

## 6. Fuentes móviles que no circulan por carreteras

Las fuentes móviles que no circulan por carreteras incluyen todo el equipo automotor o portátil cuya operación en caminos públicos está prohibida. Para efectos del INEM, esta categoría se ha limitado al equipo a base de diesel utilizado en actividades de construcción y agrícolas, en tanto que aeronaves, locomotoras y embarcaciones marítimas comerciales se incluyeron como fuentes de área (véase el apartado 4.0). Por lo general, las fuentes móviles que no circulan por carreteras comprenden muchos otros tipos de equipo, incluidos los que se utilizan en actividades industriales y comerciales (soldadoras, grúas aéreas, compresoras de aire, entre otros), vehículos y botes recreativos, equipo de jardinería, equipo de servicios aeroportuarios, motores auxiliares, equipo portátil de perforación de pozos y equipo de silvicultura. Las emisiones de estas otras categorías de fuentes que no circulan por carreteras resultan más difíciles de cuantificar; además, su contribución al total de emisiones suele ser menor. Es por ello que, al menos por el momento, no se les ha incluido en el INEM.

Este apartado define las categorías en que se clasifica el equipo agrícola y de construcción; describe la metodología empleada para estimar emisiones y explica las estrategias de recopilación, revisión y aseguramiento de calidad de los datos utilizados para estimar las emisiones de estas fuentes en el INEM. Los resultados del inventario se presentan en cuadros que reflejan las emisiones por contaminante para cada estado, así como las emisiones totales y relativas por categoría y por contaminante para todo México.

### 6.1 Clasificación del equipo

Las categorías de fuentes para el equipo que no circula por carreteras se basan en las clasificaciones del modelo de emisiones NONROAD-México (ERG, 2005). Recientemente el modelo NONROAD-México fue modificado del NONROAD2004 de la EPA para reflejar las condiciones específicas de México (U.S. EPA, 2004a). Dicho modelo también se utilizó en el INEM

para calcular las emisiones de fuentes móviles que no circulan por carreteras (U.S. EPA, 2004b). La clasificación del equipo del NONROAD-México responde al tipo de motor, potencia y combustible utilizado. Muchos tipos de equipo presentan diferentes opciones en lo referente al combustible de que se alimentan, incluidos diesel, gasolina de 2 y de 4 tiempos, propano (gas LP) y gas natural. Asimismo, el modelo agrupa los motores en función de su potencia en caballos de fuerza (hp), en un rango de 1 a más de 1,000 hp, dependiendo de la aplicación. A continuación se listan los distintos tipos de equipo considerados para este inventario, así como su clasificación, independientemente de otras características, como su potencia y tipo de combustible utilizado.

De acuerdo con el modelo NONROAD de la EPA, la mayor parte de la maquinaria agrícola utiliza combustible diesel. Ello se confirma con los resultados del balance nacional de combustibles (véase el apartado 4.2.2 de este informe), los cuales señalan que este sector consume cantidades muy pequeñas de gas LP. Aunque este mismo balance no registra ni proporciona una estimación del uso de gasolina en el sector agrícola, se sabe que el uso de gasolina representa sólo alrededor de 2 por ciento del consumo total de combustible en el sector agrícola en Estados Unidos, por lo que se decidió considerar insignificantes las emisiones de equipo agrícola alimentado con gasolina. Así, este

análisis evaluó sólo las emisiones de equipos agrícolas alimentados con diesel. De manera similar, el uso de diesel en el sector estadounidense de la construcción da cuenta de más de 96 por ciento del uso total de combustible, por lo que este análisis de emisiones incluyó sólo la maquinaria de construcción que funciona con diesel.

## 6.2 Metodología

Las emisiones anuales de NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, COV, CO, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> producidas por equipos que no circulan por carreteras se calcularon utilizando datos de actividad de diversas fuentes y factores de emisión generados por el modelo NONROAD-México. El amoníaco no se incluye en el modelo y, por consiguiente, tampoco en el INEM en lo concerniente a equipo agrícola y de construcción. Los datos de actividad para esta clase de equipo consisten en las horas de operación/caballos de fuerza estimadas para cada combinación de tipo de equipo, combustible y potencia en hp. Estas estimaciones se combinaron con los correspondientes factores de emisión del modelo NONROAD-México, expresados en términos de gramos por hp/hora.

