

Resumen ejecutivo

El Inventario Nacional de Emisiones de México (INEM) es el resultado de muchos años de arduo trabajo y colaboración entre la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) —a través del Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental (SGPA)— y la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (*Environmental Protection Agency*, EPA), la Asociación de Gobernadores del Oeste de Estados Unidos (*Western Governors' Association*, WGA) y la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) de América del Norte. Los representantes de estas entidades han proporcionado apoyo técnico y financiero para la realización de este proyecto y, además, reunieron a autoridades ambientales de todas las entidades federativas y a otros miembros de los sectores académico y privado para lograr su participación en este esfuerzo. Todos ellos participaron a través del Comité Técnico Asesor (CTA), que fungió como guía para la realización del INEM.

El programa del INEM dio inicio en 1995 con la perspectiva de incrementar la capacidad interna de autoridades, instituciones y organizaciones mexicanas para la elaboración de inventarios de emisiones, dando especial atención a la elaboración y aplicación de manuales metodológicos y de entrenamiento. Posteriormente, esta visión se amplió para incluir la elaboración del primer inventario nacional de emisiones del país, desarrollado en tres etapas:

- Etapa I: Plan para la Preparación del INEM
- Etapa II: Inventario de Emisiones de los Estados de la Frontera Norte de México, 1999
- Etapa III: Inventario Nacional de Emisiones de México, 1999.

El presente resumen ejecutivo describe los objetivos, alcance, enfoque y resultados de la culminación de la Etapa III: el Inventario Nacional de Emisiones de México, 1999 (INEM, 1999).

Como parte de este resumen ejecutivo, y con la intención de presentar los resultados resumidos de las estimaciones de emisiones del INEM, se presenta el cuadro RE-1. En dicho cuadro se encuentran los resultados generales del INEM 1999, tanto por categoría de fuente, como por contaminante. La primera parte del cuadro muestra las emisiones totales reportadas en Mg/año y la segunda parte muestra la contribución porcentual de las emisiones de cada tipo de fuente. Las celdas vacías corresponden a aquellos casos en que las emisiones no fueron estimadas para una fuente en particular, debido a que ésta no emite el contaminante en cuestión o su emisión es poco significativa.

Posteriormente, se discuten algunas de las conclusiones derivadas de los resultados presentados en el cuadro RE-1 y se muestran también los resultados de las emisiones desapegadas por entidad federativa y por fuente.

Finalmente, en la sección R.3, se presentan algunas recomendaciones y áreas de mejora que permitirán, en el futuro, la realización de inventarios y actualizaciones más confiables y certeros.

RE.1 Objetivos, alcance y usos

Los objetivos generales del INEM, 1999 son:

- Elaborar el primer Inventario Nacional de Emisiones de México para apoyar los esfuerzos institucionales en las áreas de gestión de la calidad del aire y evaluación de sus efectos en la salud;
- Sentar las bases técnicas necesarias para realizar mejores evaluaciones de calidad del aire e impacto ambiental al interior del país y en la frontera de México con Estados Unidos;
- Fortalecer el desarrollo de la capacidad institucional de la SEMARNAT y de las autoridades ambientales estatales para elaborar, mantener y actualizar inventarios de emisiones;
- Cumplir con el mandato de la legislación ambiental mexicana respecto de la elaboración y actualización de un inventario nacional de emisiones; y
- Contribuir a los esfuerzos para integrar un inventario trinacional de emisiones de contaminantes de criterio en Canadá, Estados Unidos y México.

El alcance del INEM está determinado por su ámbito geográfico, año base, cobertura de contaminantes y tipos de fuentes. En términos de su ámbito geográfico, el INEM comprende a toda la República Mexicana, constituida por 32 entidades federativas incluido el Distrito Federal (DF), y su resolución es municipal. El año base, 1999, se eligió porque en su momento se consideró que las dependencias gubernamentales contaban con información suficiente para calcular las emisiones para dicho año. Los contaminantes incluidos en el INEM son seis: óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), compuestos orgánicos volátiles (COV), monóxido de carbono (CO), partículas suspendidas (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$) y amoníaco (NH_3).

