

CAPÍTULO 3

COMBUSTIÓN MÓVIL

Autores

Generalidades

Christina Davies Waldron (Estados Unidos)

Jochen Harnisch (Alemania), Oswaldo Lucon (Brasil), R. Scott McKibbin (Canadá), Sharon B. Saile (Estados Unidos), Fabian Wagner (Alemania), y Michael P. Walsh (Estados Unidos)

Transporte todo terreno

Christina Davies Waldron (Estados Unidos)

Jochen Harnisch (Alemania), Oswaldo Lucon (Brasil), R. Scott McKibbin (Canadá), Sharon Saile (Estados Unidos), Fabian Wagner (Alemania), y Michael Walsh (Estados Unidos)

Ferrocarriles

Christina Davies Waldron (Estados Unidos)

Jochen Harnisch (Alemania), Oswaldo Lucon (Brasil), R. Scott McKibbin (Canadá), Sharon B. Saile (Estados Unidos), Fabian Wagner (Alemania), y Michael P. Walsh (Estados Unidos)

Navegación marítima y fluvial

Lourdes Q. Maurice (Estados Unidos)

Leif Hockstad (Estados Unidos), Niklas Höhne (Alemania), Jane Hupe (OACI), David S. Lee (Reino Unido), y Kristin Rypdal (Noruega)

Aviación civil

Lourdes Q. Maurice (Estados Unidos)

Leif Hockstad (Estados Unidos), Niklas Höhne (Alemania), Jane Hupe (OACI), David S. Lee (Reino Unido), y Kristin Rypdal (Noruega)

Autores colaboradores

Transporte terrestre, transporte todo terreno y ferrocarriles

Manmohan Kapshe (India)

Navegación marítima y fluvial y aviación civil

Daniel M. Allyn (Estados Unidos) Maryalice Locke (Estados Unidos), Stephen Lukachko (Estados Unidos), y Stylianos Pasmajoglou (CMNUCC)

Índice

3	Combustión móvil	
3.1	Generalidades	3.8
3.2	Transporte terrestre	3.10
3.2.1	Cuestiones metodológicas	3.10
3.2.1.1	Elección del método	3.10
3.2.1.2	Elección de los factores de emisión	3.16
3.2.1.3	Elección de los datos de la actividad	3.25
3.2.1.4	Exhaustividad	3.28
3.2.1.5	Desarrollo de una serie temporal coherente	3.29
3.2.2	Evaluación de incertidumbre	3.29
3.2.3	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC) del inventario	3.30
3.2.4	Generación de informes y documentación	3.32
3.2.5	Cuadros para la generación de informes y hojas de trabajo	3.32
3.3	Transporte todo terreno	3.32
3.3.1	Cuestiones metodológicas	3.32
3.3.1.1	Elección del método	3.32
3.3.1.2	Elección de los factores de emisión	3.35
3.3.1.3	Elección de los datos de la actividad	3.36
3.3.1.4	Exhaustividad	3.37
3.3.1.5	Desarrollo de una serie temporal coherente	3.37
3.3.2	Evaluación de incertidumbre	3.38
3.3.2.1	Incertidumbre de los datos de la actividad	3.38
3.3.3	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC) del inventario	3.38
3.3.4	Generación de informes y documentación	3.39
3.3.5	Cuadros para la generación de informes y hojas de trabajo	3.39
3.4	Ferrocarriles	3.39
3.4.1	Cuestiones metodológicas	3.40
3.4.1.1	Elección del método	3.40
3.4.1.2	Elección de los factores de emisión	3.42
3.4.1.3	Elección de los datos de la actividad	3.44
3.4.1.4	Exhaustividad	3.45
3.4.1.5	Desarrollo de una serie temporal coherente	3.45
3.4.1.6	Evaluación de incertidumbre	3.45
3.4.2	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC) del inventario	3.46
3.4.3	Generación de informes y documentación	3.46
3.4.4	Cuadros para la generación de informes y hojas de trabajo	3.47
3.5	Navegación marítima y fluvial	3.47

3.5.1	Cuestiones metodológicas	3.47
3.5.1.1	Elección del método.....	3.47
3.5.1.2	Elección de los factores de emisión	3.50
3.5.1.3	Elección de los datos de la actividad	3.50
3.5.1.4	Militares.....	3.53
3.5.1.5	Exhaustividad	3.53
3.5.1.6	Desarrollo de una serie temporal coherente	3.53
3.5.1.7	Evaluación de incertidumbre	3.54
3.5.2	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC) del inventario	3.54
3.5.3	Generación de informes y documentación	3.55
3.5.4	Cuadros para la generación de informes y hojas de trabajo	3.55
3.5.5	Definiciones de los términos específicos.....	3.56
3.6	Aviación civil.....	3.56
3.6.1	Cuestiones metodológicas	3.57
3.6.1.1	Elección del método.....	3.57
3.6.1.2	Elección de los factores de emisión	3.64
3.6.1.3	Elección de los datos de la actividad	3.64
3.6.1.4	Aviación militar	3.66
3.6.1.5	Exhaustividad	3.68
3.6.1.6	Desarrollo de una serie temporal coherente	3.68
3.6.1.7	Evaluación de incertidumbre	3.69
3.6.2	Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC) del inventario	3.69
3.6.3	Generación de informes y documentación	3.73
3.6.4	Cuadros para la generación de informes y hojas de trabajo	3.73
3.6.5	Definiciones de los términos específicos.....	3.74
Referencias	3.74

Ecuaciones

Ecuación 3.2.1	CO ₂ del transporte terrestre	3.12
Ecuación 3.2.2	CO ₂ procedente de los conversores en base a urea.....	3.12
Ecuación 3.2.3	Emisiones de Nivel 1 de ch ₄ y n ₂ O.....	3.13
Ecuación 3.2.4	Emisiones de Nivel 2 de ch ₄ y n ₂ O.....	3.13
Ecuación 3.2.5	Emisiones de Nivel 3 de ch ₄ y n ₂ O.....	3.15
Ecuación 3.2.6	Validación del consumo de combustible	3.26
Ecuación 3.3.1	Estimación de emisiones del Nivel 1.....	3.33
Ecuación 3.3.2	Estimación de emisiones del Nivel 2.....	3.33
Ecuación 3.3.3	Estimación de emisiones del Nivel 3.....	3.34
Ecuación 3.3.4	Emisiones procedentes de los conversores catalíticos en base a urea	3.35
Ecuación 3.4.1	Método general para las emisiones procedentes de las locomotoras.....	3.41
Ecuación 3.4.2	Método de Nivel 2 para el ch ₄ y n ₂ O procedente de las locomotoras.....	3.42
Ecuación 3.4.3	Ejemplo de Nivel 3 de método para el ch ₄ y n ₂ O procedente de las locomotoras	3.42
Ecuación 3.4.4	Ponderación de los factores de emisión de ch ₄ y n ₂ O para tecnologías específicas	3.43
Ecuación 3.4.5	Estimación del consumo de combustible de las locomotoras de maniobras	3.44
Ecuación 3.5.1	Ecuación para la navegación marítima y fluvial.....	3.47
Ecuación 3.6.1	(Ecuación para la aviación 1).....	3.59
Ecuación 3.6.2	(Ecuación para la aviación 2).....	3.59
Ecuación 3.6.3	(Ecuación para la aviación 3).....	3.59
Ecuación 3.6.4	(Ecuación para la aviación 4).....	3.59
Ecuación 3.6.5	(Ecuación para la aviación 5).....	3.59

Figuras

Figura 3.2.1	Pasos para estimar las emisiones del transporte terrestre.....	3.11
Figura 3.2.2	Árbol de decisión para las emisiones de CO ₂ procedentes de la quema de combustible en los vehículos terrestres	3.11
Figura 3.2.3	Árbol de decisión para las emisiones de CH ₄ y N ₂ O de los vehículos terrestres	3.14
Figura 3.3.1	Árbol de decisión para estimar las emisiones procedentes de los vehículos todo terreno	3.34
Figura 3.4.1	Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO ₂ procedentes de los ferrocarriles.....	3.40
Figura 3.4.2	Árbol de decisión para estimar las emisiones de CH ₄ y N ₂ O procedentes de los ferrocarriles.....	3.41
Figura 3.5.1	Árbol de decisión para las emisiones procedentes de la navegación marítima y fluvial	3.49
Figura 3.6.1	Árbol de decisión para estimar las emisiones procedentes de las aeronaves (aplicado a cada gas de efecto invernadero).....	3.60
Figura 3.6.2	Estimación de las emisiones procedentes de las aeronaves con el método de Nivel 2	3.62

Cuadros

Cuadro 3.1.1	División detallada correspondiente al sector del transporte.....	3.8
Cuadro 3.2.1	Factores de emisión de CO ₂ por defecto del transporte terrestre y rangos de incertidumbre ^a	3.16
Cuadro 3.2.2	Factores de emisión por defecto de N ₂ O y CH ₄ del transporte terrestre y rangos de incertidumbre ^(a)	3.21
Cuadro 3.2.3	Factores de emisión de N ₂ O y CH ₄ para los vehículos diesel y a gasolina de los Estados Unidos.....	3.22
Cuadro 3.2.4	Factores de emisión para los vehículos que funcionan con combustibles alternativos (mg/km)	3.23
Cuadro 3.2.5	Factores de emisión para los vehículos diesel y a gasolina europeos (mg/km), modelo copert iv	3.24
Cuadro 3.3.1	Factores de emisión por defecto para las fuentes y maquinaria móviles todo terreno ^(a)	3.36
Cuadro 3.4.1	Factores de emisión por defecto para los combustibles más comunes usados para el transporte ferroviario.....	3.43
Cuadro 3.4.2	Factores de ponderación de contaminantes como funciones de los parámetros de diseño de motores para motores sin controlar (sin dimensión)	3.43
Cuadro 3.5.1	Estructura de la categoría de fuente	3.48
Cuadro 3.5.2	Factores de emisión del CO ₂	3.50
Cuadro 3.5.3	Factores de emisión por defecto del CH ₄ y N ₂ O procedentes de la navegación marítima y fluvial	3.50
Cuadro 3.5.4	Criterios para definir la navegación marítima y fluvial internacional o nacional (se aplican a cada segmento de un viaje con escala en más de dos puertos) *	3.51
Cuadro 3.5.5	Consumo promedio de combustible por tipo de motor (barcos >500 grt)	3.52
Cuadro 3.5.6	Factores de consumo de combustible, potencia total	3.52
Cuadro 3.6.1	Categorías de fuente.....	3.58
Cuadro 3.6.2	Requisitos de datos para los diferentes niveles	3.58
Cuadro 3.6.3	Correspondencia entre las aeronaves representativas y otros tipos de aeronaves	3.63
Cuadro 3.6.4	Factores de emisión del CO ₂	3.64
Cuadro 3.6.5	Factores de emisión no CO ₂	3.64
Cuadro 3.6.6	Criterios para definir la aviación internacional o de cabotaje (se aplican a cada etapa individual de los viajes con más de un aterrizaje y despegue).....	3.65
Cuadro 3.6.7	Factores de consumo de combustible para aeronaves militares	3.67
Cuadro 3.6.8	Consumo de combustible por hora de vuelo para aeronaves militares	3.67
Cuadro 3.6.9	Factores de emisión de Lto para aeronaves típicas	3.70
Cuadro 3.6.10	Factores de emisión de NO _x para diversas aeronaves a niveles de crucero	3.72

Recuadros

Recuadro 3.2.1	Ejemplos del uso del biocombustible en el transporte terrestre.....	3.18
Recuadro 3.2.2	Refinación de los factores de emisión para las fuentes móviles en los países en desarrollo .	3.20
Recuadro 3.2.3	Curvas de deterioro de los vehículos (desguase).....	3.28
Recuadro 3.2.4	Lubricantes en la combustión móvil.....	3.29
Recuadro 3.3.1	Modelo de emisiones Nonroad (usepa)	3.37
Recuadro 3.3.2	La experiencia canadiense con el modelo Nonroad	3.38
Recuadro 3.4.1	Ejemplo del método de Nivel 3	3.44

3 COMBUSTIÓN MÓVIL

3.1 GENERALIDADES

Las fuentes móviles producen emisiones de gases directos de efecto invernadero de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) procedentes de la quema de diversos tipos de combustible, así como varios otros contaminantes como el monóxido de carbono (CO), los compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), el dióxido de azufre (SO₂), la materia particulada (PM) y los óxidos de nitrato (NO_x), que causan o contribuyen a la contaminación del aire local o regional. Este capítulo cubre la *buena práctica* en materia de desarrollo de estimaciones para los gases directos de efecto invernadero CO₂, CH₄, y N₂O. Para los gases indirectos de efecto invernadero y las sustancias precursoras CO, COVDM, SO₂, PM, y NO_x, véase el Volumen 1 Capítulo 7. Este capítulo no aborda las emisiones no energéticas procedentes del aire acondicionado móvil, que cubre el Volumen IPPU (Volumen 3, Capítulo 7).