Los parámetros seleccionados en el modelo NONROAD-México buscan reflejar las condiciones específicas de México. Las entradas estándar del modelo incluyen temperaturas ambiente, calidad del combus-

CUADRO 6-1 TIPO Y CLASIFICACIÓN DE EQUIPO QUE NO CIRCULA POR CARRETERAS

| EQUIPO DE CONSTRUCCIÓN                    |   | EQUIPO AGRÍCOLA            |
|---|---|----------------------------|
| Pavimentadoras de asfalto                 | Grúas                                     | Tractores de doble rueda   |
| Pisonos y martinetes                      | Niveladoras                               |                            |
| Compactadoras de lámina                   | Camiones que no circulan por carreteras   | Segadoras                  |
| Aplanadoras                               | Trituradoras y procesadoras               | Tractores agrícolas        |
| Palas rascadoras                          | Carretillas elevadoras                    | Empacadoras                |
| Equipo de pavimentación                   | Cargadoras                                | Cosechadoras y trilladoras |
| Equipo para revestimiento                 | Tractores y explanadoras                  | Equipo hidráulico          |
| Tableros de señalización y plantas de luz | Retroexcavadora                           |                            |
| Zanjadoras                                | Tractores y explanadoras oruga            | Aspersores                 |
| Barrenas y taladros mecánicos             | Cargadoras de rodillos                    | Agavilladoras              |
| Excavadoras                               | Tractores que no circulan por carreteras  | Cultivadoras de > 6 hp     |
| Sierras industriales y para hormigón      | Volquetes o vehículos de volteo y ténders | Bombas de irrigación       |
| Mezcladoras de cemento y mortero          | Otros equipos de construcción             | Otros equipos agrícolas    |

tible (contenido de azufre) y altitud. Se calcularon las temperaturas promedio anuales para cada estado a partir de información de las estaciones meteorológicas (NCDC, 2003). La altitud afecta los procesos de combustión y, consecuentemente, los factores de emisión. Respecto a este parámetro (altitud), se dio por sentado que el modelo sigue la convención del modelo MOBILE de factores de emisión, en el que zonas por arriba de los 1,400 metros se consideran “altas”. En cuanto a la calidad del combustible, para el modelo se tomó como dato de entrada un contenido de azufre en el diesel de 0.04 por ciento (PEMEX, 2004).

También, con el propósito de reflejar las condiciones específicas para el NONROAD-México, se hicieron cambios adicionales a archivos externos del U.S. NONROAD seleccionados. Primero, se modificó el archivo TECH.DAT y todos los estándares de emisión se igualaron a los niveles de base (no controlados) registrados a lo largo de 1999, toda vez que para ese periodo México carecía de estándares de emisión en las categorías de equipos móviles agrícolas o de construcción.

Luego se modificaron las estimaciones estadounidenses sobre distribución de la maquinaria NONROAD-México, tanto agrícola como de construcción, usando distintos datos. El cuadro 6-2 presenta el total de equipo diesel por estado utilizado para calcular la generación de emisiones.

Para los tractores y bombas a base de diesel se contó también con datos específicos por estado correspondientes a 1999 en México, junto con los porcentajes del total para los diferentes intervalos de potencia (Aserca, 1999). Estos datos se muestran en el cuadro 6-3; deberá observarse que corresponden a un subconjunto del equipo agrícola mostrado en el cuadro 6-2 y que se introdujeron directamente en los correspondientes archivos externos del NONROAD-México (por potencia en caballos de fuerza) y se creó un archivo para cada estado. Se presupuso que otros equipos agrícolas (por ejemplo, empacadoras) tendrían una distribución (proporción respecto del número de tractores) similar a la de Estados Unidos. De ahí que se decidiera utilizar las distribuciones nacionales por omisión en Estados Unidos para estimar las cantidades y porcentajes de