El haber incluido además de los contaminantes criterio (NO_x , SO_x , CO y partículas suspendidas) a los COV y NH_3 se explica dado que estos últimos se encuentran entre los precursores de algunos contaminantes secundarios que se consideran relevantes en términos de calidad del aire —por sus posibles efectos en la salud—, tales como las partículas secundarias y el ozono. El INEM incluye las emisiones calculadas para cinco tipos de fuentes de emisión, a saber: fuentes fijas, fuentes de área, vehículos automotores, fuentes móviles que no circulan por carreteras (maquinaria agrícola y de construcción) y fuentes naturales (emisiones naturales de COV generadas por la vegetación, de NO_x provenientes de suelos y de SO_2 y PM producidas por actividad volcánica).

Este inventario será de utilidad para autoridades, instituciones académicas y organismos públicos y privados ya que proporciona datos técnicos de las fuentes de emisiones atmosféricas que afectan la calidad del aire y que pueden tener impactos en el ambiente y la salud pública en México. Asimismo, el INEM constituye un apoyo para reformular o, en su caso, validar las actuales normas y políticas dirigidas al mejoramiento de la calidad del aire y proporciona los datos necesarios para realizar estudios de modelación de la

CUADRO RE-1. RESUMEN DE RESULTADOS DEL INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES DE MÉXICO, 1999

CATEGORÍA DE FUENTE	EMISIONES (MG/AÑO)						
	NO _x	SO _x	COV	CO	PM ₁₀	PM _{2.5}	NH ₃
Minería	30,323.7	147,108.2	27,977.6	45,983.7	32,427.6	15,538.0	
Plantas de generación de electricidad	259,833.8	1,604,849.2	11,394.4	25,310.8	79,508.3	62,884.7	
Refinación de petróleo y otros combustibles fósiles	39,078.3	389,056.5	55,074.0	19,765.9	18,516.8	13,043.7	
Manufactura y otros procesos industriales	119,537.0	492,580.8	105,981.4	76,433.7	166,802.8	107,560.5	
Otros servicios	50.9	276.1	80.4	8.4	20.9	14.7	
Comercialización al mayoreo de bienes percederos	50.7	64.3	47,347.2	109.1	11.8	8.6	
Combustión industrial de combustibles	53,286.9	189,420.7	8,953.0	48,233.5	14,438.3	11,231.4	
Otros usos de combustibles	89,276.8	3,051.3	421,282.5	1,993,769.1	227,681.5	219,218.1	
Distribución de combustible			423,658.5				
Uso de solventes			773,944.0				
Incendios y quemas	9,174.4	537.5	54,943.7	402,537.2	58,689.1	53,627.7	
Polvo fugitivo					127,703.9	27,279.1	1,297,832.5
Fuentes de amoniaco							
Otras fuentes de área	124,582.5	1,632.2	60,805.6	56,312.2	10,740.4	9,012.9	
Vehículos automotores en ruta	435,664.7	24,452.8	573,042.4	4,671,841.8	20,567.5	18,844.9	7,609.4
Fuentes móviles que no circulan por carreteras	263,767.8	3,485.9	35,169.1	153,603.5	37,240.1	36,122.9	
Fuentes biogénicas	1,018,613.2		17,443,902.4				
Fuentes geogénicas		2,606,550.0			1,954,913.0	390,983.0	
Total	2,443,240.7	5,463,065.5	20,043,556.2	7,493,908.9	2,749,262.0	965,370.2	1,305,441.9

(Continúa)