Las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la combustión móvil se estiman más fácilmente por la actividad principal de transporte, es decir, terrestre, todo terreno, aéreo, ferrocarril y navegación marítima y fluvial. La descripción de fuente (Cuadro 3.1.1) muestra la diversidad de las fuentes móviles y el abanico de características que afectan los factores de emisión. El trabajo reciente ha actualizado y reforzado los datos. A pesar de estos avances, se requiere más trabajo para subsanar muchas brechas existentes en el conocimiento de las emisiones procedentes de ciertos tipos de vehículos y de los efectos del envejecimiento sobre el control catalítico de las emisiones producto de los vehículos terrestres. Igualmente, es posible que la información sobre los factores de emisión adecuados para el transporte terrestre en los países en desarrollo requiera un mayor refuerzo, puesto que allí la antigüedad de la flota, el mantenimiento, el contenido de azufre del combustible y los patrones de utilización difieren de aquellos de los países industrializados.

CUADRO 3.1.1				
DIVISIÓN DETALLADA CORRESPONDIENTE AL SECTOR DEL TRANSPORTE				
Código y nombre			Explicación	
1 A 3	<i>TRANSPORTE</i>			Emisiones de la quema y evaporación de combustible para todas las actividades de transporte (a exclusión del transporte militar), independientemente del sector, especificado por las subcategorías que se presentan a continuación. Deben excluirse, lo máximo posible, las emisiones de combustible vendido a cualquier aeronave o nave marítima dedicada al transporte internacional (1 A 3 a j y 1 A 3 d i) de los totales y subtotales de esta categoría; se las debe declarar por separado.
1 A 3	a	Aviación civil		Emisiones de la aviación civil internacional y de cabotaje, incluidos despegues y aterrizajes. Abarca el uso civil comercial de aviones, incluido: tráfico regular y charter para pasajeros y carga, taxis aéreos y aviación general. La división entre vuelos internacionales/de cabotaje debe determinarse en base a los lugares de salida y de llegada de cada etapa de vuelo y no por la nacionalidad de la línea aérea. Queda excluido el uso de combustible para transporte terrestre en los aeropuertos, que se declara en 1 A 3 e, Otros transportes. Quedan también excluidos los combustibles para quema estacionaria en aeropuertos; esto se declara en la categoría adecuada de combustión estacionaria.
1 A 3	a	i	<i>Aviación internacional (Tanques de combustible internacional)</i>	Emisiones de vuelos que salen desde un país y llegan a otro. Incluyen despegues y aterrizajes para estas etapas de vuelo. Se pueden incluir las emisiones de la aviación militar internacional como subcategoría separada de la aviación internacional, siempre y cuando se aplique la misma distinción en las definiciones y haya datos disponibles para respaldar la definición.
1 A 3	a	ii	<i>Aviación de cabotaje</i>	Emisiones del tráfico civil de cabotaje de pasajeros y de carga que aterriza y llega al mismo país (vuelos comerciales, privados, agrícolas, etc.), incluyendo despegues y aterrizajes para estas etapas de vuelo. Nótese que puede incluir viajes de considerable extensión entre dos aeropuertos de un país (p. ej., de San Francisco a Honolulu). Excluye los militares, que deben declararse en 1 A 5 b.
1 A 3	b	Transporte terrestre		Todas las emisiones de la quema y la evaporación que emanan del uso de combustibles en vehículos terrestres, incluido el uso de vehículos agrícolas sobre carreteras pavimentadas.
1 A 3	b	i	<i>Automóviles</i>	Emisiones de automóviles designados como tales en el país que los registra principalmente para el transporte de personas y habitualmente con una capacidad de 12 personas o menos.
1 A 3	b	i	1 Automóviles de pasajeros con catalizadores tridireccionales	Emisiones de automóviles para pasajeros con catalizadores de 3 vías
1 A 3	b	i	2 Automóviles de pasajeros sin catalizadores tridireccionales	Emisiones de automóviles para pasajeros sin catalizadores de 3 vías

CUADRO 3.1.1 (CONTINUACIÓN)			
DIVISIÓN DETALLADA CORRESPONDIENTE AL SECTOR DEL TRANSPORTE			
Código y nombre			Explicación
1 A 3	b	ii	<i>Camiones para servicio ligero</i> Emisiones de vehículos designados como tales en el país que los registra principalmente para el transporte de cargas ligeras o que están equipados con características especiales tales como tracción en las cuatro ruedas para operación fuera de carreteras. El peso bruto del vehículo suele oscilar entre los 3500 y los 3900 kg o menos.
1 A 3	b	ii 1	<i>Camiones para servicio ligero con catalizadores tridireccionales</i> Emisiones de camiones ligeros con catalizadores tridireccionales
1 A 3	b	ii 2	<i>Camiones para servicio ligero sin catalizadores tridireccionales</i> Emisiones de camiones ligeros sin catalizadores tridireccionales
1 A 3	b	iii	<i>Camiones para servicio pesado y autobuses</i> Emisiones de todos los vehículos designados como tales en el país en que están registrados. Habitualmente, el peso bruto del vehículo oscila entre los 3500 y los 3900 kg o más para camiones pesados y los autobuses están calificados para transportar a más de 12 personas.
1 A 3	b	iv	<i>Motocicletas</i> Emisiones de todo vehículo motorizado diseñado para viajar con no más de 3 ruedas en contacto con el pavimento y que pese menos de 680 kg.
1 A 3	b	v	<i>Emisiones por evaporación procedentes de vehículos</i> Aquí se incluyen las emisiones de vehículos por evaporación (p. ej., remojos calientes, pérdidas). Se excluyen las emisiones producidas al cargar combustible a los vehículos.
1 A 3	b	vi	<i>Catalizadores en base a urea</i> Emisiones de CO ₂ por el uso de aditivos en base a urea en conversores catalíticos (emisiones no combustivas).
1 A 3	c	Ferrocarriles Emisiones del transporte por ferrocarriles, tanto en rutas de tráfico de carga como de pasajeros.	
1 A 3	d	Navegación marítima y fluvial Emisiones de combustibles usados para impulsar naves marítimas y fluviales, incluyendo aerodeslizadores y aliscafos, pero excluyendo naves pesqueras. La división entre rutas internacionales/nacionales debe determinarse en base a los puertos de salida y de llegada y no por la bandera o nacionalidad del barco.	
1 A 3	d	i	<i>Navegación marítima y fluvial internacional (Tanques de combustible internacional)</i> Emisiones de combustibles usados por naves de todas las banderas que se dedican a la navegación internacional marítima y fluvial. La navegación internacional puede ser en mares, lagos internos o vías fluviales o por aguas costeras. Incluye las emisiones de viajes que salen desde un país y llegan a otro. Excluye el consumo de barcos pesqueros (véase Otros sectores – Pesca). Se pueden incluir las emisiones de la navegación marítima y fluvial militar internacional como subcategoría aparte de la navegación internacional, siempre y cuando se aplique la misma distinción en las definiciones y haya datos disponibles para respaldar la definición.
1 A 3	d	ii	<i>Navegación marítima y fluvial nacional</i> Emisiones de combustibles usados por barcos de todas las banderas que salen y llegan dentro de un mismo país (excluye la pesca, que debe declararse bajo 1 A 4 c iii y los viajes militares, que deben declararse en 1 a 5 b). Nótese que puede incluir viajes de considerable extensión entre dos puertos de un país (p. ej., de San Francisco a Honolulu).
1 A 3	e	Otro tipo de transporte Las emisiones por la quema de todas las demás actividades de transporte, incluidos el transporte por tuberías, las actividades terrestres en aeropuertos y puertos y las actividades en rutas no pavimentadas no declaradas en 1 A 4 c, Agricultura, o 1 A 2, Industrias manufactureras y construcción. El transporte militar debe declararse en 1 A 5 (véase 1 A 5, No especificado).	
1 A 3	e	i	<i>Transporte por tuberías</i> Emisiones vinculadas a la quema de la operación de estaciones de bombeo y mantenimiento de tuberías. El transporte mediante tuberías incluye el transporte de gases, líquidos, desechos cloacales y otros productos básicos. Se excluye la distribución de gas natural o elaborado, agua, o vapor, desde el distribuidor a los usuarios finales, que deben declararse en 1 A 1 c ii o en 1 A 4 a.
1 A 3	e	ii	<i>Todo terreno</i> Emisiones de quema de Otros transportes, a exclusión del transporte por tuberías.
1 A 4	c	iii	<i>Pesca (combustión móvil)</i> Emisiones de combustible que se usa en pesca de cabotaje, costera y en alta mar. La pesca debe cubrir las naves de todas las banderas que hayan repostado en el país (incluida la pesca internacional).

CUADRO 3.1.1 (CONTINUACIÓN)				
DIVISIÓN DETALLADA CORRESPONDIENTE AL SECTOR DEL TRANSPORTE				
Código y nombre				Explicación
1 A 5	a		<i>Estacionaria no especificada</i>	Emisiones de quema de combustibles en fuentes estacionarias que no se hayan especificado en otro lugar.
1 A 5	b		<i>Móvil no especificada</i>	Emisiones móviles de vehículos y otras maquinarias, marina y aviación (que no se hayan incluido en 1 A 4 c ii o en ningún otro lugar). Incluye las emisiones procedentes del combustible entregado para la aviación y la navegación marítima y fluvial a las fuerzas militares del país, así como el combustible entregado dentro de ese país pero utilizado por las fuerzas militares de otros países no participantes.
			Operaciones multilaterales (Elemento recordatorio)	Operaciones multilaterales. Emisiones procedentes de los combustibles utilizados para la aviación y la navegación marítima y fluvial en las operaciones multilaterales, conforme a la Carta de las Naciones Unidas. Incluye las emisiones de combustible entregado a los militares del país y a los militares de otros países.

3.2 TRANSPORTE TERRESTRE

La categoría de fuentes móviles Transporte terrestre incluye todos los tipos de vehículos para servicio ligero, como automóviles y camiones para servicio ligero, y los vehículos para servicio pesado, como los tractores de remolque y los autobuses, y las motocicletas de ciudad (incluidos los ciclomotores, scooters y triciclos). Estos vehículos funcionan con muchos tipos de combustibles gaseosos y líquidos. Además de las emisiones procedentes de la quema de combustible, también se aborda en esta sección las emisiones asociadas con el uso del convertidor catalítico en los vehículos terrestres (p. ej., emisiones de CO₂ procedentes de los convertidores catalíticos que usan urea)¹.

3.2.1 Cuestiones metodológicas

Las metodologías fundamentales para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los vehículos terrestres, que se presentan en la Sección 3.2.1.1, no se han modificado desde la publicación de las *Directrices del IPCC de 1996* y la *GPG2000*, con la excepción de que, según se analiza en la Sección 3.2.1.2, los factores de emisión ahora presuponen la oxidación completa del combustible. Ello responde a la necesidad de garantizar la coherencia con el capítulo Combustión estacionaria de este Volumen. El método para estimar las emisiones de CO₂ de los convertidores catalíticos que utilizan urea, una fuente de emisiones, no fue abordado con anterioridad.

Las emisiones estimadas procedentes del transporte terrestre pueden basarse en dos conjuntos de datos independientes: combustible vendido (véase la sección 3.2.1.3) y los kilómetros recorridos por el vehículo. Si ambos conjuntos están disponibles, es importante comprobar que sean comparables, de lo contrario las estimaciones de los diferentes gases pueden resultar incoherentes. Se describe este paso (Figura 3.2.1) en las secciones 3.2.1.3 y 3.2.3. Es una *buen práctica* realizar este paso de validación si están disponibles los datos acerca de los kilómetros del vehículo.

3.2.1.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Es posible estimar las emisiones a partir del combustible consumido (representado por el combustible vendido) o la distancia recorrida por los vehículos. En general, el primer método (combustible vendido) es adecuado para el CO₂ y el segundo (distancia recorrida por tipo de vehículo y de carretera) es adecuado para el CH₄ y el N₂O.

