

2. Alcance y proceso

Este apartado describe cuatro importantes características del INEM: cobertura geográfica, año base, contaminantes y tipos de fuente. Además detalla el procedimiento utilizado para la conformación del inventario. Por último, examina los diversos ajustes realizados a las emisiones en los seis estados del norte de México.

2.1 Características del inventario

2.1.1 Cobertura geográfica y resolución espacial

La cobertura geográfica del INEM abarca toda la República Mexicana, constituida (como se muestra en la figura 2-1) por 32 entidades federativas, incluido el Distrito Federal (DF). Cada estado se conforma de municipios y cada municipio comprende cierto número de poblaciones. El INEM reporta también las emisiones a escala estatal y municipal.

2.1.2 Año base y resolución temporal

El año base del Primer Inventario Nacional de Emisiones de México es 1999 porque, en general, se consideró que la mayoría de las dependencias gubernamentales contarían con información completa respecto a ese año, a fin de integrar el inventario de emisiones.

Por otro lado, 1999 también coincide con el ciclo de informes trienales de la EPA. Las futuras actualizaciones al INEM podrían incluir la integración de emisiones estacionales o diarias, así como la especiación química de los contaminantes en la medida en que se requiera para alimentar modelos fotoquímicos y otros modelos de simulación atmosférica.

2.1.3 Contaminantes

El INEM incluye las emisiones estimadas para seis contaminantes: óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), compuestos orgánicos volátiles (COV),

FIGURA 2-1. LA REPÚBLICA MEXICANA.



monóxido de carbono (CO), partículas suspendidas (PM_{10} / $PM_{2.5}$) y amoníaco (NH_3).

Los NO_x son un grupo genérico de contaminantes que incluye dos especies primarias: el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2). En general, los NO_x son emitidos a la atmósfera a partir de procesos de combustión; son precursores de ozono y también importantes precursores de PM secundarias. Durante el proceso de combustión se emiten tanto NO como NO_2 , aunque el producto principal de la combustión es el NO. Sin embargo, inmediatamente después de emitidas todas las especies de NO_x suelen encontrarse en estado de flujo rápido. La convención general de registro, adaptada en el INEM, es que los NO_x totales se registran con base en el peso molecular del NO_2 .

Los SO_x son un grupo genérico de contaminantes que incluye muy diversas especies de óxidos, pero la especie primaria es el dióxido de azufre (SO_2). Estos compuestos son emitidos a la atmósfera por las fuentes de consumo de combustibles que contienen azufre (carbón, combustóleo, gasolina y diesel), así como por diversos procesos metalúrgicos y químicos que invo-

lucran el manejo de materiales sulfurados (por ejemplo, altos hornos, refinерías y plantas de producción de ácido sulfúrico). Los SO_x son importantes precursores de PM secundarias. En algunos casos, el SO_2 emitido se oxida y se convierte en trióxido de azufre (SO_3) y luego en ácido sulfúrico (H_2SO_4) o sulfatos (SO_4^{2-}) en forma de aerosoles. Sin embargo, la convención general de registro adaptada en el INEM es que los SO_x totales se registran con base en el peso molecular del SO_2 .

Los COV son hidrocarburos (HC) emitidos a la atmósfera generalmente por fuentes de combustión o de evaporación. Los COV son importantes precursores de la formación de ozono, así como precursores de partículas secundarias. Las especies de COV forman un subconjunto dentro de un grupo más amplio de hidrocarburos denominados gases orgánicos totales (GOT), que incluyen a todos los compuestos carbonados, excepto carbonatos, carburos metálicos, monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2) y ácido carbónico. La característica que diferencia a los GOT de los COV es que estos últimos no inclu-

yen los compuestos GOT con reactividad fotoquímica limitada o ausente. Algunos esfuerzos previos en materia de inventarios de emisiones en México han sido ambiguos en la nomenclatura utilizada para aludir a los hidrocarburos (es decir, las emisiones se han presentado como GOT, COV o HC). Si bien el INEM presenta las emisiones de hidrocarburos como COV, sigue existiendo cierta ambigüedad en esta definición dependiendo del origen de los datos en que se basen las emisiones. Por ejemplo, en el inventario de fuentes fijas algunos datos se reportaron como HC en tanto que otros se registraron como COV. En estos casos, se asumió que todas las emisiones correspondían a COV. Esta situación ha sido objeto de debate en la medida en que se aplica a la calidad de las estimaciones de emisiones de COV por tipo de fuente.