CUADRO RE-1. RESUMEN DE RESULTADOS DEL INVENTARIO NACIONAL DE EMISIONES DE MÉXICO, 1999

CATEGORÍA DE FUENTE	EMISIONES (PORCENTAJE)						
	NO _x	SO _x	COV	CO	PM ₁₀	PM _{2.5}	NH ₃
Minería	1.24	2.69	0.14	0.61	1.18	1.61	
Plantas de generación de electricidad	10.63	29.38	0.06	0.34	2.89	6.51	
Refinación de petróleo y otros combustibles fósiles	1.60	7.12	0.27	0.26	0.67	1.35	
Manufactura y otros procesos industriales	4.89	9.02	0.53	1.02	6.07	11.14	
Otros servicios	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	
Comercialización al mayoreo de bienes perecederos	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	
Combustión industrial de combustibles	2.18	3.47	0.04	0.64	0.53	1.16	
Otros usos de combustibles	3.65	0.06	2.10	26.61	8.28	22.71	
Distribución de combustible			2.11				
Uso de solventes			3.86				
Incendios y quemas	0.38	0.01	0.27	5.37	2.13	5.56	
Polvo fugitivo					4.65	2.83	99.42
Fuentes de amoniaco							
Otras fuentes de área	5.10	0.03	0.30	0.75	0.39	0.93	
Vehículos automotores en ruta	17.83	0.45	2.86	62.34	0.75	1.95	0.58
Fuentes móviles que no circulan por carreteras	10.80	0.06	0.18	2.05	1.35	3.74	
Fuentes biogénicas	41.69		87.03				
Fuentes geogénicas		47.71			71.11	40.50	
Total	100	100	100	100	100	100	100

calidad del aire en el país y en la frontera de México con Estados Unidos.

RE.2 Presentación de resultados y conclusiones

Como puede observarse en el cuadro RE-1, la mayor parte de las emisiones antropogénicas —excluyendo las emisiones que emanan de fuentes naturales— provienen de:

- Vehículos automotores, que ocupan el primer sitio en cuanto a emisiones de NO_x y CO, así como el segundo lugar en emisiones de COV, y
- Plantas de generación de electricidad, que emiten la mayoría de las emisiones de SO_x y se ubican en segundo sitio en emisiones de NO_x , después de las fuentes móviles.

En este mismo contexto, el análisis de emisiones por contaminante arroja los siguientes resultados:

- Tratándose de emisiones de NO_x , las fuentes de emisión más representativas, después de los vehículos automotores, son las fuentes móviles que no circulan por carreteras y las plantas de generación de energía eléctrica.
- Las emisiones de SO_x están fuertemente determinadas por procesos de manufactura y otros procesos industriales, las refinerías de petróleo y otros combustibles fósiles, así como por el consumo industrial de combustibles (fuente de área).
- En el caso de los COV, las fuentes que contribuyen de manera más significativa son el uso de solventes, los vehículos automotores, la distribución de combustibles (gasolina y gas LP), así como otros usos de combustibles (principalmente combustión doméstica de leña).
- En cuanto al CO, más del 62% del total de emisiones proviene de los vehículos automotores, mientras que alrededor del 27% corresponde a otros usos de combustibles (fundamentalmente gas LP en el sector transporte).

- Para las emisiones de NH_3 son las actividades ganaderas, la aplicación de fertilizantes y la generación doméstica de amoníaco las responsables de la mayoría de las emisiones. Sólo una muy pequeña proporción de las emisiones de este contaminante proviene de los vehículos automotores.

Por otro lado, los resultados de este inventario muestran que las fuentes naturales (biogénicas y geogénicas) contribuyen sustancialmente a las emisiones totales de NO_x , SO_x , COV y PM. Por ejemplo, los volcanes de Colima y Popocatepetl son las principales fuentes de emisión de PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$. Si bien es cierto que las emisiones de fuentes naturales son, en general, de mayor magnitud (Mg/año) que el total de emisiones provenientes de fuentes antropogénicas, el hecho de que estas últimas se ubiquen comúnmente en, o cerca de, zonas urbanas en las que hay concentraciones poblacionales presupone una exposición a estos contaminantes de más personas, en comparación con las fuentes naturales que se presentan sobre todo en zonas remotas o rurales. Cabe mencionar que para las fuentes naturales posiblemente se tenga una sobreestimación de las emisiones que se presentan en este inventario; en el caso de las emisiones de la vegetación y los suelos se asocia con la incertidumbre de la calidad de la información disponible y con los cálculos de las emisiones de NO_x y COV; en cuanto a las emisiones volcánicas, se relaciona con la variabilidad misma de las emisiones, los métodos y los supuestos utilizados para estimarlas.