EMISIONES DE CO₂

La mejor forma de calcular las emisiones de CO₂ es sobre la base de la cantidad y el tipo de combustible quemado (que se considera igual al combustible vendido, véase la sección 3.2.1.3) y su contenido de carbono. La Figura 3.2.2 muestra el árbol de decisión del CO₂ que guía la elección del método de Nivel 1 o 2. A continuación se define cada nivel.

¹ El consumo de urea para los convertidores catalíticos de los vehículos se relaciona directamente con el consumo y la tecnología de combustible del vehículo.

Figura 3.2.1 Pasos para estimar las emisiones del transporte terrestre

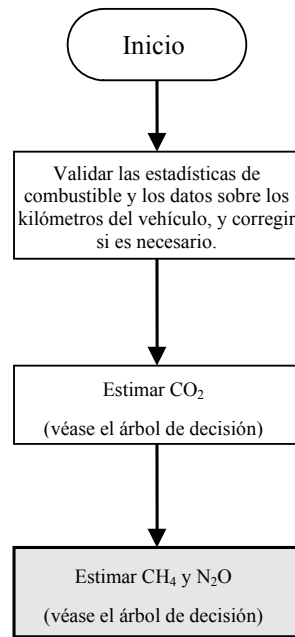
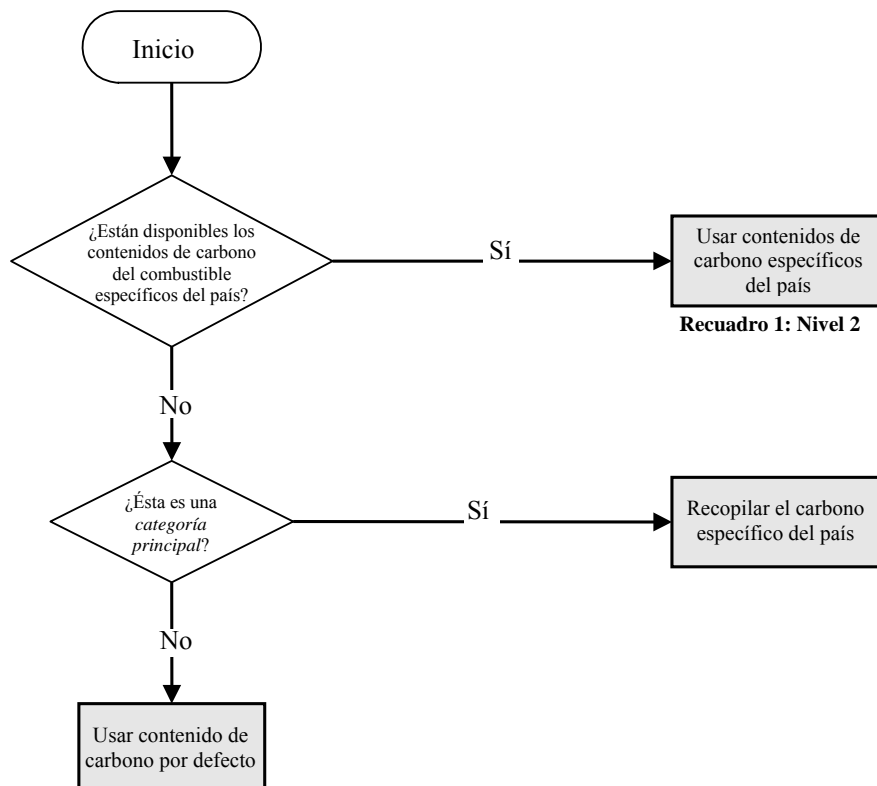


Figura 3.2.2 Árbol de decisión para las emisiones de CO₂ procedentes de la quema de combustible en los vehículos terrestres



Nota: Véase el Volumen 1, Capítulo 4, «Opción metodológica e identificación de categorías principales» (principalmente la sección 4.1.2 relativa a los recursos limitados) para conocer el análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión.

El método de Nivel 1 calcula las emisiones de CO₂ multiplicando el combustible estimado que se vende con un factor de emisión de CO₂ por defecto. Se representa el método en la Ecuación 3.2.1.

ECUACIÓN 3.2.1
CO₂ DEL TRANSPORTE TERRESTRE

$$Emisión = \sum_a [Combustible_a \cdot EF_a]$$

Donde:

Emisión	= Emisiones de CO ₂ (kg)
Combustible _a	= combustible vendido (TJ)
EF _a	= factor de emisión (kg/TJ). Es igual al contenido de carbono del combustible multiplicado por 44/12.
a	= tipo de combustible (p. ej., gasolina, diesel, gas natural, GLP, etc.)

El factor de emisión de CO₂ toma en cuenta todo el carbono del combustible, incluido el que se emite en forma de CO₂, CH₄, CO, COVDM y materia particulada². Todo carbono presente en el combustible derivado de la biomasa debe declararse como elemento informativo y no incluirse en los totales por sectores o nacionales, para evitar el cómputo doble, puesto que las emisiones netas de la biomasa ya se justifican en el sector AFOLU (véase la sección 3.2.1.4 Exhaustividad).

El método de Nivel 2 es igual al Nivel 1, con la excepción de que se utiliza el contenido de carbono específico del país del combustible vendido en el transporte terrestre. La Ecuación 3.2.1 aún se aplica, pero el factor de emisión se basa en el contenido real de carbono de los combustibles consumidos (según lo representa el combustible vendido) en el país, durante el año del inventario. En el Nivel 2, es posible ajustar los factores de emisión de CO₂ de forma de justificar el carbono sin oxidar o el carbono emitido como gas no CO₂.

No hay Nivel 3, puesto que no es posible producir resultados significativamente mejores para el CO₂ que utilizando el Nivel 2 existente. Para reducir las incertidumbres, los esfuerzos deben estar dirigidos al contenido de carbono y a mejorar los datos acerca del combustible vendido. Otro componente principal en materia de incertidumbre es el uso de combustible de transporte para fines no terrestres.

EMISIONES DE CO₂ PROCEDENTES DE LOS CATALIZADORES EN BASE A UREA

Para estimar las emisiones de CO₂ del uso de aditivos en base a urea en los conversores catalíticos (emisiones no combustivas), es una *buena práctica* usar la Ecuación 3.2.2:

ECUACIÓN 3.2.2
CO₂ PROCEDENTE DE LOS CONVERTORES EN BASE A UREA

$$Emisión = Actividad \cdot \frac{12}{60} \cdot Pureza \cdot \frac{44}{12}$$

Donde:

Emisiones	= Emisiones de CO ₂ del aditivo en base a urea de los conversores catalíticos (Gg CO ₂)
Actividad	= cantidad de aditivo basado en urea consumido para usar en conversores catalíticos (Gg)
Pureza	= la fracción de masa (= porcentaje dividido por 100) de urea en el aditivo basado en urea

El factor (12/60) captura la conversión estequiométrica de la urea (CO(NH₂)₂) al carbono, mientras que el factor (44/12) convierte el carbono en CO₂. En promedio, el nivel de actividad es de 1 a 3 por ciento de consumo de diesel por vehículo. Se puede tomar el treinta y dos como cinco por ciento como pureza por defecto, en el caso de que no estén disponibles los valores específicos del país (Peckham, 2003). Puesto que lo dicho se basa en las propiedades de los materiales utilizados, no hay niveles para esta fuente.

EMISIONES DE CH₄ Y N₂O

Las emisiones de CH₄ y N₂O son más difíciles de estimar con exactitud que las del CO₂ porque los factores de emisión dependen de la tecnología del vehículo, del combustible y de las condiciones de uso. Tanto los datos de la actividad

² Las investigaciones efectuadas sobre los balances de masa de carbono para los automóviles y camiones a gasolina de servicio ligero de los Estados Unidos indican que «la fracción de carbono sólido (sin oxidar) es insignificante» USEPA (2004a). No se ocupó de los motores de dos tiempos ni de otros combustibles aparte de la gasolina. En la Sección 1.4.2.1 del volumen Energía, capítulo Introducción, se incluye un examen adicional de la hipótesis de oxidación del ciento por ciento.

basados en la distancia (p. ej., vehículo-kilómetros recorridos) como el consumo de combustible desagregado pueden ser considerablemente menos seguros que todo el combustible vendido.

Las emisiones de CH₄ y N₂O se ven significativamente afectadas por la distribución de los controles de emisión de la flota. De esta forma, los niveles superiores utilizan un método que toma en cuenta las poblaciones de diferentes tipos de vehículos y sus distintas tecnologías de control de la contaminación.

Aunque las emisiones de CO₂ del carbono biogénico no estén incluidas en los totales nacionales, la quema de biocombustibles en las fuentes móviles genera CH₄ y N₂O antropogénicos, que deben calcularse y declararse en las estimaciones de las emisiones.

El árbol de decisión de la Figura 3.2.3 presenta la elección del método para calcular las emisiones de CH₄ y N₂O. El compilador del inventario debe seleccionar el método sobre la base de la existencia y la calidad de los datos. Los niveles se definen en las ecuaciones correspondientes 3.2.3 a 3.2.5, que se presentan a continuación.

Es posible usar tres métodos alternativos para estimar las emisiones de CH₄ y N₂O de los vehículos terrestres: uno se basa en los kilómetros recorridos por el vehículo (KRV) y dos en el combustible vendido. El método de Nivel 3 exige datos detallados específicos del país para generar factores de emisión basados en la actividad para las subcategorías de vehículos, y puede incluir los modelos nacionales. El Nivel 3 calcula las emisiones multiplicando los factores de emisión por niveles de actividad del vehículo (p. ej., KRV) para cada subcategoría de vehículo y posible tipo de carretera. Las subcategorías de vehículos se basan en el tipo, la antigüedad y la tecnología de control de emisiones del vehículo. El método de Nivel 2 utiliza los factores de emisión basados en el combustible, específicos de las subcategorías de vehículos. Puede utilizarse el Nivel 1, que emplea factores de emisión basados en el combustible, si no es posible estimar el consumo de combustible por tipo de vehículo.

La ecuación correspondiente al método de Nivel 1 para estimar el CH₄ y N₂O de los vehículos terrestres puede expresarse de este modo:

ECUACIÓN 3.2.3
EMISIONES DE NIVEL 1 DE CH₄ Y N₂O

$$Emisión = \sum_a [Combustible_a \cdot EF_a]$$

Donde:

- Emisiones = emisión en kg
- EF_a = factor de emisión (kg/TJ)
- Combustible_a = combustible consumido, (TJ) (representado por el combustible vendido)
- a = tipo de combustible a (p. ej., diesel, gasolina, gas natural, GLP)

La Ecuación 3.2.3 correspondiente al método de Nivel 1 implica los siguientes pasos:

- Paso 1: determinar la cantidad de combustible consumido por tipo de combustible para el transporte terrestre, mediante datos nacionales o, como alternativa, fuentes de datos internacionales de la AIE o la ONU (deben declararse todos los valores en terajulios).
- Paso 2: para cada tipo de combustible, multiplicar la cantidad de combustible consumido por los factores de emisión por defecto de CH₄ y N₂O adecuados. Los factores de emisión por defecto pueden encontrarse en la Sección siguiente, 3.2.1.2 (Factores de emisión).
- Paso 3: las emisiones de cada contaminante se suman en todos los tipos de combustible.