CUADRO 6-2. EQUIPO A DIESEL, POR ESTADO (>25 HP)

| ENTIDAD<br>FEDERATIVA | EQUIPO<br>AGRÍCOLA | EQUIPO<br>DE CONSTRUCCIÓN |
|-----------------------|--------------------|---------------------------|
| Aguascalientes        | 4,974              | 2,085                     |
| Baja California       | 4,099              | 13,050                    |
| Baja California Sur   | 1,790              | 2,123                     |
| Campeche              | 5,372              | 1,802                     |
| Coahuila              | 5,827              | 11,701                    |
| Colima                | 2,357              | 1,540                     |
| Chiapas               | 4,177              | 1,933                     |
| Chihuahua             | 32,595             | 14,296                    |
| Distrito Federal      | 1,223              | 27,247                    |
| Durango               | 20,029             | 2,853                     |
| Guanajuato            | 35,619             | 3,130                     |
| Guerrero              | 3,375              | 2,095                     |
| Hidalgo               | 34,014             | 13,145                    |
| Jalisco               | 48,572             | 18,255                    |
| México                | 21,973             | 7,990                     |
| Michoacán             | 27,495             | 3,467                     |
| Morelos               | 7,841              | 2,559                     |
| Nayarit               | 12,313             | 1,450                     |
| Nuevo León            | 3,880              | 18,819                    |
| Oaxaca                | 20,092             | 1,727                     |
| Puebla                | 10,901             | 6,991                     |
| Querétaro             | 4,945              | 4,082                     |
| Quintana Roo          | 902                | 3,726                     |
| San Luis Potosí       | 22,091             | 4,341                     |
| Sinaloa               | 20,120             | 9,707                     |
| Sonora                | 11,453             | 10,434                    |
| Tabasco               | 5,534              | 3,929                     |
| Tamaulipas            | 28,632             | 11,926                    |
| Tlaxcala              | 12,368             | 629                       |
| Veracruz              | 27,073             | 9,462                     |
| Yucatán               | 827                | 5,006                     |
| Zacatecas             | 38,945             | 1,087                     |
| <b>Total</b>          | <b>481,408</b>     | <b>222,587</b>            |

estos otros equipos en México, a partir del número registrado de tractores. Con excepción de las emisiones de CO, los tractores y equipos agrícolas de irrigación dan cuenta de la gran mayoría de las emisiones de este sector en Estados Unidos; por tanto, en la medida en que la distribución del equipo en México sea similar a la estadounidense, esta simplificación no deberá introducir grandes errores en el inventario de emisiones.

Por último, la información sobre consumo anual de diesel del sector agrícola en México (31,676 barriles/día, o 1,840 millones litros/año) se obtuvo del balance nacional de combustibles. Este valor se comparó con el consumo de combustible estimado en el modelo estadounidense para la distribución de equipo específico de NONROAD México, a efecto de obtener un factor de ajuste para la actividad del equipo (horas/año/unidad). Los niveles nacionales de consumo de combustible fueron 15 por ciento más bajos que lo calculado con el modelo NONROAD2004 a partir de los valores por omisión de Estados Unidos (por hora por año). Por tanto, el archivo ACTIVITY.DAT del modelo NONROAD-México se ajustó

de manera que reflejara una disminución de 15 por ciento en horas/año para el equipo agrícola que se alimenta de diesel.

Por lo que toca a maquinaria para la construcción en México, no se consiguieron datos de distribución confiables. Por consiguiente, se evaluaron varios indicadores indirectos de su distribución y número que luego se usaron para extrapolar los datos de Estados Unidos a México. Estos indicadores indirectos incluyeron, por ejemplo, el número de casas construidas para dar cuenta de la actividad nacional total estimada. La distribución del equipo nacional total se estimó con base en el producto interno bruto (PIB) y luego se desagregó por estado.