Los resultados del inventario a nivel de entidad federativa (cuadro RE-2) también ilustran la situación del país en términos de emisiones contaminantes a la atmósfera y la problemática que enfrenta la calidad del aire a nivel local y regional. Por ejemplo, si se toman en cuenta únicamente las emisiones de origen antropogénico, los estados que presentan las emisiones más elevadas de NO_x son:

- Coahuila, principalmente provenientes de plantas de generación de electricidad (carboeléctricas).
- Veracruz, provenientes de una combinación de fuentes fijas como plantas de generación de electri-

CUADRO RE-2. RESUMEN DEL INEM, 1999 POR ENTIDAD FEDERATIVA (MG/AÑO)

ENTIDAD FEDERATIVA	NO _x	SO _x	COV	CO	PM ₁₀	PM _{2.5}	NH ₃
Aguascalientes	9,668	7,060	27,593	54,848	3,560	1,895	22,917
Baja California	41,213	44,401	85,071	162,207	10,780	8,500	10,363
Baja California Sur	13,042	20,600	8,515	17,443	2,166	1,649	5,669
Campeche	43,236	151,756	19,795	74,437	10,814	8,045	14,650
Coahuila	157,200	175,090	65,201	147,824	31,609	29,328	26,839
Colima	22,959	192,149	13,654	27,502	12,495	8,773	6,163
Chiapas	22,411	94,126	108,030	380,490	50,804	39,204	93,976
Chihuahua	64,782	91,301	91,021	222,901	23,450	16,592	41,975
Distrito Federal	89,549	6,389	213,084	769,830	7,114	6,202	9,783
Durango	20,796	27,342	50,671	101,912	12,664	7,994	45,967
Guanajuato	50,102	134,055	106,184	269,784	24,132	16,784	52,624
Guerrero	31,622	191,124	77,017	250,905	35,060	28,112	52,280
Hidalgo	63,323	358,640	54,430	154,950	35,675	26,312	25,058
Jalisco	84,237	39,560	172,690	607,440	33,753	20,824	138,024
México	113,950	47,311	327,553	999,795	32,671	24,906	49,105
Michoacán	47,362	30,976	87,060	254,970	30,734	22,407	75,909
Morelos	14,610	13,863	35,639	88,760	8,320	5,553	11,974
Nayarit	9,826	2,856	19,135	54,942	7,603	4,635	23,987
Nuevo León	77,114	99,901	137,352	407,386	18,650	15,627	23,104
Oaxaca	32,155	61,820	95,963	332,013	45,595	35,911	61,770
Puebla	36,109	18,134	129,347	361,073	37,691	30,261	61,225
Querétaro	13,158	8,717	34,344	79,215	7,525	5,571	15,413
Quintana Roo	12,247	3,136	19,856	65,578	6,221	4,717	4,897
San Luis Potosí	30,232	85,457	57,515	180,805	25,669	18,338	34,390
Sinaloa	38,946	105,531	50,614	141,443	23,591	14,055	62,128
Sonora	41,279	159,775	54,187	148,133	41,804	23,335	49,155
Tabasco	28,805	148,836	58,576	137,538	29,218	19,306	40,841
Tamaulipas	56,592	155,267	92,847	173,518	19,683	12,196	37,514
Tlaxcala	10,010	5,631	24,338	65,714	5,337	3,826	8,342
Veracruz	110,520	342,392	209,048	547,964	129,871	93,646	124,393
Yucatán	20,402	29,828	45,367	142,937	15,151	13,000	36,372
Zacatecas	17,172	3,495	27,958	69,656	14,942	6,887	38,637
Total	1,424,628	2,856,516	2,599,654	7,493,909	794,349	574,387	1,305,442

ciudad, actividades de extracción de petróleo y gas, y también refinerías, así como fuentes de área, particularmente embarcaciones marítimas comerciales.

- DF y Estado de México, provenientes en su mayoría de fuentes móviles, sobre todo vehículos pesados a diesel y vehículos y camiones ligeros a gasolina.

En lo referente a emisiones de SO_x las entidades con mayores emisiones son:

- Veracruz, Sonora, Coahuila, Tamaulipas, Colima, Guerrero, siendo el origen de las emisiones, básicamente, la generación de energía eléctrica.

- Hidalgo y Campeche, en donde las emisiones están relacionadas con las refinerías de petróleo y las actividades de extracción de petróleo y gas.

