_Ortega.pdf
- McDonell, P. A. (1998). Principles of Geographical Information Systems. (O. University, Ed.) New York, United States. Obtenido de <https://archive.org/details/principlesofgeog0000burr/page/n5/mode/2up>

- Medaglia, J. C. (Enero de 2001). EL IMPACTO DE LAS CONFERENCIAS DE RIO Y ESTOCOLMO SOBRE LAS POLÍTICAS Y LEGISLACIÓN AMBIENTAL EN ALC. Costa Rica.
- Megalópolis, C. A. (01 de 02 de 2024). *Comisión Ambiental de la Megalópolis*. Obtenido de Calidad del Aire en la Megalópolis:
<http://www.aire.cdmx.gob.mx/aire/default.php?opc=%27ZKBhnmI=%27>
- Michel Meyer, W. L. (2010). The course of Mexican history. *9th edition*. Oxford, Inglaterra: Oxford University Press.
- NASA. (03 de 2024). *Ciencia NASA*. Obtenido de ¿Qué es el efecto invernadero?:
<https://ciencia.nasa.gov/cambio-climatico/preguntas-frecuentes/que-es-el-efecto-invernadero/>
- Padma, S. V. (2022). *Simulation of land use/land cover dynamics using Google Earth data and QGIS: A case study on Outer Ring Road, Southern India*. India.
[doi:https://doi.org/10.3390/su142416373](https://doi.org/10.3390/su142416373)
- QGIS Development Team. (2025). *QGIS Geographic Information System*. Obtenido de QGIS Geographic Information System (Versión 3.34): <https://qgis.org>
- QGIS Geographic Information System. (s.f.). *QGIS.org*. Obtenido de <https://qgis.org>
- Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental. (2014, 31 de octubre). *Artículo I (Capítulo I)*. Diario Oficial de la Federación. Obtenido de
<https://www.gob.mx/profepa/documentos/reglamento-de-la-ley-general-del-equilibrio-ecologico-y-la-proteccion-al-ambiente-en-materia-de-evaluacion-del-impacto-ambiental#:~:text=REGLAMENTO>
- Reynoso, J. A. (20 de 05 de 2019). Calidad del Aire y Contaminación Ambiental en la Ciudad de México. (M. Ímaz, Entrevistador)
- Ruíz, C. A. (2021). CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: EFECTOS EN EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LA SALUD EN LA CIUDAD DE MÉXICO. *Filosofía y Letras*.
- S. Solomon, R. G. (1985). Photochemistry and Transport of Carbon Monoxide in the Middle Atmosphere. *JOURNAL OF THE ATMOSPHERIC SCIENCES*.

Scott Stevenson, B. F.-K. (2012). Will there be a significant change to El Niño in the 21st century? *Geophysical Research Letters*, (L17703). doi:<https://doi.org/10.1029/2012GL052759>

Secretaría de Gobernación . (25 de 09 de 2020). NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SSA1-2021, SALUD AMBIENTAL. CRITERIO PARA EVALUAR LA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE, CON RESPECTO AL MONÓXIDO DE CARBONO (CO). VALORES NORMADOS PARA LA CONCENTRACIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO) EN EL AIRE AMBIENTE. Ciudad de México, México.

Secretaria de Medio Ambiente, (SEDEMA). (2021). INFORME ANUAL 2021 CALIDAD DEL AIRE. Ciudad de México, México. Obtenido de Informe Anual .

Secretaría del Medio Ambiente. (2020-2021). TERCER INFORME DE GOBIERNO. *TERCER INFORME DE GOBIERNO*. Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México .

Secretaría del Medio Ambiente. (19 de Marzo de 2024). *Calidad del Aire*. Obtenido de El Monitoero de la Calidad del Aire: <http://186.96.0.232/aire/default.php?opc=%27ZaBhnml=%27>

SEMARNAT. (2012). *SIGEIA Sistema de Información Geográfica para el Analisis del Impacto Ambiental*. Obtenido de <https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/descargas/SIGEIA%20Versi%C3%B3n%20CMIC.pdf>

SEMARNAT. (30 de 11 de 2018). *Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Acciones y Programas*. Obtenido de Sistema de Información Geográfica para la Evaluación del Impacto Ambiental (SIGIEA): <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/sistema-de-informacion-geografica-para-la-evaluacion-del-impacto-ambiental-sigeia>

SEMARNAT. (17 de 02 de 2022). *Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono (Protocolo de Montreal)*. Obtenido de Protección a la capa de ozono y combate al cambio climático: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/protocolo-de-montreal-relativo-a-las-sustancias-que-agotan-la-capade-ozono-protocolo-de-montreal?idiom=es>

SEMARNAT. (23 de 10 de 2023). *Realiza tu Servicio Social o Prácticas Profesionales* . Obtenido de Programa Institucional de Servicio Social y Prácticas Profesionales 2023: <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/servicio-social-en-la-semarnat>

- Shepard, D. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. *Proceedings of the 23rd ACM National Conference*, 517-524.
doi:<https://doi.org/10.1145/800186.810616>
- Society, I. R. (2018). Climate variability. New York, United States of America: Columbia University.
Obtenido de <https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/climate-variability/>
- Suzana J. Camargo, K. A. (2015). Impact of El Niño on tropical cyclone activity over the eastern North Pacific. *Journal of Climate*, 28(2), 666-682. doi:<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00122.1>
- Tomlinson, R. (s.f.). Thinking About Geographic System Planning for Managers. California , United States of America. Obtenido de <https://www.e-education.psu.edu/geog583/sites/www.e-education.psu.edu/geog583/files/Thinking%20About%20GIS-Tomlinson.pdf>
- Víctor Manuel Torres Puente. (2019). Tiempo, clima y los fenómenos atmosféricos: desde torbellinos hasta cambio climático. *Revista Digital Universitaria (RDU)*, 20, núm. 1. doi:DOI: <http://doi.org/10.22201/codeic.16076079e.2019.v20n1.a3>
- WIKIPEDIA. (06 de 04 de 2024). *Gas de efecto invernadero*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Gas_de_efecto_invernadero
- World Commission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future*. Oxford: Oxford University.
- World Resources Institute . (07 de 09 de 2023). *World Resources Institute* . Obtenido de Ahogan contaminantes 7 de cada 10 días del año a la CDMX: <https://es.wri.org/noticias/ahogan-contaminantes-7-de-cada-10-dias-del-ano-la-cdmx>
- Zavala, J. (31 de 01 de 2024). Situación Climática 2024. Ciudad de México, México.
- Zenteno Jimenez Jose Roberto, A. B. (s.f.). International Journal of Latest Research in Engineering and Technology. *Analysis of Nitrogen Dioxide Concentrations by Probability. Distribution Function and Ozone precursor an analysis by Bayesian Inference for Mexico City Trend: 2010-2020*. Geophysical Engineering, National Polytechnic Institute, ESIA-Unit Ticóman Mayor Gustavo A. , Mexico City.