CUADRO 6-3. TRACTORES DE AGRICULTURA Y EQUIPO DE IRRIGACIÓN EN MÉXICO EN 1999, POR ESTADO

| ENTIDAD FEDERATIVA  | TRACTORES |  |           |            |            |        | EQUIPO DE IRRIGACIÓN |  |           |         |
|---------------------|-----------|--|-----------|------------|------------|--------|----------------------|--|-----------|---------|
|                     | TOTAL     | PORCENTAJE DEL TOTAL PARA CADA INTERVALO DE POTENCIA |           |            |            |        | TOTAL                | PORCENTAJE DEL TOTAL PARA CADA INTERVALO DE POTENCIA |           |         |
|                     |           | 1-50 HP  | 51-100 HP | 101-150 HP | 151-200 HP | 201+HP |                      | 1-50 HP  | 51-100 HP | 101-150 |
| Aguascalientes      | 4,061     | 2.71   | 89.81     | 6.13       | 0.39       | 0.96   | 28                   | 57.14  | 35.71     | 7.14    |
| Baja California     | 3,271     | 4.04   | 45.61     | 34.15      | 10.85      | 5.35   | 138                  | 35.51  | 52.90     | 11.59   |
| Baja California Sur | 1,439     | 3.13   | 65.53     | 22.45      | 6.32       | 2.57   | 49                   | 34.69  | 42.86     | 22.45   |
| Campeche            | 4,336     | 0.65   | 64.99     | 26.78      | 4.98       | 2.61   | 100                  | 14.00  | 59.00     | 27.00   |
| Coahuila            | 4,704     | 3.10   | 81.31     | 12.33      | 2.17       | 1.08   | 109                  | 63.30  | 33.03     | 3.67    |
| Colima              | 1,906     | 7.45   | 81.06     | 7.97       | 1.47       | 2.05   | 40                   | 65.00  | 27.50     | 7.50    |
| Chiapas             | 3,407     | 4.26   | 87.61     | 3.90       | 1.14       | 3.08   | 29                   | 10.34  | 65.52     | 24.14   |
| Chihuahua           | 26,550    | 6.54   | 65.04     | 20.74      | 6.28       | 1.40   | 242                  | 40.91  | 38.43     | 20.66   |
| Distrito Federal    | 1,003     | 2.09   | 86.54     | 8.87       | 0.40       | 2.09   | 0                    | 0.00   | 0.00      | 0.00    |
| Durango             | 16,403    | 6.64   | 81.80     | 9.51       | 1.01       | 1.04   | 10                   | 10.00  | 40.00     | 50.00   |
| Guanajuato          | 29,117    | 1.54   | 81.78     | 12.56      | 2.46       | 1.67   | 101                  | 35.64  | 54.46     | 9.90    |
| Guerrero            | 2,685     | 2.53   | 88.90     | 5.36       | 0.15       | 3.05   | 125                  | 91.20  | 8.80      | 0.00    |
| Hidalgo             | 27,859    | 2.86   | 84.88     | 9.18       | 1.39       | 1.69   | 13                   | 38.46  | 38.46     | 23.08   |
| Jalisco             | 39,614    | 1.34   | 75.24     | 17.87      | 3.56       | 2.00   | 277                  | 56.68  | 33.94     | 9.39    |
| México              | 17,995    | 1.36   | 88.00     | 8.21       | 1.26       | 1.17   | 8                    | 12.50  | 75.00     | 12.50   |
| Michoacán           | 22,498    | 2.03   | 78.10     | 16.22      | 2.22       | 1.43   | 45                   | 28.89  | 53.33     | 17.78   |
| Morelos             | 6,420     | 3.57   | 91.48     | 3.04       | 0.20       | 1.71   | 6                    | 16.67  | 66.67     | 16.67   |
| Nayarit             | 9,340     | 1.31   | 55.49     | 36.34      | 5.63       | 1.23   | 1,177                | 32.20  | 67.12     | 0.68    |
| Nuevo León          | 3,169     | 1.64   | 68.07     | 21.08      | 7.38       | 1.83   | 16                   | 50.00  | 43.75     | 6.25    |
| Oaxaca              | 16,442    | 0.82   | 86.86     | 11.21      | 0.13       | 0.99   | 32                   | 46.88  | 43.75     | 9.38    |
| Puebla              | 8,927     | 1.34   | 86.68     | 9.03       | 0.54       | 2.41   | 7                    | 28.57  | 28.57     | 42.86   |
| Querétaro           | 4,053     | 0.79   | 90.25     | 7.55       | 0.37       | 1.04   | 3                    | 33.33  | 33.33     | 33.33   |
| Quintana Roo        | 740       | 0.68   | 66.49     | 26.89      | 3.78       | 2.16   | 1                    | 0.00   | 0.00      | 100.00  |
| San Luis Potosí     | 17,982    | 5.90   | 74.64     | 14.55      | 3.33       | 1.59   | 182                  | 15.93  | 28.02     | 56.04   |
| Sinaloa             | 16,359    | 1.17   | 49.93     | 34.66      | 11.19      | 3.06   | 199                  | 52.76  | 39.70     | 7.54    |
| Sonora              | 9,248     | 1.34   | 59.29     | 24.30      | 12.22      | 2.85   | 220                  | 43.64  | 43.64     | 12.73   |
| Tabasco             | 4,521     | 1.37   | 61.56     | 32.91      | 2.21       | 1.95   | 15                   | 20.00  | 73.33     | 6.67    |
| Tamaulipas          | 23,294    | 1.47   | 37.94     | 39.37      | 18.38      | 2.83   | 252                  | 16.67  | 48.41     | 34.92   |
| Tlaxcala            | 10,130    | 2.03   | 79.83     | 13.15      | 3.32       | 1.67   | 5                    | 80.00  | 20.00     | 0.00    |
| Veracruz            | 22,033    | 4.76   | 75.00     | 15.95      | 1.61       | 2.68   | 228                  | 28.95  | 46.49     | 24.56   |
| Yucatán             | 673       | 0.30   | 60.92     | 28.68      | 8.32       | 1.78   | 9                    | 33.33  | 66.67     | 0.00    |
| Zacatecas           | 31,881    | 5.11   | 89.38     | 3.95       | 0.46       | 1.11   | 37                   | 32.43  | 54.05     | 13.51   |