En lo que respecta a emisiones de COV y CO, se distribuyen de la siguiente manera:

- El Estado de México, el Distrito Federal, Jalisco y Veracruz, presentan las emisiones más altas de COV, provenientes principalmente de fuentes de área como la distribución de gas LP, la combustión doméstica de leña y el uso comercial y doméstico de solventes, y fuentes móviles tales como vehículos y camiones ligeros a gasolina.
- En estos mismos estados las emisiones de CO son más elevadas que en el resto de las entidades federativas. En el Estado de México, el Distrito Federal y Jalisco provienen en su mayoría de vehículos automotores (alrededor de 81 % del total en Jalisco y Estado de México y casi 94 % en el Distrito Federal); sin embargo, en Veracruz el 59 % de las emisiones de CO son producto de fuentes de área, sobre todo de la combustión doméstica de leña, en tanto que sólo 37 % corresponde a vehículos automotores.

En lo que corresponde a las emisiones de partículas suspendidas, éstas se distribuyeron de la siguiente manera:

- Las entidades con mayores emisiones antropogénicas de PM_{10} son el Estado de México, Jalisco y Veracruz. En este último, la mayor parte de estas emisiones provienen de fuentes fijas.
- Los estados con mayores emisiones de $PM_{2.5}$ asociadas con fuentes no naturales son Veracruz, Puebla y Jalisco. En el primero, las fuentes fijas dan cuenta de alrededor del 53 % de las emisiones totales de $PM_{2.5}$, y, en los segundos, contribuyen con menos del 20 % de estas emisiones.

Finalmente, dado que el ganado contribuye con 80 por ciento de las emisiones totales de NH_3 en México, los cuatro estados con mayores emisiones son Jalisco,

Veracruz, Chiapas y Michoacán, en ellos, esta actividad juega un papel importante para la economía local.

RE.3 Recomendaciones y áreas de oportunidad

El INEM es el primer inventario nacional de emisiones en la historia de México y, como tal, es un parteaguas para la gestión, políticas públicas y actividades académicas relacionadas con la calidad del aire en el país. Representa un gran esfuerzo, dedicación y experiencia técnica de muchas entidades públicas y privadas, así como del CTA y de muchos otros sectores interesados.

Como en todos los inventarios de emisiones, durante su desarrollo se identificaron áreas de oportunidad que vale la pena tomar en cuenta al planear su actualización. A continuación se comentan algunas de ellas, por tipo de fuente.

Fuentes fijas

- Mejorar la cobertura y la calidad de información de los instrumentos de reporte de emisiones. En la actualidad, la SEMARNAT y las autoridades ambientales de varios estados cuentan con Cédulas de Operación Anual (COA) para recopilar información de las fuentes fijas de su jurisdicción. Es indispensable que en aquellos estados donde no se ha instrumentado aún este tipo de esquema, sea impulsado e implantado a la brevedad posible.
- Difundir y capacitar a los representantes de las empresas en cuanto a los métodos para la estimación de emisiones, ya que la experiencia del INEM indica que no todos los establecimientos reportan sus COA, y que un alto porcentaje de las empresas que sí reportan, lo hacen en forma parcial. Es decir, no hacen estimaciones de la totalidad de fuentes y/o contaminantes implícitas en su actividad productiva.
- Inducir el empleo de esquemas de reporte e integración de datos a través de medios electrónicos, para lograr un mayor control y aseguramiento de