La ecuación de emisión para el Nivel 2 es:

ECUACIÓN 3.2.4
EMISIONES DE NIVEL 2 DE CH₄ Y N₂O

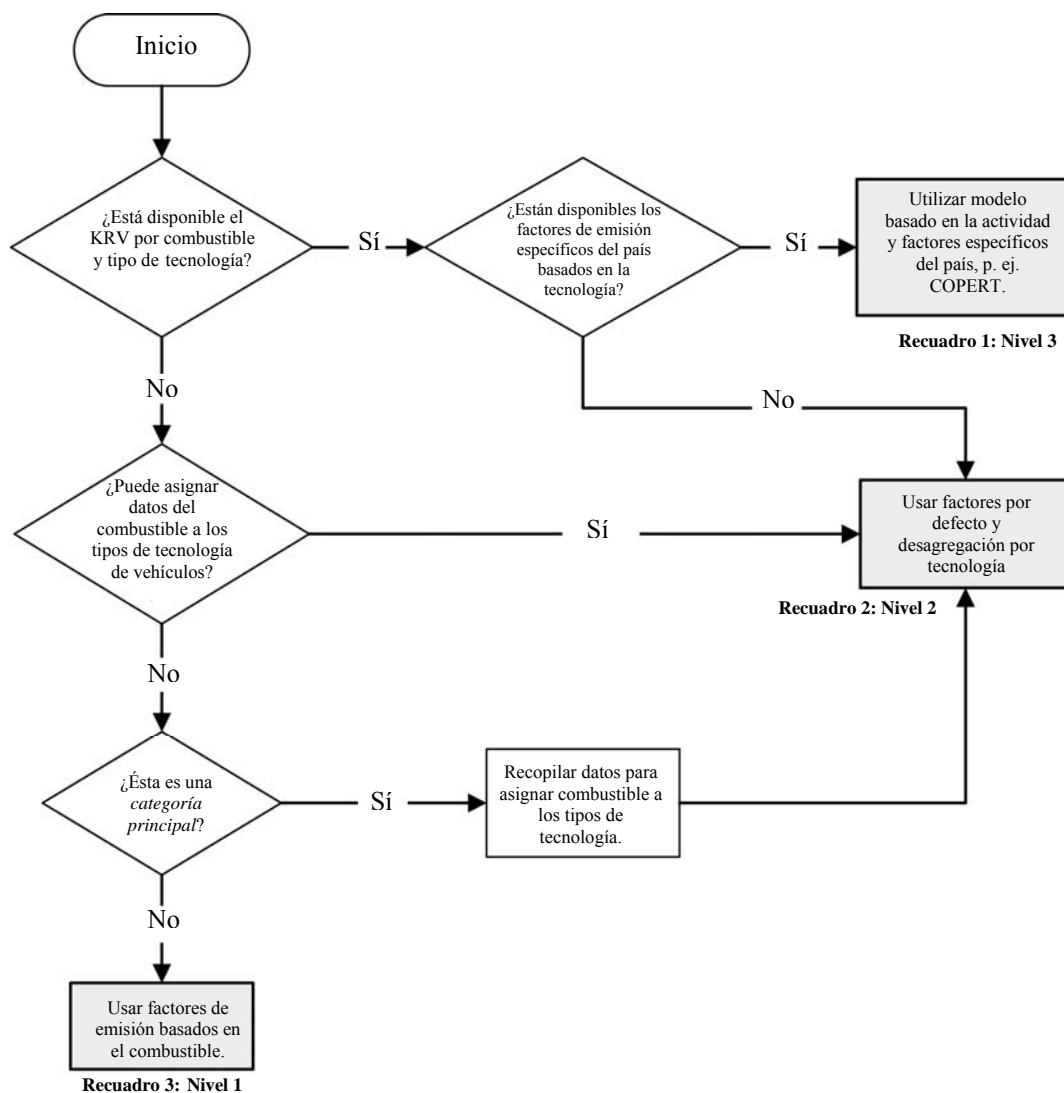
$$Emisión = \sum_{a,b,c} [Combustible_{a,b,c} \cdot EF_{a,b,c}]$$

Donde:

- Emisión = emisión en kg
- EF_{a,b,c} = factor de emisión (kg/TJ)
- Combustible_{a,b,c} = combustible consumido (TJ) (representado por el combustible vendido) para una actividad de fuente móvil dada
- a = tipo de combustible a (p. ej., diesel, gasolina, gas natural, GLP)

- b = tipo de vehículo
- c = tecnología de control de emisiones (como convertor catalítico no controlado, etc.)

Figura 3.2.3 **Árbol de decisión para las emisiones de CH₄ y N₂O de los vehículos terrestres**



Notas:

1. Véase el Volumen 1, Capítulo 4, «Opción metodológica e identificación de categorías principales» (principalmente la sección 4.1.2 relativa a los recursos limitados) para conocer el análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión.
2. Se debe aplicar el árbol de decisión y la determinación de la *categoría principal* a las emisiones de metano y de óxido nítrico por separado.

El tipo de vehículo debe seguir la clasificación de declaración 1.A.3.b (de i a iv) (es decir, pasajeros, servicio ligero o servicio pesado para vehículos terrestres, motocicletas) y preferiblemente debe dividirse más por antigüedad del vehículo (p. ej., hasta 3 años, de 3 a 8 años, más de 8 años) para permitir la categorización de los vehículos por tecnología de control (p. ej., infiriendo la adopción de tecnología como función del año de instrumentación de la política). De ser posible, el tipo de combustible debe dividirse por contenido de azufre, para permitir delinear las categorías de vehículos según el sistema de control de emisiones, porque el funcionamiento de éste depende del uso de combustible bajo en azufre durante toda la vida útil del sistema³. Sin considerar este aspecto, se puede subestimar el CH₄. Se aplica a los Niveles 2 y 3.

La ecuación de emisión para el Nivel 3 es:

ECUACIÓN 3.2.5
EMISIONES DE NIVEL 3 DE CH₄ Y N₂O

$$Emisión = \sum_{a,b,c,d} [Distancia_{a,b,c,d} \cdot EF_{a,b,c,d}] + \sum_{a,b,c,d} C_{a,b,c,d}$$

Donde:

- Emisión = emisión de CH₄ o N₂O (kg)
- EF_{a,b,c,d} = factor de emisión (kg/km)
- Distancia_{a,b,c,d} = distancia recorrida (KRV) durante la fase de funcionamiento térmicamente estabilizado del motor, para una actividad de fuente móvil dada (km)
- C_{a,b,c,d} = emisiones durante la fase de calentamiento (arranque en frío) (kg)
- a = tipo de combustible (p. ej., diesel, gasolina, gas natural, GLP)
- b = tipo de vehículo
- c = tecnología de control de emisiones (como convertidor catalítico no controlado, etc.)
- d = condiciones de funcionamiento (p. ej., tipo de carretera urbana o rural, clima, u otros factores ambientales)

Quizá no sea posible dividir por tipo de carretera, en cuyo caso se debe omitir esta indicación. Muchas veces, se utilizan los modelos de emisiones como USEPA MOVES o MOBILE, el modelo COPERT de la AEMA (USEPA 2005a, USEPA 2005b, EEA 2005, respectivamente). Incluyen los modelos de flotas detallados que permiten considerar una gama de tipos de vehículos y tecnologías de control, así como modelos de flotas para estimar los KRV de estos tipos de vehículos. Los modelos de emisión pueden ayudar a garantizar la coherencia y la transparencia porque los procedimientos de cálculo pueden estar fijos en paquetes de software que pueden usarse. Es una *buena práctica* documentar claramente toda modificación efectuada a los modelos normalizados.

Se producen emisiones adicionales cuando los motores están fríos, lo que puede ser un aporte significativo al total de emisiones de los vehículos terrestres. Se los debe incluir en los modelos del Nivel 3. Se calculan las emisiones totales sumando las emisiones de las distintas fases, es decir, el funcionamiento del motor térmicamente estabilizado (caliente) y la fase de calentamiento (arranque en frío); Ecuación 3.2.5 anterior. El arranque en frío es el arranque del motor que se produce cuando la temperatura de éste se encuentra por debajo de la temperatura a la cual se activa el catalizador (límite ligero- apagado, alrededor de 300 °C) o antes de que el motor alcance su temperatura normal de funcionamiento para los vehículos no equipados con catalizador. Estos tienen emisiones más elevadas de CH₄ (así como de CO y HC). Los estudios han demostrado que la duración promedio aproximada del modo de arranque en frío es de 180 a 240 segundos. Por lo tanto, deben aplicarse los factores de emisión de arranque en frío solamente para esta fracción inicial del recorrido del vehículo (hasta 3 km aproximadamente) y luego deben aplicarse los factores de emisión corridos. Véase USEPA (2004b) y AEMA (2005a) para conocer más detalles. Es posible cuantificar las emisiones del arranque en frío de diferentes formas. El Cuadro 3.2.3 (USEPA 2004b) proporciona emisiones adicionales por arranque. Se añade a la emisión corrida y es preciso saber la cantidad de arranques por vehículo por año⁴. Puede derivarse a través del conocimiento de la longitud promedio del viaje. El modelo europeo COPERT tiene correcciones más complejas que dependen de la temperatura para el arranque en frío (AEMA 2000) para el metano.

³ Se aplica especialmente a los países en los que se venden combustibles con diferente contenido de azufre (p. ej. diesel «metropolitano»). Algunos sistemas de control (por ejemplo, los convertidores catalíticos con escape de diesel) necesitan combustibles ultra bajos en azufre (p. ej., diesel con 50 ppm de S o menos) para funcionar. Los niveles más altos de azufre deterioran esos sistemas y aumentan las emisiones de CH₄ así como los óxidos de nitrógeno, las partículas y los hidrocarburos. Los catalizadores deteriorados no convierten de forma eficaz los óxidos de nitrógeno en N₂, lo que podría provocar cambios en los índices de emisión de N₂O. También podría provocar un abastecimiento irregular y deficiente de combustible con alto contenido de azufre.

⁴ Este método simple de sumar el arranque en frío a la emisión corrida (= cantidad de arranques • factor de arranque en frío) supone que no se recorren más de 4 km por viaje.

Las ecuaciones 3.2.4 y 3.2.5 para los métodos de Nivel 2 y 3 implican los siguientes pasos:

- Paso 1: obtener o estimar la cantidad de combustible consumido por tipo de combustible para el transporte terrestre, usando los datos nacionales (deben declararse todos los valores en terajulios; véase también la Sección 3.2.1.3.)
- Paso 2: garantizar que se dividan los datos del combustible o de KRV en las categorías de vehículos y combustibles necesarias. Se debe tener en cuenta que, típicamente, las emisiones y la distancia recorrida cada año varían según la antigüedad del vehículo; los vehículos más antiguos suelen viajar menos pero pueden emitir más CH₄ por unidad de actividad. Algunos vehículos pueden estar convertidos para funcionar con otro combustible que no es el del diseño original.
- Paso 3: multiplicar la cantidad de combustible consumido (Nivel 2) o la distancia recorrida (Nivel 3) por tipo de vehículo o tecnología de control / vehículo por el factor de emisión adecuado a ese tipo. Es posible utilizar los factores de emisión presentados en la EFDB o en los Cuadros 3.2.3 a 3.2.5 como punto de partida. No obstante, se alienta al compilador del inventario a consultar otras fuentes de datos referidas en este capítulo o datos disponibles en el ámbito local, antes de determinar los factores adecuados de emisiones nacionales para una subcategoría determinada. Los programas establecidos de inspección y mantenimiento pueden ser una buena fuente de datos locales.
- Paso 4: para los métodos del Nivel 3, estimar las emisiones del arranque en frío.
- Paso 5: sumar las emisiones de todos los tipos de combustibles y vehículos, incluso para todos los niveles de control de emisiones, para determinar las emisiones totales procedentes del transporte terrestre.

3.2.1.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Los compiladores del inventario deben seleccionar los factores de emisión por defecto (Nivel 1) o específicos del país (Nivel 2 y Nivel 3) sobre la base de la aplicación de los árboles de decisión que tienen en cuenta el tipo y el nivel de desagregación de los datos de la actividad disponibles para su país.

EMISIONES DE CO₂

Los factores de emisión de CO₂ se basan en el contenido de carbono del combustible y deben representar el 100 por ciento de oxidación del carbono combustible. Es una *buena práctica* seguir este método usando valores calóricos netos (VCN) específicos del país y datos del factor de emisión de CO₂, si es posible. El VCN por defecto de los combustibles y los factores de emisión de CO₂ (del Cuadro 3.2.1, a continuación) se presentan en los Cuadros 1.2 y 1.4, respectivamente, del capítulo Introducción de este Volumen, y pueden usarse si no están disponibles los datos específicos del país. Se alienta a los compiladores del inventario a consultar la Base de datos de factores de emisión del IPCC (EFDB, véase el Volumen 1) para conocer los factores de emisión aplicables. Es una *buena práctica* garantizar que los factores de emisión por defecto, si se los selecciona, sean adecuados a la calidad y a la composición del combustible local.