En algunos casos fue posible disponer directamente de los datos utilizados como indicadores indirectos para cada estado (kilómetros de caminos o superficie de las construcciones comerciales). En tales casos, la distribución del equipo de construcción se calculó directamente para cada entidad federativa.

No fue posible disponer de información de operaciones directas en lo que se refiere a equipo de construcción, ello incluye el uso de combustible, por lo que se utilizaron perfiles de actividad específicos para cada sector (construcción residencial, comercial y de servicios públicos) formulados para Houston, Texas, con los ajustes pertinentes en la medida de lo posible. Para realizar tales ajustes, en algunos casos se usaron datos de investigaciones sobre equipo de construcción en Monterrey; en otros, por ejemplo, actividades de construcción de carreteras, se usó información sobre la extensión de los caminos para ajustar los perfiles de equipo de Houston al NONROAD-México. Para los sectores de rellenos sanitarios y sitios de residuos peligrosos se extrapolaron datos de investigaciones sobre equipo en Monterrey a otros lugares de México que cuentan con tales establecimientos. El indicador indirecto utilizado para extrapolar los datos correspondientes a rellenos sanitarios fue el volumen total (en toneladas) de basura eliminada. Por lo que respecta a actividades de manejo de residuos peligrosos, sólo se identificaron cuatro sitios en México, en distintos estados, por lo que se usó la información de Monterrey como característica de los otros tres sitios.

Una vez compiladas todas las entradas de datos y archivos externos, se corrió el modelo NONROAD-México para cada entidad federativa por separado, a efecto de obtener las emisiones anuales en toneladas por año para los contaminantes seleccionados. La estimación de emisiones generadas a escala municipal por equipo agrícola alimentado con diesel se basó en un censo de operación de tractores del INEGI en 1999 (Aserca, 1999). A su vez, las emisiones producidas por equipo de construcción a escala estatal se estimaron con base en información de población municipal en 2000 (INEGI, 2000a).

### 6.3 Aseguramiento de calidad

A lo largo del proceso de integración del inventario de fuentes móviles que no circulan por carreteras, y de acuerdo con el plan de aseguramiento de calidad (PAC) contenido en el *Plan para la preparación del INEM* (ERG, 2003a), se realizaron diversas revisiones de aseguramiento de calidad.

La primera parte del plan de aseguramiento de calidad se centró en la revisión exhaustiva de los archivos y resultados de NONROAD-México para guardar congruencia interna y externa. Con estas revisiones se aseguró la correcta captura de datos referentes al equipo original y aquellos utilizados como indicadores indirectos relacionados con los archivos de actividades y equipo del modelo. La revisión también sirvió para comparar cálculos de emisiones estatales del modelo entre sí, así como con indicadores indirectos independientes, a fin de garantizar resultados razonables y congruentes del modelo en lo que toca a equipo agrícola y de construcción. Se revisaron los archivos de actividades y equipo por estado, preparados para el modelo, con objeto de garantizar la correcta transcripción, formato e integridad de datos. Para cada entidad federativa, se revisó cada combinación de tipo de equipo por potencia para asegurar los siguientes puntos:

- El reemplazo de todos los valores por omisión del archivo sobre COP por cálculos de equipo adecuados o por valores cero cuando resultara pertinente;
- las cifras totales de todos los tipos de equipo y potencias en caballos de fuerza resultaron equivalentes al total estatal derivado, tanto para el sector agrícola como para el de la construcción, y
- se comparó la fracción del equipo nacional para cada entidad en todas las categorías de equipo, con objeto de asegurar congruencia. Por ejemplo, se determinó que la fracción nacional de pavimentadoras de asfalto para Aguascalientes era prácticamente la misma que las demás categorías de equipo de construcción en dicha entidad.