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro e inodoro que se origina en la combustión incompleta de los combustibles fósiles. En los inventarios de zonas urbanas, el CO suele alcanzar un orden de magnitud mayor que cualquier otro contaminante. Este compuesto no es precursor de PM, pero puede tener efectos en la salud de la población y puede contribuir a la formación de ozono (aunque este efecto es reducido).

Existen muchas formas distintas para clasificar las partículas suspendidas (PM). El término partículas primarias se refiere a cualquier material sólido, líquido o gaseoso emitido directamente por una fuente de emisión y que, a temperatura y presión ambientales, se encuentre en estado sólido o líquido suspendido en la atmósfera; en tanto, las partículas secundarias corresponden a los aerosoles formados a partir de materiales gaseosos (por ejemplo, NO_x , SO_x y COV), como resultado de reacciones químicas atmosféricas. El INEM incluye solamente las emisiones de partículas primarias.

Las emisiones de PM también se caracterizan por su tamaño, el INEM se centra en dos de ellos: PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$. El término PM_{10} describe las emisiones de partículas primarias de diámetro aerodinámico menor o igual que $10 \mu\text{m}$, también denominadas partículas “gruesas”. Estas partículas provienen de fuentes como caminos no pavimentados y obras de construcción. El término $\text{PM}_{2.5}$ comprende las emisiones de partículas

primarias con diámetro aerodinámico menor o igual que $2.5 \mu\text{m}$, a las que se conoce también como partículas “finas”. En términos generales, las partículas finas provienen del consumo industrial de combustibles y de las emisiones de los escapes vehiculares. La mayoría de los factores de emisión de PM se expresan en términos de PM_{10} . Por su parte, la importancia de las $\text{PM}_{2.5}$ radica en su impacto sobre la visibilidad y la niebla regional, así como en sus posibles efectos dañinos para la salud.

Algunos esfuerzos previos de inventarios en México han estimado las emisiones de partículas suspendidas totales (PST) toda vez que éstas eran la única medición disponible para partículas en algunas estaciones de monitoreo. En general, las PST se definen como las emisiones de partículas primarias con diámetro aerodinámico menor a $30 \mu\text{m}$. Las partículas de diámetro mayor tienden a depositarse y no suelen permanecer suspendidas durante un lapso de tiempo significativo. Sin embargo, cabe señalar, que las emisiones de PST no han sido estimadas como parte del INEM.

Las emisiones de amoníaco se incluyen en el INEM puesto que el NH_3 suele reaccionar con SO_x y NO_x para formar partículas secundarias, las cuales incluyen especies importantes para la visibilidad, tales como el sulfato de amonio [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$] y el nitrato de amonio (NH_4NO_3). El NH_3 es emitido por un gran número de fuentes diferentes, pero las dos más importantes incluidas en el INEM son la ganadería y la aplicación de fertilizantes.

2.1.4 Tipos y categorías de fuente

El INEM incluye las emisiones generadas por cinco tipos específicos de fuentes de emisión, a saber:

- **Fuentes fijas.** Son los establecimientos industriales estacionarios, regulados por la SEMARNAT o las autoridades ambientales estatales o municipales correspondientes. Se establecieron umbrales de emisión para determinar si las emisiones de un establecimiento dado se considerarían dentro del inventario de fuentes fijas (es decir, emisiones superiores al umbral establecido) o más bien en el in-

ventario de fuentes de área (es decir, emisiones por debajo del umbral). Estos umbrales se describen con detalle en el apartado 3.0.