- la calidad en la recopilación y procesamiento de los datos en forma sistemática y consistente.
- Incluir NH₃ en los contaminantes listados en el RETC, para que los establecimientos industriales con emisiones potenciales importantes de este contaminante estimen sus emisiones. Asimismo, deberán homologarse los criterios de medición o estimación de COV para obtener datos consistentes en todos los establecimientos.
 - Establecer prioridades por sector para la formulación de factores de emisión específicos para México. La mayoría de las emisiones de fuentes fijas en el INEM proviene de las centrales eléctricas, la industria petrolera y del gas (refinerías, exploración de yacimiento de petróleo y gas, y grandes terminales petroleras de almacenamiento a granel) y las industrias de manufactura de productos minerales no metálicos.
 - Elaborar y publicar guías y directrices para la homologación del Inventario Nacional de Emisiones, con el fin de establecer lineamientos para la actualización de fuentes, categorías y subcategorías, para las metodologías de estimación de emisiones, criterios de corte o umbrales para la desagregación entre fuentes fijas pequeñas y fuentes de área y, también, para la estimación de emisiones fugitivas en fuentes fijas y de área, entre otras.
 - Establecer directrices para el establecimiento de umbrales de emisión, tipos de giros y puntos de corte con la finalidad de homologar los criterios de segregación y minimizar “doble conteos”, sobre todo en lo relativo a las emisiones evaporativas de COV resultantes de los procesos de combustión.
 - Complementar datos de actividad a nivel local. La metodología para estimar las emisiones de fuentes de área utilizó estadísticas nacionales para los datos de actividad (por ejemplo, uso de combustibles, recubrimiento de superficies, uso de solventes en el lavado en seco, etcétera). Sin embargo, en general hicieron falta datos de actividad más precisos a escala estatal y municipal. Como resultado, fue preciso emplear varios métodos de asignación espacial para desagregar los datos de actividades nacionales y poderlos expresar a escala municipal. Con frecuencia, tales métodos se basaban en conteos de población o de empleo, y lo más probable es que sean apenas aproximaciones de la distribución real de los datos de actividad.
 - Identificar y obtener información de las asociaciones comerciales adecuadas para estimar con mayor precisión las emisiones de estas categorías. Las emisiones evaporativas de COV se originan en muy distintas categorías de fuentes; para algunas de ellas, las asociaciones comerciales respectivas proporcionaron datos de actividad a escala nacional (estadísticas de la ANAFAPYT sobre manufactura de pinturas y tintas, y estadísticas sobre solventes para lavado en seco de la CANALAVA). Desafortunadamente, para otras categorías de emisores de COV (uso comercial y doméstico de solventes y desengrasado) no se identificaron las asociaciones comerciales correspondientes. En consecuencia, se utilizaron por omisión factores estadounidenses de emisión por habitante o por empleado para estimar las emisiones, en lugar de datos de actividad específicos para México, lo que dio como resultado que las emisiones de COV, derivadas tanto del uso comercial y doméstico de solventes como del desengrasado, tuvieran un alto grado de incertidumbre y una magnitud relativamente considerable en

Fuentes de área

Además de retomar las últimas tres recomendaciones para fuentes fijas, para el caso de las fuentes de área se pueden hacer, como elementos de oportunidad y mejora, las siguientes recomendaciones:

- Evaluar y depurar las 40 subcategorías usadas en la categoría de fuentes de área del INEM, 1999 para incluir aquellas que sean más representativas para el país. Además, elaborar y difundir guías que permitan homologar la denominación de las subcategorías, así como aspectos metodológicos tales como: los factores de emisión o actividad y subgrupos que pueden usarse en cada subcategoría.

comparación con las emisiones de otras fuentes de COV.

- Reforzar la información sobre las fuentes agrícolas, ya que representan una amplia variedad de contaminantes: polvo fugitivo (labranza agrícola y corrales de engorda de ganado), amoníaco (emisiones generadas a partir de los desechos del ganado y aplicación de fertilizantes), combustión (quema agrícola) y COV (aplicación de plaguicidas). Los datos de actividad del sector agropecuario, en general, se suelen obtener de la SAGARPA; sin embargo, la información que esta entidad pudo proporcionar se limitó a algunas estimaciones de la superficie cultivada y la población de ganado. Se requiere una interacción permanente y creciente con la SAGARPA a efecto de identificar e integrar otros datos de actividad necesarios para el INEM en el futuro. Por ejemplo, información acerca de las prácticas agrícolas específicas de cada región (quema de cultivos, madera y hojas asociadas con las actividades agrícolas; aplicación de fertilizantes, y uso de plaguicidas), así como de los calendarios de cultivo y otros detalles de la actividad.
- Generar parámetros para estimar las emisiones de polvo de caminos, ya que la resuspensión de polvo de caminos pavimentados y no pavimentados puede ser una fuente significativa de emisiones de PM_{10} y $PM_{2.5}$. Sin embargo, no se incluyó en el INEM puesto que las metodologías de estimación incorporan ecuaciones que exigen varios parámetros de entrada específicos para cada localidad (carga de sedimentos, contenido de limo, velocidad vehicular promedio, peso vehicular promedio, contenido de humedad promedio de los sedimentos y número de días con precipitación pluvial). A excepción del número de días con precipitación, el resto de los parámetros de entrada importantes estuvieron disponibles sólo para unas cuantas localidades en el país (Ciudad Juárez y la ciudad de Chihuahua). Si en el futuro se cuenta con estos parámetros de entrada específicos para cada localidad, será posible estimar las emisiones de polvo de caminos pavimentados y no pavimentados.