CUADRO 3.2.1 FACTORES DE EMISIÓN DE CO ₂ POR DEFECTO DEL TRANSPORTE TERRESTRE Y RANGOS DE INCERTIDUMBRE ^a			
Tipo de combustible	Por defecto (kg/TJ)	Inferior	Superior
Gasolina para motores	69 300	67 500	73 000
Gas/Diesel Oil	74 100	72 600	74 800
Gases licuados de petróleo	63 100	61 600	65 600
Queroseno	71 900	70 800	73 700
Lubricantes ^b	73 300	71 900	75 200
Gas natural comprimido	56 100	54 300	58 300
Gas natural licuado	56 100	54 300	58 300

Fuente: Cuadro 1.4 del capítulo Introducción del Volumen Energía.

Notas:
^a Los valores representan el 100 por ciento de oxidación del contenido de carbono del combustible.
^b Véase el Recuadro 3.2.4 Lubricantes en la combustión móvil para obtener una orientación acerca de los usos de los lubricantes.

En el Nivel 1, los factores de emisión deben suponer que el 100 por ciento del carbono presente en el combustible se oxida durante el proceso de combustión o inmediatamente después de éste (para todos los tipos de combustible de los

vehículos), independientemente de que se haya emitido el CO₂ como CO₂, CH₄, CO o COVDM, o como materia particulada. A niveles más altos, es posible ajustar los factores de emisión de CO₂ de forma de justificar el carbono sin oxidar o el carbono emitido como gas no CO₂.

EMISIONES DE CO₂ PROCEDENTES DE LOS BIOCOMBUSTIBLES

Se ha observado el uso de biocombustibles líquidos y gaseosos en las aplicaciones de combustión móvil (véase el Recuadro 3.2.1). Para abordar correctamente las emisiones relacionadas del biocombustible quemado en el transporte terrestre, deben utilizarse factores de emisión específicos del biocombustible, si están disponibles los datos de la actividad acerca del biocombustible. Las emisiones de CO₂ procedentes de la combustión del carbono biogénico de estos combustibles se tratan en el sector AFOLU y deben ser declaradas por separado, como elemento informativo. Para evitar el cómputo doble, el compilador debe determinar las proporciones de carbono fósil en contraposición al carbono biogénico de cualquier mezcla de combustible que se considere comercialmente pertinente y, por lo tanto, debe incluirse en el inventario.

Existen diversas opciones para el uso de biocombustibles líquidos y gaseosos en la combustión móvil (véase el Cuadro 1.1 del capítulo Introducción de este Volumen, para conocer las definiciones del biocombustible). Algunos biocombustibles tienen un uso comercial muy difundido en algunos países, impulsado por políticas específicas. Pueden usarse los biocombustibles como combustible puro o como aditivos a los combustibles fósiles comerciales comunes. El último método suele evitar la necesidad de efectuar modificaciones en el motor o volver a certificar los motores existentes para nuevos combustibles.

Para evitar el cómputo doble, la declaración excesiva o insuficiente de las emisiones de CO₂, es importante evaluar el origen del biocombustible, con el fin de identificar y distinguir la alimentación a procesos fósil de la biogénica⁵. Ello se debe a que las emisiones de CO₂ procedentes de los biocombustibles se declaran por separado como elemento informativo, para evitar el cómputo doble, puesto que ya se trata el tema en el Volumen AFOLU. Puede reconocerse la porción de carbono biogénico en el combustible refinando los datos de la actividad (*p. ej.*, restando la cantidad de entradas no fósiles del biocombustible quemado o de la mezcla de biocombustible) o los factores de emisión (*p. ej.*, multiplicando el factor de emisión fósil por su fracción en el biocombustible quemado o en la mezcla de biocombustible, para obtener un nuevo factor de emisión), pero no ambas posibilidades simultáneamente. Si el consumo nacional de estos combustibles es comercialmente significativo, los flujos de carbono biogénico y fósil deben justificarse con exactitud, para evitar así el cómputo doble con los procesos de refinación y petroquímicos o el sector de desechos (reconocer la posibilidad del cómputo doble o de la omisión de, por ejemplo el gas de vertedero o del aceite de cocina de desecho como biocombustible). Debe evitarse el cómputo doble o la omisión del gas de vertedero o del aceite de cocina de desecho como biocombustible.

CH₄ Y N₂O

Los índices de emisión de CH₄ y N₂O dependen principalmente de la combustión y de la tecnología de control de emisiones presentes en los vehículos; por lo tanto, los factores de emisión por defecto basados en el combustible, que no especifican la tecnología del vehículo, son muy inciertos. Aunque no haya datos nacionales disponibles sobre las distancias recorridas por tipo de vehículo, se alienta a los compiladores a usar factores de emisión de nivel más alto y a calcular los datos de distancia recorrida por los vehículos sobre la base de los datos nacionales de utilización de combustible para el transporte terrestre y un valor supuesto de economía de combustible (véase la sección 3.2.1.3 Elección de los datos de la actividad) para obtener la orientación relacionada.

Si las emisiones de CH₄ y N₂O procedentes de las fuentes móviles no son una *categoría principal*, pueden utilizarse los factores de emisión por defecto de CH₄ y N₂O presentados en el Cuadro 3.2.2 si no hay disponibles datos nacionales. Al utilizar estos valores por defecto, los compiladores del inventario deben recordar los valores supuestos de economía de combustible utilizados para conversiones de unidades y las categorías representativas de vehículos utilizadas como base de los factores por defecto (véanse las notas del cuadro para conocer las hipótesis específicas).

Es una *buena práctica* garantizar que los factores de emisión por defecto, si se seleccionan, representen mejor la calidad/composición del combustible local y la tecnología de control de emisiones o de combustión. Si se incluyen los biocombustibles en las estimaciones nacionales de uso del combustible para el transporte terrestre, deben usarse factores de emisión específicos del biocombustible e incluirse las emisiones correspondientes de CH₄ y N₂O en los totales nacionales.

Puesto que los índices de emisión de CH₄ y N₂O dependen principalmente de la tecnología de combustión y control de emisiones presente, deben utilizarse los factores de emisión específicos de la tecnología, si las emisiones de CH₄ y N₂O procedentes de las fuentes móviles son una *categoría principal*. Los Cuadros 3.2.3 y 3.2.5 presentan los factores de emisión de Nivel 2 y 3 potencialmente aplicables de los respectivos datos estadounidenses y europeos. Además,

⁵ Por ejemplo, el biodiésel producido a partir del metanol de carbón con sustancias animales para alimentación a procesos tiene una fracción de combustible fósil diferente de cero y, por lo tanto, su balance de carbono no es totalmente neutro. El etanol procedente de la fermentación de los productos agrícolas generalmente es puramente biogénico (balance de carbono neutro), excepto en algunos casos, como el metanol derivado del combustible fósil. Los productos que fueron sometidos a una mayor transformación química pueden contener cantidades sustanciales de carbono fósil que varía de alrededor de 5 a 10 por ciento en el metanol usado para la producción de biodiésel hasta 46 por ciento en etil-terciario-butil-éter (ETBE) del isobuteno fósil (ADEME/DIREM, 2002). Algunos procesos pueden generar subproductos biogénicos como glicol o glicerina, que pueden usarse en otras aplicaciones.

Estados Unidos desarrolló factores de emisión para algunos vehículos que funcionan con combustibles alternativos (Cuadro 3.2.4). La EFDB del IPCC y la bibliografía científica también pueden aportar factores de emisión (o modelos de estimación de emisiones estándar) que pueden usar los compiladores, si corresponde a las circunstancias nacionales.

RECUADRO 3.2.1

EJEMPLOS DEL USO DEL BIOCOMBUSTIBLE EN EL TRANSPORTE TERRESTRE

Entre los ejemplos del uso del biocombustible en el transporte terrestre se incluyen:

- El etanol típicamente se produce mediante la fermentación de la caña de azúcar, remolachas, granos, maíz o papas. Puede usarse neto (ciento por ciento, Brasil) o mezclado con gasolina en diversos volúmenes (5 a 12 por ciento en Europa y Norteamérica, 10 por ciento en la India, mientras que el 25 por ciento es común en Brasil). La porción biogénica del etanol puro es del ciento por ciento.
- El biodiésel es un combustible hecho a partir de la transesterificación de los aceites vegetales (p. ej., bagazo, soja, mostaza, girasol), grasas animales o aceites de cocina reciclados. Es no tóxico, biodegradable y básicamente sin azufre, y se puede utilizar en cualquier motor diésel en forma pura (B100 o Biodiésel solo) o en una mezcla con diésel de petróleo (B2 y B20, que contienen 2 y 20 por ciento de biodiésel por volumen). El B100 puede contener 10 por ciento de carbono fósil del metanol (hecho con gas natural) usado en el proceso de esterificación.
- Se utiliza el etil-terciario-butil-éter (ETBE) como componente de mezcla de alto octanaje de la gasolina (p. ej., en Francia y España en mezclas de hasta 15 por ciento de contenido). La fuente más común es la esterificación del etanol de la fermentación de remolachas, granos y papas con isobuteno fósil.
- La biomasa gaseosa (gas de vertedero, gas de digestión de lodos cloacales y otro biogás) producida por la digestión anaeróbica de la materia orgánica a veces es utilizada en algunos países europeos (p. ej., Suecia y Suiza). El gas de vertedero y el gas del lodo actualmente son fuentes comunes de biomasa gaseosa.

Otros potenciales biocombustibles comerciales futuros para usar en la combustión móvil incluyen los derivados de la biomasa lignocelulósica. Los materiales lignocelulósicos de alimentación a procesos incluyen la paja del cereal, la biomasa maderera, el *stover* de maíz (hojas y tallos secos) o granos energéticos similares. Una variedad de diversos procesos de extracción y transformación permiten producir más combustibles biogénicos (p. ej., metanol, dimetil-éter (DME), y metil-tetrahydrofurano (MTHF)).

Es una *buena práctica* seleccionar o desarrollar un factor de emisión basado en todos los criterios siguientes:

- Tipo de combustible (gasolina, diésel, gas natural), considerando, de ser posible, la composición del combustible (los estudios han demostrado que reducir el nivel de azufre del combustible puede traducirse en reducciones significativas de las emisiones de N₂O⁶)
- Tipo de vehículo (es decir, automóviles de pasajeros, camiones para servicio ligero, camiones para servicio pesado, motocicletas)
- La tecnología de control de emisiones, que tome en cuenta la presencia y el desempeño (p. ej., como función de la antigüedad) de los convertidores catalíticos (p. ej., los catalizadores típicos convierten los óxidos de nitrógeno en N₂, y el CH₄ en CO₂). Díaz *et al* (2001) declara la eficacia de conversión del catalizador para los hidrocarburos totales (THC), de los cuales el CH₄ es un componente, de 92 (+/- 6) por ciento en una flota de 1993 a 1995. El deterioro considerable de los catalizadores con una acumulación de kilometraje relativamente alta; específicamente, los niveles de THC se mantuvieron constantes hasta los 60 000 kilómetros aproximadamente, luego aumentaron un 33 por ciento hasta llegar a una cifra comprendida entre 60 000 y 100 000 kilómetros.
- La repercusión de las condiciones de uso (p. ej., velocidad, condiciones de la carretera y patrones de conducción, que afectan la economía del combustible y el desempeño de los sistemas del vehículo)⁷.
- La consideración de que las estimaciones del factor de emisión de un combustible alternativo tiende a conllevar un alto grado de incertidumbre, dado el amplio abanico de tecnologías de motores y los pequeños tamaños de las muestras asociados con los estudios existentes⁸.

⁶ CMNUCC (2004)

⁷ Lipman y Delucchi (2002) proporcionan datos y explicaciones sobre el efecto de las condiciones de uso sobre las emisiones de CH₄ y N₂O.

⁸ Algunas referencias útiles sobre los biocombustibles se encuentran disponibles en Beer *et al* (2000), CONCAWE (2002).

La sección siguiente proporciona un método para desarrollar factores de emisión del CH₄ a partir de los valores de THC. Los programas bien documentados de inspección y mantenimiento (I/M) pueden brindar una fuente de datos nacionales para los factores de emisión por combustible, modelo y año, así como los índices de acumulación de kilometraje anual. Aunque algunos programas de I/M pueden tener solamente disponibles los factores de emisión para los vehículos nuevos y los contaminantes locales del aire (a veces denominados contaminantes regulados, p. ej., NO_x, PM, COVDM, THC), quizá sea posible derivar los factores de emisión del CH₄ o N₂O a partir de estos datos. Puede calcularse el factor de emisión del CH₄ como la diferencia entre los factores de emisión de los THC y los COVDM. En muchos países, las emisiones de CH₄ procedentes de los vehículos no se miden en forma directa. Son una fracción de los THC, que se obtiene más comúnmente mediante mediciones de laboratorio. USEPA (1997) y Borsari (2005) y CETESB (2004 & 2005) proporcionan factores de conversión para declarar las emisiones de hidrocarburos en diferentes formas. Sobre la base de estas fuentes, pueden utilizarse los siguientes cocientes de CH₄ a THC para desarrollar los factores de emisión del CH₄ a partir de datos de THC específicos del país⁹:

- gasolina para 2 tiempos: 0,9 por ciento,
- gasolina para 4 tiempos: 10 a 25 por ciento,
- diésel: 1,6 por ciento,
- GPL: 29,6 por ciento,
- vehículos a gas natural: 88,0 a 95,2 por ciento,
- gasohol E22: 24,3 a 25,5 por ciento y
- etanol hidratado E100: 26,0 a 27,2 por ciento.