- **Fuentes de área.** Esta categoría incluye pequeños establecimientos industriales que no se clasifican como fuentes fijas; incluye actividades dispersas, como el lavado en seco y el uso comercial y doméstico de solventes, y también fuentes fugitivas de partículas suspendidas, por ejemplo, las actividades de labranza, los vehículos que circulan en caminos no pavimentados y el polvo transportado por el viento. Asimismo, las fuentes de área incluyen vehículos como locomotoras, aeronaves y embarcaciones marítimas comerciales.
- **Vehículos automotores.** Corresponden a las emisiones del escape de los vehículos automotores que circulan por carreteras y calles pavimentadas, incluidos automóviles particulares, motocicletas, taxis, microbuses, autobuses y camiones de carga pesada que utilizan ya sea diesel o gasolina.
- **Fuentes móviles que no circulan por carreteras.** Corresponden a las emisiones de maquinaria agrícola y de construcción.
- **Fuentes naturales.** Esta categoría incluye las emisiones naturales de COV generadas por la vegetación, de NO_x provenientes de los suelos, y de SO₂ y PM producidas por la actividad volcánica.

Detalles adicionales sobre las categorías específicas de cada uno de estos tipos de fuente se presentan en los apartados correspondientes del informe.

2.2 Integración del inventario y proceso de actualización

2.2.1 El proceso de elaboración del INEM

El Inventario Nacional de Emisiones de México (INEM) se elaboró en tres etapas:

- La etapa I, de planeación, incluyó tanto la creación de un Comité Técnico Asesor (CTA) como la formulación del Plan para la Preparación del Inventario (PPI) (ERG, 2003a).

- La etapa II dio como resultado la realización del INEM para los seis estados de la frontera norte: Baja California, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas. En primer lugar se elaboró un inventario preliminar para estos seis estados (ERG, 2003c). En agosto de 2003, se realizó en la ciudad de Chihuahua un taller con la participación de las autoridades ambientales estatales (AAE) de dichos estados fronterizos, de otros miembros del CTA y de sectores interesados. Todos los comentarios recibidos durante esa reunión, así como antes y después, se recopilaron y examinaron; con base en los mismos se procedió a revisar las emisiones preliminares, corregirlas y complementarlas con nuevos datos. El informe final de emisiones estimadas presenta datos a escala municipal para los seis estados fronterizos del norte de México (INE, 2005; ERG, 2004).
- La etapa III correspondió a la realización del INEM para las 32 entidades federativas mexicanas (incluido el Distrito Federal). Se incorporó una mejora sustancial respecto del inventario de fuentes fijas para los estados del interior, en comparación con los estados fronterizos, misma que consistió en la realización de talleres y la obtención de datos con la participación directa de las AAE. El apartado 3.0 de este informe presenta mayores detalles sobre tal proceso. El Inventario Nacional de Emisiones de México integra el inventario final para los seis estados del norte (con algunos cambios menores que se señalan más adelante), junto con las estimaciones preliminares para las 26 entidades restantes de la federación, incluido el Distrito Federal. Esta versión final del INEM ofrece resúmenes estatales y municipales para cada una de las 32 entidades federativas y 2,443 municipios del país. Este reporte incorporará todos los comentarios que se recibieron para el borrador final.

2.2.2 El proceso de actualización del INEM

El INEM pertenece a México y la SEMARNAT tiene la responsabilidad de mantenerlo y actualizarlo. Varios factores importantes pueden afectar la capacidad de

esta dependencia para actualizar el Inventario, tales como:

- La capacidad de la SEMARNAT para invertir recursos técnicos y financieros suficientes y adecuados para realizar la tarea. En la medida en que este organismo logre delegar o compartir la responsabilidad con las entidades ambientales estatales y municipales, la cantidad de recursos que estas otras dependencias dediquen a dicho esfuerzo será determinante para el futuro del INEM.
- Las capacidades estatales en materia de inventarios de emisiones. Será muy difícil que puedan llevarse a cabo las actualizaciones si las AAE carecen de la capacidad técnica para elaborar inventarios de emisiones. Es preciso que el INE y la SEMARNAT instrumenten iniciativas permanentes para actualizar los manuales del inventario de emisiones de México, así como para elaborar y poner en práctica diversas herramientas de desarrollo de la capacidad, incluido un nuevo curso de capacitación en línea; ello permitirá a las AAE desarrollar su capacidad a escala local.
- Las leyes y reglamentos que exigen a los establecimientos industriales la presentación obligatoria de informes de emisiones y establecen la difusión pública de los datos. El 31 de diciembre de 2001, fue modificado el artículo 109-bis de la LGEEPA para requerir que las fuentes contaminantes reporten la información pertinente a la SEMARNAT (o a los estados, los municipios o el Distrito Federal, dependiendo de la jurisdicción), con el propósito de integrar un inventario de emisiones y transferencias de contaminantes al aire, agua, suelo y subsuelo, materiales y residuos. Este inventario se denomina Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC). El artículo 109-bis modificado también exige que la información se publique y esté disponible para consulta. El mecanismo propuesto para el reporte de estos datos es la Cédula de Operación Anual (COA), descrita en el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Con-