Tras la revisión de los archivos de actividad y equipo para garantizar congruencia e integridad, se llevaron a cabo actividades adicionales de aseguramiento y control de calidad respecto de los archivos de resultados sobre cálculos de emisiones. Para el sector de la construcción, se compararon las emisiones anuales de  $\text{NO}_x$  por entidad federativa previstas para 1999 con los cálculos del INEGI de trabajadores de la construcción en cada estado. En general, la mayor parte de dichos cálculos mostró congruencia relativa con el número estimado de trabajadores de la construcción. Sólo en algunas entidades (a saber: el Distrito Federal y Guanajuato), las emisiones estimadas de  $\text{NO}_x$  quedaron por debajo de las expectativas, con base en el número estimado de trabajadores, lo cual indica que el trabajo en la construcción es más intensivo en trabajo, y menos intensivo en capital, que en otros estados. A la inversa, en Hidalgo, las emisiones de  $\text{NO}_x$  y por consiguiente el uso de equipo primordial, rebasaron las expectativas, con base únicamente en la estimación de los trabajadores de campo. No obstante, se dispone de datos con los cuales confirmar o desmentir estos resultados de forma independiente.

Se practicó un ejercicio de comparación similar para el sector agrícola. Se compararon, de manera específica, las emisiones de  $\text{NO}_x$  del sector a escala estatal con los cálculos de la SAGARPA respecto de la superficie cultivada. El resultado de este ejercicio para el sector agrícola presentó mayores incongruencias que la evaluación del sector de la construcción. En numerosas entidades federales se registró una importante discrepancia entre el porcentaje relativo de emisiones de  $\text{NO}_x$  y la superficie de cultivo reportada. Por ejemplo, los estados como Chiapas, con prácticas agrícolas relativamente intensivas en trabajo (la producción de café, entre otras), registran una razón baja de emisiones de  $\text{NO}_x$  en relación con el área cultivada. Por otro lado, las entidades federativas con emisiones considerablemente más altas de  $\text{NO}_x$  en relación con la superficie cultivada podrían caracterizarse por tener una elevada concentración de cultivo en filas. Sería necesaria otra evaluación para determinar si los factores específicos de la producción como éstos son responsables de las diferencias observadas o si los datos

sobre tractores y bombas utilizados para elaborar el modelo son en sí imprecisos.

Para concluir, se llevaron a cabo las siguientes revisiones específicas para el aseguramiento de calidad:

- Se compararon las estimaciones de emisiones nacionales por consumo agrícola de diesel con los niveles pronosticados para la distribución de la maquinaria agrícola en México aplicando valores por omisión (por hora por año). Se identificó una concordancia dentro del rango de 15 por ciento.
- Las estimaciones de emisiones nacionales, estatales y municipales se revisaron para verificar que fueran razonables. También se hicieron comparaciones internas a escalas estatal y municipal.

#### **6.4 Resultados por estado y categoría de fuente**

Las emisiones para cada categoría de fuente móvil que no circula por carreteras (equipo agrícola y de construcción), por estado y por contaminante, se presentan en el apéndice E. Los resultados generales del inventario de emisiones de estas fuentes para México en 1999 se presentan en los cuadros 6-4 y 6-5.

El cuadro 6-4 refleja que los cinco estados con mayores emisiones totales de todos los contaminantes corresponden a Jalisco, Tamaulipas, Chihuahua, Distrito Federal e Hidalgo. A excepción del Distrito Federal, con un elevado grado de urbanización, estos estados tienen una importante contribución de emisiones a través de equipo agrícola de diesel (entre el 50 por ciento o más). En el Distrito Federal, más del 98 por ciento de las emisiones obedecen a equipo de construcción, con una aportación poco significativa del equipo agrícola.

El cuadro 6-4 indica que, en general, las emisiones de  $\text{NO}_x$  son sustancialmente más elevadas que las de COV, lo que en esencia refleja la importancia del equipo de alta potencia a diesel en el sector de la construcción. Asimismo, en términos relativos, las emisiones de CO son bajas, y altas las de PM (en comparación con los vehículos automotores), debido una vez más a la predominancia del uso de diesel en los sectores agrícola y de la construcción.