Algunos programas de I/M pueden recopilar datos sobre los evaporativos, que pueden suponerse iguales a los COVDM.¹⁰ Estudios recientes y en curso han investigado la relación existente entre las emisiones de N₂O y NO_x. Puede haber datos útiles disponibles a través de este trabajo¹¹.

Es posible refinar aún más los factores si hay datos locales extra disponibles (p. ej., sobre las velocidades promedio de conducción, el clima, la altitud, los dispositivos de control de contaminación o las condiciones de la carretera), por ejemplo, escalando los factores de emisión para reflejar las circunstancias nacionales; multiplicando por un factor de ajuste (p. ej., congestión del tránsito o carga considerable). Se establecen los factores de emisión tanto para el CH₄ como para el N₂O no solamente durante una prueba de manejo de cumplimiento representativa, sino que se prueba específicamente en condiciones de marcha y de arranque en frío. De esta forma, los datos recopilados sobre los patrones de conducción de un país (basados en la relación de arranques y distancias de marcha) pueden usarse para ajustar los factores de emisión para el CH₄ y el N₂O. Aunque se ha demostrado que la temperatura ambiente repercute sobre los contaminantes locales del aire, existe una investigación limitada acerca de los efectos de la temperatura sobre el CH₄ y el N₂O (USEPA 2004b). Véase el Recuadro 3.2.2 para obtener información sobre la refinación de los factores de emisión para las fuentes móviles en los países en desarrollo.

⁹ Gamas et. al. (1999) y Díaz, et.al (2001) declaran datos de THC medidos para una variedad de antigüedades de vehículos y tipos de combustibles.

¹⁰ IPCC (1997).

¹¹ Para los vehículos de motores ligeros y automóviles de pasajeros, las proporciones de N₂O/NO_x obtenidas en la bibliografía varían de 0,10 a 0,25 (Lipmann and Delucchi, 2002 and Behrentz, 2003).

RECUADRO 3.2.2**REFINACIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN PARA LAS FUENTES MÓVILES EN LOS PAÍSES EN DESARROLLO**

En algunos países en desarrollo, quizá deban alterarse los índices de emisión estimados por kilómetro recorrido para dar lugar a las circunstancias nacionales, entre las que pueden incluirse:

- Variaciones tecnológicas: en muchos casos, debido a la manipulación de los sistemas de control de emisiones, la adulteración del combustible, o simplemente la antigüedad del vehículo, algunos vehículos pueden funcionar sin convertor catalítico. En consecuencia, las emisiones de N_2O pueden ser bajas y las de CH_4 pueden ser altas cuando no hay convertidores catalíticos presentes o si no funcionan correctamente. Díaz *et al* (2001) proporciona información sobre los valores de THC para la Ciudad de México y la eficiencia del convertor catalítico como función de la antigüedad y del kilometraje, y este capítulo también ofrece una orientación sobre el desarrollo de los factores de CH_4 a partir de los datos de THC.

- Carga del motor: debido a la densidad del tránsito o a la topografía que supone un desafío, la cantidad de aceleraciones y desaceleraciones que encuentra un vehículo local puede ser significativamente mayor que la de un viaje correspondiente en los países en los que se desarrollaron los factores de emisión. Sucede cuando estos países tienen redes bien establecidas de control de carreteras y del tránsito. Una mayor carga del motor puede tener correlación con emisiones mayores de CH_4 y N_2O .

- Composición del combustible: la calidad deficiente del combustible y el contenido elevado o variable de azufre puede afectar negativamente el funcionamiento de los motores y la eficiencia de conversión de los dispositivos de control de emisiones posteriores a la combustión, como ser los convertidores catalíticos. Por ejemplo, se ha demostrado que los índices de emisión de N_2O aumentan con el contenido de azufre de los combustibles (CMNUCC, 2004). No se conocen los efectos del contenido de azufre sobre las emisiones de CH_4 . Los datos de la refinería pueden indicar las cantidades de producción en una escala nacional.

La Sección 3.2.2 Evaluación de incertidumbre proporciona información sobre la forma de desarrollar estimaciones de incertidumbre para los factores de emisión correspondientes al transporte terrestre.

Más información sobre los factores de emisión para los países en desarrollo se encuentra disponible a través de Mitra *et al.* (2004).

CUADRO 3.2.2
FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO DE N₂O Y CH₄ DEL TRANSPORTE TERRESTRE Y RANGOS DE
INCERTIDUMBRE ^(a)

Tipo de combustible / Categoría representativa de vehículo	CH ₄ (kg/TJ)			N ₂ O (kg/TJ)		
	Por defecto	Inferior	Superior	Por defecto	Inferior	Superior
Gasolina para motores – sin controlar ^(b)	33	9,6	110	3,2	0,96	11
Gasolina para motores – catalizador de oxidación ^(c)	25	7,5	86	8,0	2,6	24
Gasolina para motores – vehículo para servicio ligero con poco kilometraje, modelo 1995 o más nuevo ^(d)	3,8	1,1	13	5,7	1,9	17
Gas / Diesel Oil ^(e)	3,9	1,6	9,5	3,9	1,3	12
Gas natural ^(f)	92	50	1 540	3	1	77
Gas licuado de petróleo ^(g)	62	na	na	0.2	na	na
Etanol, camiones Estados Unidos ^(h)	260	77	880	41	13	123
Etanol, automóviles, Brasil ⁽ⁱ⁾	18	13	84	na	na	na

Fuentes: USEPA (2004b), AEMA (2005a), TNO (2003) y Borsari (2005) CETESB (2004 & 2005) con las hipótesis que se presentan a continuación. Se derivaron los rangos de incertidumbre de los datos incluidos en Lipman y Delucchi (2002), con excepción del etanol en los automóviles.

(a) Con excepción de los automóviles que funcionan con GLP y etanol, los valores por defecto se derivan de las fuentes indicadas con los valores VCN declarados en el capítulo Introducción del volumen Energía, los valores de densidad declarados por la Administración de Información de Energía de Estados Unidos; y los siguientes valores de consumo de combustible supuestos y representativos: 10 km/l para los vehículos con motores para gasolina; 5 km/l para los vehículos diesel; 9 km/l para los vehículos a gas natural (se supone que es equivalente a los vehículos a gasolina); 9 km/l para los vehículos que funcionan con etanol. Si están disponibles los valores reales y representativos de la economía del combustible, se recomienda utilizarlos con los datos de uso total de combustible, para estimar los datos totales de distancias recorridas, que luego deben multiplicarse por los factores de emisión del Nivel 2 para N₂O y CH₄.

(b) El valor por defecto sin controlar de la gasolina para motores se basa en el valor de USEPA (2004b) para un vehículo ligero a gasolina de los Estados Unidos (automóvil): sin controlar, convertido con los valores y las hipótesis descritos en la nota (a) del cuadro. Si las motocicletas representan una parte significativa de la población nacional de vehículos, los compiladores del inventario deben ajustar hacia abajo el factor de emisión por defecto dado.

(c) Gasolina para motores: el valor por defecto del catalizador de oxidación de los vehículos ligeros se basa en el valor de USEPA (2004b) para un vehículo ligero a gasolina de los Estados Unidos (automóvil): catalizador de oxidación, convertido con los valores y las hipótesis descritos en la nota (a) del cuadro. Si las motocicletas representan una parte significativa de la población nacional de vehículos, los compiladores del inventario deben ajustar hacia abajo el factor de emisión por defecto dado.

(d) Gasolina para motores: el valor por defecto de los vehículos ligeros modelo 1995 o más nuevos se basa en el valor de USEPA (2004b) para un vehículo ligero a gasolina de los Estados Unidos (automóvil): Nivel 1, convertido con los valores y las hipótesis descritos en la nota (a) del cuadro. Si las motocicletas representan una parte significativa de la población nacional de vehículos, los compiladores del inventario deben ajustar hacia abajo el factor de emisión por defecto dado.

(e) El valor diesel por defecto se basa en el valor de la AEMA (2005a) para un camión pesado diesel europeo, convertido con los valores y las hipótesis descritos en la nota (a) del cuadro.

(f) Los valores por defecto e inferiores del gas natural se basaron en un estudio de TNO (2003), realizado usando vehículos europeos y ciclos de pruebas en los Países Bajos. Hay mucha incertidumbre para el N₂O. La USEPA (2004b) tiene un valor por defecto de 350 kg CH₄/TJ y 28 kg N₂O/TJ para un automóvil de GNC de Estados Unidos, convertido usando los valores y las hipótesis descritos en la nota (a) del cuadro. Los límites superior e inferior también fueron tomados de USEPA (2004b)

(g) El valor por defecto para las emisiones de metano del GLP, considerando para un valor de calefacción bajo de 50 MJ/kg y se obtuvo 3,1 g CH₄/kg GLP de TNO (2003). No se proporcionaron rangos de incertidumbre.

(h) El valor por defecto del etanol se basa en el valor de la USEPA (2004b) para un camión pesado a etanol de Estados Unidos, convertido con los valores y las hipótesis descritos en la nota (a) del cuadro.

(i) Datos obtenidos en vehículos brasileños por Borsari (2005) y CETESB (2004 & 2005). Para los modelos 2003 nuevos, el mejor caso es: 51,3 kg THC/TJ combustible y 26,0 por ciento de CH₄ en THC. Para los vehículos de 5 años de antigüedad: 67 kg THC/TJ combustible y 27,2 por ciento de CH₄ en THC. Para los de 10 años de antigüedad: 308 kg THC/TJ combustible y 27,2 por ciento de CH₄ en THC.

CUADRO 3.2.3					
FACTORES DE EMISIÓN DE N₂O Y CH₄ PARA LOS VEHÍCULOS DIESEL Y A GASOLINA DE LOS ESTADOS UNIDOS					
Tipo de vehículo	Tecnología de control de emisiones	N ₂ O		CH ₄	
		En marcha (caliente)	Arranque en frío	En marcha (caliente)	Arranque en frío
		mg/km	mg/arranque	mg/km	mg/arranque
Vehículo ligero a gasolina (automóvil)	Vehículo de bajas emisiones (LEV, del inglés, <i>Low Emission Vehicle</i>)	0	90	6	32
	Catalizador tridireccional avanzado	9	113	7	55
	Catalizador tridireccional inicial	26	92	39	34
	Catalizador de oxidación	20	72	82	9
	Catalizador de no oxidación	8	28	96	59
	Sin controlar	8	28	101	62
Vehículo ligero diesel (automóvil)	Avanzada	1	0	1	-3
	Moderada	1	0	1	-3
	Sin controlar	1	-1	1	-3
Camión ligero a gasolina	Vehículo de bajas emisiones	1	59	7	46
	Catalizador tridireccional avanzado	25	200	14	82
	Catalizador tridireccional inicial	43	153	39	72
	Catalizador de oxidación	26	93	81	99
	Catalizador de no oxidación	9	32	109	67
	Sin controlar	9	32	116	71
Camión ligero diesel	Avanzada y moderada	1	-1	1	-4
	Sin controlar	1	-1	1	-4
Vehículo pesado a gasolina	Vehículo de bajas emisiones	1	120	14	94
	Catalizador tridireccional avanzado	52	409	15	163
	Catalizador tridireccional inicial	88	313	121	183
	Catalizador de oxidación	55	194	111	215
	Catalizador de no oxidación	20	70	239	147
	Vehículo pesado a gasolina – sin controlar	21	74	263	162
Vehículo pesado diesel	Todos: avanzado, moderado o sin controlar	3	-2	4	-11
Motocicletas	Catalizador de no oxidación	3	12	40	24
	Sin controlar	4	15	53	33

Fuente: USEPA (2004b).