taminantes, publicado en julio de 2004. La instrumentación de esta reglamentación y el grado en que se aplique y cumpla afectarán directamente el nivel y la calidad de los datos disponibles para actualizar el INEM en el futuro.

- Acceso a la información de emisiones. El acceso público a la información de fuentes fijas de emisiones puede ayudar a mejorar la calidad de datos, ya que los usuarios calificados podrán identificar y notificar a los responsables del inventario nacional cualquier discrepancia o errores no identificados durante los esfuerzos internos de control de calidad.
- La estandarización del formato y la calidad de los datos sobre emisiones. El INE y la SEMARNAT están en proceso de integración de la base de datos del inventario nacional de emisiones, la cual estará disponible para consulta por Internet y facilitará las futuras tareas de actualización y mantenimiento del INEM.

2.3 Ajustes a las emisiones de los estados fronterizos

En el proceso de realización del INEM para los 26 estados del interior fue necesario efectuar algunos ajustes al inventario de emisiones de los estados fronterizos por diversos motivos. Es importante hacer notar estos cambios, ya que pueden dar lugar a diferencias entre las emisiones (volúmenes) y algunas descripciones de metodología reportadas en el informe final del inventario fronterizo (INE, 2005; ERG, 2004) y las incluidas en esta versión final. Los cambios se describen a continuación:

- Cambios en las fuentes fijas. Fue necesario reagrupar algunos de los códigos del Sistema de Clasificación Industrial de América el Norte (SCIAN) a efecto de integrar un esquema consistente para todo el país y mantener el número de categorías de fuentes fijas (es decir, grupos de códigos SCIAN) en una dimensión suficientemente manejable como para desplegar los resúmenes de emisiones en cuadros y figuras. Por ejemplo, la categoría de

fuentes fijas “Otras manufacturas”, utilizada en el inventario de emisiones de los estados fronterizos, se incorporó en la versión final del informe como “Otras fuentes fijas” (que incluye todas las fuentes con tres o menos establecimientos en un único código SCIAN).

En cada estado se agregaron terminales petroleras de almacenamiento a granel para lograr una mayor garantía de calidad respecto de las emisiones de estas fuentes. Durante el proceso de aseguramiento y control de calidad de los datos del inventario de los estados del interior y la revisión continua de los datos de PEMEX, se detectaron emisiones de terminales a granel adicionales ubicadas en cada uno de los estados fronterizos, mismas que se añadieron al inventario.

Se agregó al inventario la refinación de azúcar, y se revisaron las emisiones de los hornos de coque en las instalaciones existentes.

- Cambios en fuentes de área. Se removieron las categorías de Bagazo-combustible y Coque-combustible (estas emisiones fueron reubicadas dentro de las fuentes fijas apropiadas).

Se removieron los estimados previos de polvo de caminos pavimentados y no pavimentados debido a la incertidumbre generada por no contar con los datos locales respecto de estas emisiones.

Cambios en los vehículos automotores. Las emisiones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ sufrieron modificaciones debido a ajustes en los correspondientes factores de emisión. Durante la modelación del inventario de los estados fronterizos, inadvertidamente se omitieron datos sobre vehículos nuevos e índice de deterioro para PM_{10} y $PM_{2.5}$ específicos para México; por consiguiente, se hicieron los ajustes pertinentes para solventar esta omisión.

- Cambios en las fuentes móviles que no circulan por carreteras. El modelo NONROAD-México, recientemente concluido, se usó para estimar las emisiones de todos los estados; por tanto, las emisiones de los estados fronterizos se sometieron a los ajustes correspondientes (véase el apartado 6.0 para un análisis de este modelo).