CUADRO 6-4. EMISIONES DE FUENTES MÓVILES QUE NO CIRCULAN POR CARRETERAS EN MÉXICO EN 1999, POR ESTADO

| ENTIDAD FEDERATIVA  | EMISIONES ANUALES (MG/AÑO) |                 |                 |                  |                  |                   |
|---------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|
|                     | NO <sub>x</sub>            | SO <sub>x</sub> | COV             | CO               | PM <sub>10</sub> | PM <sub>2.5</sub> |
| Aguascalientes      | 2,443.0                    | 32.5            | 321.0           | 1,407.3          | 339.1            | 328.9             |
| Baja California     | 9,564.6                    | 127.1           | 1,079.6         | 5,035.6          | 1,154.9          | 1,120.3           |
| Baja California Sur | 1,841.2                    | 24.4            | 224.0           | 1,011.2          | 236.5            | 229.4             |
| Campeche            | 2,775.1                    | 36.1            | 380.0           | 1,642.0          | 401.2            | 389.1             |
| Coahuila            | 8,737.6                    | 116.7           | 992.6           | 4,607.3          | 1,063.3          | 1,031.4           |
| Colima              | 1,517.1                    | 20.2            | 191.5           | 851.2            | 201.8            | 195.7             |
| Chiapas             | 2,225.2                    | 29.6            | 289.7           | 1,275.6          | 306.7            | 297.5             |
| Chihuahua           | 17,921.9                   | 235.4           | 2,428.9         | 10,546.9         | 2,524.8          | 2,449.0           |
| Distrito Federal    | 17,583.9                   | 235.5           | 1,817.0         | 8,833.7          | 1,997.2          | 1,937.4           |
| Durango             | 6,386.8                    | 84.5            | 950.0           | 3,983.9          | 980.9            | 951.5             |
| Guanajuato          | 7,758.3                    | 112.1           | 1,311.4         | 5,508.0          | 1,263.1          | 1,225.2           |
| Guerrero            | 1,832.0                    | 25.4            | 234.8           | 1,063.1          | 239.8            | 232.6             |
| Hidalgo             | 16,393.3                   | 217.1           | 2,198.2         | 9,570.9          | 2,400.8          | 2,328.8           |
| Jalisco             | 24,336.3                   | 319.5           | 3,327.9         | 14,384.6         | 3,621.0          | 3,512.3           |
| México              | 10,208.1                   | 135.2           | 1,374.3         | 5,968.0          | 1,503.6          | 1,458.5           |
| Michoacán           | 9,164.6                    | 119.6           | 1,380.0         | 5,761.2          | 1,507.2          | 1,462.0           |
| Morelos             | 3,346.7                    | 44.6            | 454.9           | 1,967.4          | 496.4            | 481.5             |
| Nayarit             | 4,514.5                    | 58.4            | 706.9           | 2,859.4          | 755.5            | 732.9             |
| Nuevo León          | 12,960.2                   | 173.0           | 1,407.0         | 6,679.2          | 1,522.3          | 1,476.7           |
| Oaxaca              | 5,807.4                    | 76.3            | 888.1           | 3,675.0          | 921.4            | 893.7             |
| Puebla              | 7,226.0                    | 95.4            | 903.5           | 3,891.2          | 1,001.4          | 971.4             |
| Querétaro           | 3,700.8                    | 49.3            | 452.3           | 2,040.2          | 481.7            | 467.2             |
| Quintana Roo        | 2,590.1                    | 34.6            | 283.6           | 1,339.8          | 305.9            | 296.7             |
| San Luis Potosí     | 8,317.6                    | 109.3           | 1,219.0         | 5,125.7          | 1,255.1          | 1,217.4           |
| Sinaloa             | 12,824.2                   | 166.1           | 1,757.6         | 7,614.0          | 1,822.9          | 1,768.2           |
| Sonora              | 10,253.9                   | 134.7           | 1,298.0         | 5,783.6          | 1,363.3          | 1,322.4           |
| Tabasco             | 4,117.3                    | 54.0            | 515.0           | 2,314.1          | 551.5            | 535.0             |
| Tamaulipas          | 18,387.0                   | 235.7           | 2,598.3         | 11,141.4         | 2,678.4          | 2,598.1           |
| Tlaxcala            | 3,563.6                    | 46.3            | 565.2           | 2,318.7          | 580.6            | 563.2             |
| Veracruz            | 12,775.2                   | 168.4           | 1,755.7         | 7,568.2          | 1,827.6          | 1,772.7           |
| Yucatán             | 3,408.2                    | 45.5            | 366.6           | 1,744.7          | 397.7            | 385.7             |
| Zacatecas           | 9,286.2                    | 123.3           | 1,496.3         | 6,090.3          | 1,536.4          | 1,490.3           |
| <b>Total</b>        | <b>263,767.8</b>           | <b>3,485.9</b>  | <b>35,169.1</b> | <b>153,603.5</b> | <b>37,240.1</b>  | <b>36,122.9</b>   |