Vehículos automotores

- Recopilar e integrar modelos de demanda de recorrido, estadísticas de consumo de combustible, estadísticas del registro vehicular y otros conteos relacionados con el parque vehicular. Los kilómetros recorridos por vehículo (KRV) constituyen uno de los datos de actividad fundamentales en lo que se refiere a vehículos automotores. Puesto que el INEM se integró a escalas estatal y municipal, las estimaciones de KRV debieron calcularse para esos mismos ámbitos. Debido a las limitaciones en otras fuentes tradicionales de información sobre KRV, para el INEM se utilizaron tasas de emisión por habitante obtenidas a partir de modelos de volúmenes de tráfico y niveles de congestión vehicular para zonas urbanas representativas de distintos tamaños.
- Contar con pruebas vehiculares adicionales, lo cual ayudará a mejorar la calidad de dichas tasas básicas de emisión. Las emisiones de vehículos automotores se estimaron utilizando factores de emisión derivados del modelo MOBILE6-México, mismo que constituye el modelo de factores de emisión más actualizado y representativo que puede usarse en México. Aún así, las tasas básicas de emisión que conforman el modelo se basan en pruebas de emisiones muy limitadas, realizadas en la Ciudad de México, Ciudad Juárez y Aguascalientes.
- Realizar estudios ulteriores para contribuir a mejorar la información sobre características del parque vehicular, información utilizada para estimar las emisiones de vehículos automotores en ruta y que se refiere a las características del parque vehicular. Estas características incluyen datos de registro, distribución por edad y combinación de KRV, entre otros. Se han realizado algunos estudios limitados en México y sus resultados se han aplicado a todo el país; en otros casos, se han utilizado datos estadounidenses.
- Reforzar la capacidad institucional a nivel federal, estatal y municipal, así como su coordinación y apoyo interinstitucional para fomentar la adecua-

da caracterización del parque vehicular y el conocimiento y aplicación de metodologías o modelos de estimación de emisiones, así como modelos de demanda de viajes para la estimación de KRV.

Fuentes móviles que no circulan por carretera

Las mismas recomendaciones hechas para los vehículos automotores son válidas para las fuentes móviles que no circulan por carreteras, debido a que la información sobre la población de equipos agrícolas y de construcción está limitada, en el mejor de los casos, a escala estatal. Para los datos de actividad, en algunos casos se tomaron como referencia los de Estados Unidos y en otros casos se hicieron inferencias a partir de datos complementarios como son la superficie cultivada, pavimentada o construida por entidad, etc. Sin embargo, también a manera de mejora, se ofrecen las siguientes recomendaciones:

- Integrar datos de actividad para las categorías excluidas en la actualidad, es uno de los aspectos en que puede centrarse el trabajo futuro con respecto de las fuentes móviles. En inventarios de emisiones mexicanos previos, las fuentes móviles que no circulan por carreteras se han limitado a aeronaves, locomotoras y embarcaciones marítimas comerciales, incluidas en este inventario como fuentes de área. El INEM incorpora sólo dos clases adicionales de fuentes móviles: equipo agrícola y equipo de construcción, aunque por lo general las fuentes móviles que no circulan por carreteras comprenden muchos otros tipos de equipo, incluidos los utilizados en actividades industriales y comerciales, vehículos y botes recreativos, equipo de jardinería, equipo de servicios aeroportuarios, motores auxiliares, equipo portátil de perforación de pozos y equipo de silvicultura. Si bien en inventarios de emisiones estadounidenses estas categorías de fuentes han demostrado ser menos relevantes, al día de hoy no se sabe con precisión hasta qué grado puedan ser importantes en México.