Notas:

^a Se han redondeado estos datos para obtener números enteros.

^b Los factores de emisión negativos indican que un vehículo que arranca en frío produce menos emisiones que uno que arranca en caliente o caliente en marcha.

^c Una base de datos de factores de emisión que dependen de la tecnología basada en datos europeos se encuentra disponible en la herramienta COPERT en <http://vergina.eng.auth.gr/mech0/lat/copert/copert.htm>.

^d Debido a los límites de hidrocarburo total de Europa, las emisiones de CH₄ de los vehículos europeos pueden ser inferiores a los valores indicados de los Estados Unidos (Heeb, et. al., 2003)

^e Se midieron estos «arranques en frío» a una temperatura ambiente de 20 °C a 30°C.

CUADRO 3.2.4		
FACTORES DE EMISIÓN PARA LOS VEHÍCULOS QUE FUNCIONAN CON COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS (mg/km)		
Tipo de vehículo Tecnología de control del vehículo	Factor de emisión de N₂O	Factor de emisión de CH₄
Vehículos para servicio ligero		
Metanol	39	9
GNC	27 - 70	215 - 725
GPL	5	24
Etanol	12 - 47	27 - 45
Vehículos para servicio pesado		
Metanol	135	401
GNC	185	5 983
GNL	274	4 261
GPL	93	67
Etanol	191	1227
Autobuses		
Metanol	135	401
GNC	101	7 715
Etanol	226	1 292
Fuentes: USEPA 2004c y Borsari (2005) CETESB (2004 & 2005).		

CUADRO 3.2.5 FACTORES DE EMISIÓN PARA LOS VEHÍCULOS DIESEL Y A GASOLINA EUROPEOS (mg/km), MODELO COPERT IV											
Tipo de vehículo	Combustible	Tecnología de vehículo/ Clase	Factores de emisión de N ₂ O (mg/km)				Factores de emisión de CH ₄ (mg/km)				
			Urbano		Rural	Autopista	Urbano		Rural	Autopista	
			Frío	Caliente			Frío	Caliente			
Automóvil para pasajeros	Gasolina	pre-Euro	10	10	6,5	6,5	201	131	86	41	
		Euro 1	38	22	17	8,0	45	26	16	14	
		Euro 2	24	11	4,5	2,5	94	17	13	11	
		Euro 3	12	3	2,0	1,5	83	3	2	4	
		Euro 4	6	2	0,8	0,7	57	2	2	0	
	Diesel	pre-Euro	0	0	0	0	22	28	12	8	
		Euro 1	0	2	4	4	18	11	9	3	
		Euro 2	3	4	6	6	6	7	3	2	
		Euro 3	15	9	4	4	7	3	0	0	
	GPL	pre-ECE	0	0	0	0	80	35	25		
		Euro 1	38	21	13	8					
		Euro 2	23	13	3	2					
		Euro 3 y posterior	9	5	2	1					
Vehículos para servicio ligero	Gasolina	pre-Euro	10	10	6,5	6,5	201	131	86	41	
		Euro 1	122	52	52	52	45	26	16	14	
		Euro 2	62	22	22	22	94	17	13	11	
		Euro 3	36	5	5	5	83	3	2	4	
		Euro 4	16	2	2	2	57	2	2	0	
	Diesel	pre-Euro	0	0	0	0	22	28	12	8	
		Euro 1	0	2	4	4	18	11	9	3	
		Euro 2	3	4	6	6	6	7	3	2	
		Euro 3	15	9	4	4	7	3	0	0	
		Euro 4	15	9	4	4	0	0	0	0	
	Camión pesado y autobús	Gasolina	Todas las tecnologías	6		6	6	140		110	70
			Diesel	GVW<16t	30		30	30	85		23
		Diesel	GVW>16t	30		30	30	175		80	70
Autobuses urbanos y autocares			30		30	30	175		80	70	
GNC		pre-Euro 4	n.a.				5400				
		Euro 4 y posterior (incl. EEV)					900				
Bicicleta con motor	Gasolina	<50 cm ³	1		1	1	219		219	219	
		>50 cm ³ 2 tiempos	2		2	2	150		150	150	
		>50 cm ³ 4 tiempos	2		2	2	200		200	200	

Notas:

¹ Comunicación personal: Ntziachristos, L., y Samaras, Z., (2005), LAT (2005) y TNO (2002).

² El factor de emisiones urbanas se divide en frías y calientes para los automóviles de pasajeros y los camiones ligeros. El factor de emisiones frías es pertinente para los viajes que comienzan con el motor a temperatura ambiente. Una asignación típica del kilometraje anual de un automóvil para pasajeros en las distintas condiciones de conducción podría ser: 0,3/0,1/0,3/0,3 para fría urbana, caliente urbana, rural y autopista, respectivamente.

³ También se proponen factores de emisión para los automóviles de pasajeros para vehículos ligeros en los casos en los que no existe más información detallada.

⁴ El contenido de azufre de la gasolina tiene un efecto acumulativo y uno inmediato sobre las emisiones de N₂O. Los factores de emisión para los automóviles a gasolina para pasajeros corresponden a los combustibles en el período de registro de las diferentes tecnologías y a una flota de vehículos de ~50 000 km de kilometraje promedio.

⁵ También se espera que los factores de emisión de N₂O y CH₄ para los vehículos pesados y las bicicletas con motor dependan de la tecnología del vehículo. No obstante, no existe información experimental adecuada para cuantificar este efecto.

⁶ Los factores de emisión de N₂O de los automóviles para pasajeros diesel y GLP son propuestos por TNO (2002). El incremento en las emisiones diesel de N₂O con el mejoramiento de la tecnología puede ser bastante incierto pero también es coherente con los avances en los sistemas de tratamiento posterior usados en los motores diesel (catalizadores nuevos, SCR-DeNO_x).

3.2.1.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Pueden proporcionarse los datos de la actividad por consumo de combustible o por kilómetros recorridos por el vehículo (KRV). Se pueden usar los datos adecuados de KRV para controlar los inventarios de arriba hacia abajo.

CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Las emisiones procedentes de los vehículos terrestres deben atribuirse al país en el que se vende el combustible; por lo tanto, los datos de consumo de combustible deben reflejar el combustible que se vende dentro del territorio nacional. Esos datos acerca de la energía suelen estar disponibles en el organismo nacional de estadísticas. Además de los datos acerca del combustible vendido, recopilados en el ámbito nacional, los compiladores del inventario deben recopilar los datos de la actividad correspondientes a otros combustibles utilizados en ese país, que presentan distribuciones menores y que no son parte de las estadísticas nacionales (es decir, combustibles que no se consumen en forma masiva, incluidos los pertenecientes a los mercados nicho, como el gas natural comprimido o los biocombustibles). Estos datos también suelen estar disponibles a través del organismo nacional de estadísticas o se los puede justificar en procesos de recolección de impuestos aparte. Para los métodos de Nivel 3, los modelos MOBILE o COPERT pueden ayudar a desarrollar los datos de la actividad.

Es una *buena práctica* controlar los siguientes factores (como mínimo), antes de usar los datos del combustible vendido:

- ¿Los datos del combustible se relacionan solamente con los vehículos de carretera o incluyen también los todo terreno? Las estadísticas nacionales pueden declarar el combustible total del transporte, sin especificar el consumido por actividades en carretera o fuera de ella. Es importante garantizar que los datos de utilización del combustible para los vehículos terrestres excluyan el utilizado para los vehículos todo terreno o la maquinaria (véase la Sección 3.3, Transporte todo terreno). Los combustibles pueden gravarse de forma diferente, según el uso al que están destinados. Un sondeo de combustible gravado para carretera puede brindar un indicio de la cantidad de combustible vendido para uso en la carretera. Típicamente, la flota de vehículos usados en la carretera y las ventas de combustible asociadas con ésta se documentan mejor que la población y actividad de vehículos todo terreno. Debe tenerse en cuenta este hecho al desarrollar las estimaciones de emisión.
- ¿Se incluye el uso del combustible agrícola? Parte de dicho uso puede ser estacionario, mientras que otra parte se destina a las fuentes móviles. No obstante, gran parte no se destina al uso en la carretera y no debe incluirse aquí.
- ¿Se utiliza el combustible vendido para el transporte para otros fines (p. ej., como combustible de calderas estacionarias) o viceversa? Por ejemplo, en los países en los que el queroseno está subsidiado por debajo de su precio para la calefacción y cocina residenciales, las estadísticas nacionales pueden asignar el consumo de queroseno asociado al sector residencial, aunque puedan haberse mezclado cantidades sustanciales de éste y consumido con los combustibles para el transporte.
- ¿Cómo se contabilizan los biocombustibles?
- ¿Cómo se declaran y contabilizan los combustibles mezclados? La contabilización de las mezclas oficiales (p. ej., agregado del 25 por ciento de etanol en la gasolina) en los datos de la actividad es directa, pero si la adulteración o la manipulación de los combustibles (p. ej., los solventes usados en la gasolina, el queroseno y el combustible diesel) predominan en un país, deben aplicarse los ajustes adecuados a los datos del combustible, cuidando de evitar el cómputo doble.
- ¿Las estadísticas se ven afectadas por el turismo de combustible?
- ¿Existe un contrabando de combustible significativo?
- ¿Cómo se declara el uso de lubricantes como aditivos en los combustibles de 2 tiempos? Puede estar incluido en el uso de combustible para el transporte terrestre o declararse por separado como lubricante (véase el Recuadro 3.2.4.).

Se sugieren dos métodos alternativos para separar el uso del combustible en la carretera del uso ajeno a ésta.

(1) Para cada tipo principal de combustible, debe estimarse el combustible usado por cada tipo de vehículo terrestre de los datos de kilómetros recorridos por vehículo. La diferencia que existe entre este total de vehículos terrestres y el consumo aparente se atribuye al sector todo terreno; o

(2) La misma estimación específica del combustible del punto (1) se complementa con una estimación de abajo hacia arriba estructurada de forma similar del uso del combustible fuera de la carretera, a partir del conocimiento de los tipos de equipos no viales y su utilización. El consumo aparente en el sector del transporte luego se desagrega según el tipo de vehículo y el sector todo terreno, en proporción a las estimaciones de abajo hacia arriba.

Según las circunstancias nacionales, los compiladores del inventario quizá deban ajustar las estadísticas nacionales acerca del uso del combustible para el transporte terrestre, para evitar una declaración por encima o por debajo de los valores reales de las emisiones procedentes de los vehículos terrestres. Es una *buena práctica* ajustar las estadísticas de ventas nacionales de combustible, para garantizar que los datos usados reflejen el uso en la carretera. En aquellos casos en los que sea necesario este ajuste, es una *buena práctica* hacer la verificación cruzada con los demás sectores correspondientes, para garantizar que todo combustible eliminado de las estadísticas de la carretera se añada al sector correcto, o viceversa.

A modo de validación, y si hay disponibles datos sobre la distancia recorrida (véase a continuación los kilómetros recorridos por los vehículos), es una *buena práctica* estimar el uso de los combustibles a partir de los datos sobre las distancias recorridas. El primer paso (Ecuación 3.2.6) consiste en estimar el combustible consumido por tipo de vehículo i y tipo de combustible j .

ECUACIÓN 3.2.6	
VALIDACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE	
$Combustible\ estimado = \sum_{i,j,t} [Vehiculos_{i,j,t} \bullet Distancia_{i,j,t} \bullet Consumo_{i,j,t}]$	

Donde:

Combustible estimado	= uso total del combustible estimado a partir de los datos de distancias recorridas (KRV) (1)
Vehículos _{i,j,t}	= cantidad de vehículos del tipo i que utilizan combustible j en el tipo de carretera t
Distancia _{i,j,t}	= kilómetros anuales recorridos por vehículo de tipo i , que usan combustible j en la carretera del tipo t (km)
Consumo _{i,j,t}	= consumo promedio de combustible (l/km) por vehículos de tipo i que utilizan combustible j en las carreteras del tipo t
i	= tipo de vehículo (p. ej., automóvil, autobús)
j	= tipo de combustible (p. ej., gasolina para motores, diesel, gas natural, GLP)
t	= tipo de carretera (p. ej., urbana, rural)

Si no hay datos disponibles sobre la distancia recorrida en diferentes tipos de carretera, debe simplificarse esta ecuación quitando la « t » del tipo de carretera. También son posibles las estimaciones más detalladas, incluso con el combustible adicional usado durante la fase de arranque en frío.