CUADRO 6-5. EMISIONES DE FUENTES MÓVILES QUE NO CIRCULAN POR CARRETERAS EN MÉXICO EN 1999, POR CATEGORÍA

| CATEGORÍA DE FUENTE    | EMISIONES ANUALES (MG/AÑO) |                 |                 |                  |                  |                   |
|------------------------|----------------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|
|                        | NO <sub>x</sub>            | SO <sub>x</sub> | COV             | CO               | PM <sub>10</sub> | PM <sub>2.5</sub> |
| Equipo de construcción | 140,255.7                  | 1,879.8         | 14,440.5        | 69,981.2         | 15,795.8         | 15,322.0          |
| Equipo agrícola        | 123,512.2                  | 1,606.1         | 20,728.6        | 83,622.4         | 21,444.3         | 20,800.9          |
| <b>Total</b>           | <b>263,767.8</b>           | <b>3,485.9</b>  | <b>35,169.1</b> | <b>153,603.6</b> | <b>37,240.1</b>  | <b>36,122.9</b>   |

Por su parte, el cuadro 6-5 muestra que las emisiones generadas por maquinaria agrícola y de construcción son apenas comparables. Las emisiones de  $\text{NO}_x$  resultan algo más elevadas en el sector de la construcción debido a que, en comparación con los motores de la maquinaria agrícola, el equipo de construcción tiene una potencia relativamente alta. Las emisiones de PM resultaron más elevadas para el sector agrícola.

#### **6.4.1 Limitaciones en la información**

En la actualidad, el INEM incluye sólo equipo agrícola y de construcción en la categoría de fuentes móviles que no circulan por carreteras. Otras fuentes de ese tipo, como equipos utilizados en actividades industriales y comerciales, vehículos y botes recreativos, equipo de jardinería, equipo de servicios aeroportuarios, equipo portátil de perforación de pozos y equipo de silvicultura, han quedado fuera del inventario.

Los datos de actividad utilizados para las fuentes agrícolas (censos amplios de tractores y sistemas de irrigación) estuvieron disponibles a escala estatal; sin embargo, fue necesario extrapolarlos para obtener las estimaciones a escala municipal. Tales datos podrían mejorarse si se les compilara en el ámbito local. Independientemente de ello, hubo una estrecha concordancia entre el consumo de combustible registrado para este sector y el pronosticado a partir de los datos por omisión (por hora por año) del modelo NONROAD-México, lo cual aporta, en general, una mayor confiabilidad que la de los datos correspondientes a equipo de construcción.

Para las fuentes de construcción, los datos de actividad se basaron casi exclusivamente en información estadounidense extrapolada. No obstante, datos específicos para México obtenidos de investigaciones sobre equipo de construcción en Monterrey, así como indicadores indirectos también específicos para México, contribuyeron a una asignación sectorial relativamente precisa, cuando menos en el ámbito estatal. Investigaciones posteriores deberán identificar formas de obtener mejoras sustanciales en este sector, utilizando datos locales (por ejemplo, encuestas en sitio para cuantificar la distribución de equipo y características de la operación), sobre todo considerando las tasas de emisión relativamente elevadas en comparación con otras categorías de fuentes móviles que no circulan por carreteras.

Ahora bien, a pesar de que los factores de emisión para el equipo agrícola o de construcción se basan en estimaciones estadounidenses ajustadas para el modelo NONROAD-México, éstas bien pueden considerarse bastante acertadas. Las emisiones derivadas de la combustión en motores sin control de emisiones deben ser similares, independientemente del país en que tales motores se utilicen. Asimismo, los factores de carga han de ser similares también, ya que el equipo se utiliza para tareas similares en ambos países. Algunas diferencias potencialmente significativas podrían derivarse de distintos factores de uso por hora por año, o de diferentes tasas de retiro de los motores, lo que daría lugar a tasas de deterioro divergentes.