2.4 Manejo de los datos de emisiones

El INEM ha permitido recopilar una considerable cantidad de datos de emisiones y otros relacionados con el inventario, a partir de un gran número de entidades públicas y privadas. Para compilar los datos, estimar las emisiones y desplegar los resultados en forma de cuadros y gráficas se utilizaron hojas de cálculo electrónicas. Además, los datos geocodificados necesarios para el análisis espacial de las emisiones estimadas se compilaron con un sistema de información geográfica (SIG).

Para el manejo de datos de las emisiones de fuentes fijas se utilizaron diversos sistemas numéricos basados en los tipos y categorías de fuentes. En primer lugar se recopilaron las emisiones de acuerdo con los códigos del Catálogo Mexicano de Actividades y Productos (CMAP). Posteriormente se hizo una referencia cruzada para encontrar la correspondencia entre los códigos del CMAP y los del SCIAN para cada categoría de fuente fija. Cabe señalar que no se asignaron códigos numéricos a los tipos y categorías correspondientes a fuentes de área, vehículos automotores, fuentes móviles que no circulan por carreteras y fuentes naturales.

Los archivos finales del INEM serán compatibles con el Formato del Inventario Nacional de Emisiones (*National Emissions Inventory Format*, NIF versión 3.0.) de la EPA, y estarán disponibles a solicitud en el INE o en la SEMARNAT (dgca@semarnat.gob.mx).

En el futuro se utilizará también algún programa de base de datos para recopilar y resumir los datos del INEM. Hay un proyecto en curso que propone diseñar e instrumentar una solución integral en línea (en Internet) para la presentación y el manejo de datos e inventarios sobre emisiones en México. El Sistema Nacional de Emisiones (SINE) brindará a la ciudadanía acceso a los datos del inventario sobre contaminantes criterio, gases de efecto invernadero y sustancias incluidas en el RETC. En la página en Internet de SEMARNAT puede obtenerse información adicional sobre este proyecto (www.semarnat.gob.mx).

2.5 Metas respecto de la calidad de los datos

La meta general del INEM en lo que a calidad se refiere es integrar un inventario de emisiones de alta calidad, preciso e integral, para la República Mexicana. Los detalles del Plan de Aseguramiento de Calidad (PAC) están contenidos en el *Plan para la preparación del INEM* (ERG, 2003a). El PAC contiene diversos objetivos específicos respecto de la calidad de los datos, que incluyen la estimación de emisiones:

- a) para todos los tipos y todas las categorías principales de fuentes;
- b) a escala municipal, y
- c) con la mayor precisión posible, en función de los datos disponibles.

Si bien estos objetivos son de carácter cualitativo, resultan adecuados para la primera iniciativa de inventario de cobertura nacional.

Además, se aplicó una estrategia de calificación de la confiabilidad para evaluar la calidad de las estimaciones individuales de emisiones para la categoría de fuentes de área. Las calificaciones (incluidas en el cuadro 2-1) se adaptaron a partir de un enfoque utilizado por la EPA para la estimación nacional de emisiones de dioxinas y furanos en Estados Unidos (Winters, 2002). El propósito de aplicar esta estrategia a cada categoría de fuente de área es identificar las prioridades para mejorar la estimación de emisiones en el futuro. Si bien existen otros factores importantes que deben considerarse al seleccionar las categorías de fuentes o los datos de emisiones susceptibles de mejora (por ejemplo, la importancia relativa de las emisiones de cada categoría respecto del inventario general), un parámetro adecuado para tomar estas decisiones es el grado de confiabilidad de la estimación generada mediante el proceso del INEM.

CUADRO 2-1. CALIFICACIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE DATOS PARA FUENTES DE ÁREA

CALIFICACIÓN	DATOS DE ACTIVIDAD	FACTORES DE EMISIÓN
A	Basados en información exhaustiva específica para México	Basados en información exhaustiva específica para México
B	Basados en datos limitados o extrapolados específicos para México	Basados en datos limitados específicos para México
C	Basados en el discernimiento de expertos	Basados en el discernimiento de expertos
D	Basados en la extrapolación de datos de EU	Basados en factores de EU
E	Datos insuficientes	No existen factores de emisión