- Obtener estadísticas específicas para México sobre inventarios de equipo agrícola y de construcción a escala local para mejorar las estimaciones de las emisiones de estas fuentes, exigirá una adecuada y estrecha coordinación entre diversas dependencias de gobierno y asociaciones industriales. Las estimaciones del INEM de emisiones de fuentes móviles que no circulan por carreteras se basaron en datos sobre la población del equipo disponibles sólo a escala estatal (para la maquinaria agrícola) o bien extrapolados a partir de datos de Estados Unidos (para el equipo de construcción).
- Realizar una encuesta sobre la operación del equipo móvil que no circula por carreteras para proporcionar una estimación mucho más precisa de las horas anuales de actividad. Las estimaciones para fuentes móviles que no circulan por carreteras también se basan en las horas/año de operación, ajustadas con base en estimaciones del consumo agrícola de diesel derivadas del balance nacional de combustibles.

Fuentes naturales

- Reducir la incertidumbre de las emisiones, reduciendo las lagunas en los datos meteorológicos. En el modelo GloBEIS, las emisiones biogénicas se calculan en función de los datos meteorológicos (temperatura y cobertura de nubes). En la mayor medida posible, al integrar el INEM se recopilaron y usaron datos meteorológicos específicos para México. Sin embargo, se detectaron importantes lagunas en información, tanto de temperatura como de cobertura de nubes. A efecto de subsanar estas deficiencias en los datos, se formularon perfiles de temperatura y cobertura de nubes a partir de premisas que pudieran dar como resultado una sobreestimación de las emisiones de COV (un mayor número de días despejados y temperaturas más elevadas).
- Fomentar iniciativas para mejorar la calidad de los datos sobre uso del suelo y cobertura de la vegetación, sobre todo en lo que respecta a tierras

forestales y otros usos de suelo no agrícolas. Esto permitirá reducir la incertidumbre en las estimaciones de emisiones biogénicas, ya que éstas dependen del uso de suelo y de la cobertura de la vegetación. Los datos que al respecto se utilizaron en el INEM entrañan diversas áreas de incertidumbre. En primer lugar, es muy probable que las zonas urbanas sean en realidad mayores que lo reportado en el conjunto de datos sobre uso del suelo. Además, en muchos casos los datos fueron vagos y poco específicos en lo que se refiere a tipos de uso de suelo o especies vegetales presentes. Esto hizo necesario plantear varias suposiciones para correr el modelo GloBEIS (por ejemplo, para muchas especies no fue posible el mapeo con especies específicas o similares en el GloBEIS, por lo que se les clasificó como “bosque mixto”). Por otra parte, los datos de la SAGARPA aportaron más tipos de cultivo que los que el GloBEIS incluye, de manera que algunos cultivos reportados por la SAGARPA se mapearon con especies similares en el GloBEIS.

- Obtener calendarios de cultivo detallados para poder definir coberturas variables a lo largo del año, lo que se traduciría en una menor incertidumbre en las estimaciones de emisiones biogénicas en México. El modelo GloBEIS permite al usuario definir temporalmente la cobertura de cultivos con un nivel de resolución considerablemente alto. Desafortunadamente, durante la integración del INEM no fue posible identificar calendarios de

cultivo detallados, lo que llevó a considerar una cobertura de cultivos anual. Por ello es muy probable que las emisiones de NO_x de los suelos estén sobreestimadas. Para mejorar los inventarios futuros es preciso obtener de la SAGARPA varios tipos de datos sobre la actividad agrícola, incluidos los calendarios de cultivo.

Por la importancia que los inventarios de emisiones tienen para la definición de políticas y estrategias para el control de la contaminación atmosférica y, también, para actividades de modelación, por los múltiples actores que participan en su elaboración, por la variedad de información que se recopila, genera y analiza, por la multiplicidad de métodos que se aplican y por la necesidad de actualizarlos sistemáticamente, el acceso ciudadano y de todas las partes interesadas en la información sobre emisiones, es un medio adicional que puede ayudar a mejorar la calidad de los datos, insumos y métodos utilizados. En la medida en que se identifiquen posibles discrepancias y errores que hayan podido escapar a los mecanismos internos de aseguramiento de calidad y llamen la atención al respecto de los responsables de elaborar el inventario, tendremos con cada actualización, que requiere de trabajo permanente, un inventario que será mejor que el anterior. Como los expertos en el tema repiten como mantra “un inventario de emisiones nunca se considera final”.