Es una *buena práctica* comparar las estadísticas de combustible vendido usadas en el método de Nivel 1 con el resultado de la ecuación 3.2.6. Otra *buena práctica* es considerar las posibles diferencias y determinar qué datos tienen mayor calidad. Excepto en algunos casos (p. ej., grandes cantidades de combustible vendido para usos fuera de la carretera, contrabando masivo de combustible), las estadísticas de venta de combustible tienden a ser más fiables. Esto ofrece un control de calidad importante. Las diferencias significativas entre los resultados de dos métodos pueden indicar que uno o ambos conjuntos de estadísticas pueden tener errores y que es necesario un análisis ulterior. En la Sección 3.2.3, Garantía de calidad/control de calidad (GC/CC) del inventario, se presenta una lista de los campos de investigación que deben abordarse al conciliar las estadísticas de venta de combustible con los datos sobre los kilómetros recorridos por el vehículo.

Los datos acerca de las distancias recorridas por los vehículos, por tipo y combustible, son pilares importantes para los cálculos de nivel superior de las emisiones de CH₄ y N₂O procedentes del transporte terrestre. Por ello, quizá sea necesario ajustar los datos de la distancia recorrida para que sean coherentes con los de combustible vendido, antes de proceder a estimar las emisiones de CH₄ y N₂O. Tiene una importancia especial en los casos en los que la discrepancia entre el uso estimado del combustible (Ecuación 3.2.6) y el combustible vendido estadístico es significativa en comparación con las incertidumbres existentes en las estadísticas de combustible vendido. Los compiladores del inventario deberán decidir a su criterio la mejor forma de ajustar los datos relativos a la distancia recorrida. Se puede hacer proporcionalmente al mismo factor de ajuste aplicado a todos los tipos de vehículos y de carreteras o, en los casos en los que se juzga que algunos datos son más exactos, pueden aplicarse diferentes ajustes a los diferentes tipos de vehículos y de carreteras. Un ejemplo del último caso puede ser aquél en el que los datos relativos al recorrido de los vehículos en las principales autopistas se considera razonablemente conocido y, por otra parte, el tránsito rural se mide de forma deficiente. Sea como fuere, los ajustes efectuados por cuestiones de elección del factor de ajuste y los antecedentes, así como otros controles deben documentarse y revisarse muy bien.

KILÓMETROS RECORRIDOS POR LOS VEHÍCULOS (KRV)

Mientras que es posible usar los datos del combustible en el Nivel 1 para el CH₄ y N₂O, los niveles superiores también necesitan los kilómetros recorridos por los vehículos (KRV) por tipo de vehículo, de combustible y quizá hasta por tipo de carretera.

Muchos países recopilan, miden o de otro modo estiman los KRV. Muchas veces es a través de sondeos de muestra que contabilizan los vehículos que pasan por ciertos puntos fijos. Estos sondeos pueden ser automáticos o manuales y contar los vehículos por tipo. Es posible que haya diferencias entre la clasificación de vehículos utilizada en los cálculos y otros datos (p. ej., clases de impuestos) que también aportan datos sobre las cantidades de vehículos. Además, es improbable que diferencien entre los vehículos similares que utilizan distintos

combustibles (p. ej., automóviles diésel y a gasolina). A veces también se recopila información más detallada (p. ej., velocidades de los vehículos y cantidades), en especial si se realizó una planificación más detallada del tránsito. Quizá esté disponible únicamente para una municipalidad y no para todo el país. A partir de este conteo del tránsito, las autoridades del transporte pueden hacer estimaciones de los KRV totales recorridos en un país. Son formas alternativas de determinar el kilometraje los sondeos directos de los propietarios de vehículos (particulares y comerciales) y el uso de los registros administrativos para los vehículos comerciales, cuidando de contabilizar los registros desactualizados pertenecientes los vehículos desguazados (el Recuadro 3.2.3 presenta un método para estimar las flotas restantes).

Si se estiman los KRV en un país, es una *buena práctica* usar estos datos, en especial para validar los datos de ventas de combustible (véase la sección 3.2.1.4).

OTROS PARÁMETROS.

Si las emisiones de CH₄ o N₂O procedentes del transporte terrestre son una *categoría principal*, es una *buena práctica* obtener más información sobre los parámetros que influyen sobre los factores de emisión, para garantizar que los datos de la actividad sean compatibles con el factor de emisión de Nivel 2 o 3 aplicable. Para ello, se requieren datos de la actividad más desagregados, para instrumentar la Ecuación 3.2.3 o 3.2.5:

- La cantidad de combustible consumido (en terajulios) por tipo de combustible (todos los niveles);
- para cada tipo de combustible, la cantidad de combustible (o KRV conducido) que consume cada tipo de vehículo representativo (p. ej., vehículos terrestres para pasajeros, ligeros o pesados), preferiblemente con categorías de antigüedad (Niveles 2 y 3) y
- la tecnología de control de emisiones (p. ej., catalizadores tridireccionales) (Niveles 2 y 3).
- También puede resultar posible recopilar datos de KRV por tipo de carretera (p. ej., urbana, rural, autopista)

Si se desconoce la distribución del uso de combustible por tipo de vehículo y combustible, puede estimarse a partir de la cantidad de vehículos por tipo. Si no se conoce la cantidad de vehículos por tipo y por combustible, puede estimarse a partir de las estadísticas nacionales (véase a continuación).

La tecnología del vehículo, que suele estar vinculada directamente al modelo y al año del vehículo, afecta las emisiones de CH₄ y N₂O. Por lo tanto, para los métodos de Nivel 2 y 3, deben agruparse los datos de la actividad sobre la base de las tecnologías de control de emisiones del fabricante del equipo original (OEM, del inglés, *Original Equipment Manufacturer*) adecuadas a los tipos de vehículos de la flota. La distribución de la flota por antigüedad ayuda a estratificarla, primero por antigüedad y después por clases de tecnología. Si la distribución no está disponible, cabe usar curvas de deterioro del vehículo para estimar la vida útil de éste y, en consecuencia, la cantidad de vehículos que permanecen en servicio, sobre la base de la cantidad que se introduce anualmente (véase el Recuadro 3.2.3).

Además, si es posible, debe determinarse (por estimaciones o partiendo de las estadísticas nacionales) la distancia total recorrida (es decir, KRV) por cada tipo de tecnología de vehículo (Nivel 3). Si no están disponibles los datos de KRV, se los puede estimar sobre la base del consumo de combustible y los valores supuestos de la economía del combustible nacional. Para estimar los KRV por medio de los datos de uso del combustible para el transporte terrestre, deben convertirse los datos del combustible en unidades de volumen (litros) y luego multiplicar el total de tipo de combustible por un valor supuesto de economía de combustible, que sea representativo de la población vehicular nacional para ese tipo de combustible (km/l).

Si se utiliza el método de Nivel 3 y están disponibles las estadísticas de KRV nacionales, el consumo de combustible asociado a estas cifras de distancias recorridas debe calcularse y agregarse por combustible, para su comparación con las cifras nacionales del balance de energía. Al igual que el método de Nivel 2, para el Nivel 3 se sugiere continuar subdividiendo cada tipo de vehículo en clases sin controlar y principales de tecnología de control de emisiones. Se debe tener en cuenta que, típicamente, las emisiones y la distancia recorrida cada año varían según la antigüedad del vehículo; los vehículos más antiguos suelen viajar menos pero pueden emitir más CH₄ y N₂O por unidad de actividad. Algunos vehículos, en especial en los países en desarrollo, pueden estar convertidos para funcionar con otro combustible que no es el del diseño original.

Para instrumentar el método de Nivel 2 o 3, deben derivarse los datos de la actividad de numerosas fuentes posibles. Los programas de inspección y mantenimiento (I/M) de vehículos, si están en marcha, pueden aportar datos sobre los índices anuales de acumulación de kilometraje. Los registros nacionales de otorgamiento de licencias para vehículos pueden aportar información sobre la flota (cantidad de vehículos por modelo-año por región) y hasta pueden registrar el kilometraje acumulado entre una renovación de licencia y otra. Entre otras fuentes para desarrollar datos de la actividad se incluyen los registros de ventas, importación y exportación de vehículos.

Como alternativa, es posible estimar las existencias de vehículos a partir de la cantidad de importaciones y ventas de vehículos nuevos por tipo, combustible, año y modelo. Pueden estimarse las poblaciones de vehículos que permanecen en servicio aplicando curvas de desguase o pérdida.

Los métodos de nivel superior que implican una estimación de las emisiones de arranque en frío exigen conocer la cantidad de puestas en marcha. Se las puede derivar de la distancia total recorrida y de la longitud promedio del viaje.

Típicamente, se obtiene a través de sondeos de tránsito. Suelen recopilarse estos datos para estudios locales o de tránsito, para la planificación del transporte.

RECUADRO 3.2.3
CURVAS DE DETERIORO DE LOS VEHÍCULOS (DESGUASE)

Es posible usar las curvas de deterioro (desgaste) para ajustar los datos obtenidos de las estadísticas de la flota, sobre la base de las patentes de licencia de los vehículos, en las que los vehículos más antiguos están fuera de servicio pero siguen registrados en los libros oficiales, lo que lleva a la estimación de las emisiones por encima de los valores reales. Se las aproxima por las funciones de Gompertz que limitan la antigüedad máxima del vehículo.

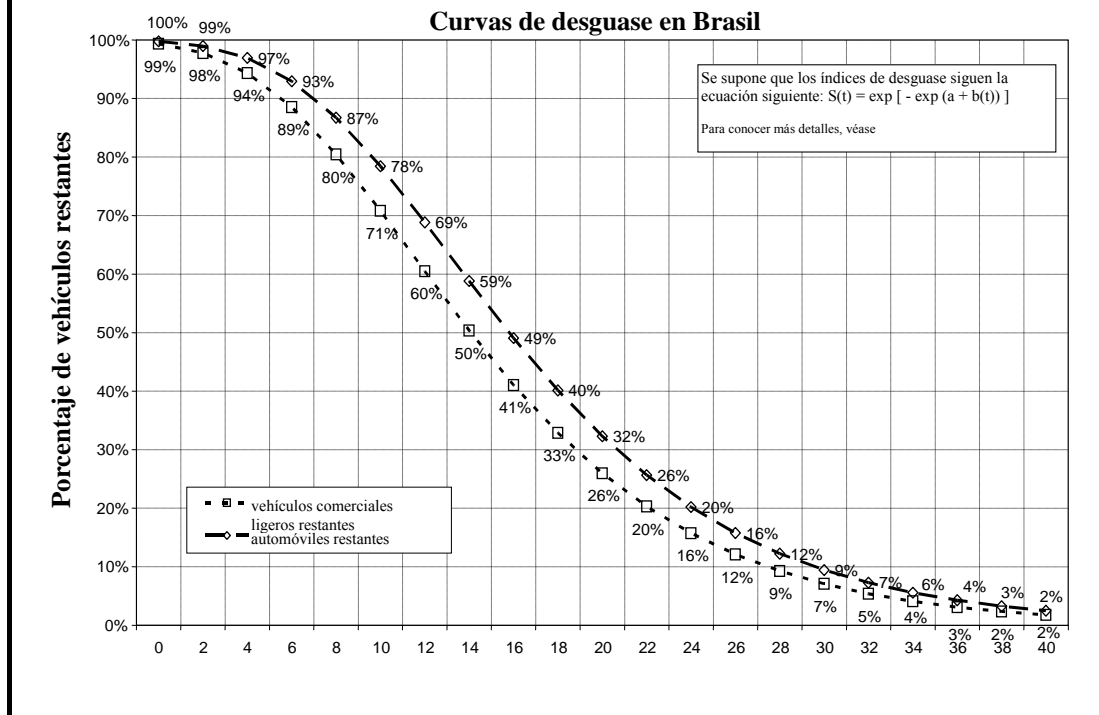
En el caso del Brasil, se utilizó la antigüedad máxima de los vehículos de 40 años para la comunicación nacional de gases de efecto invernadero (MCT, 2002 y

http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/veicul03.htm)

con la curva de desgaste de Gompertz en forma de S ilustrada en este recuadro, Función de desgaste de vehículos. Petrobrás proporcionó esta curva, que actualmente utilizan los organismos ambientales para los inventarios de emisiones. La porción de vehículos desgastados de antigüedad t se define por la ecuación $S(t) = \exp[-\exp(a + b(t))]$; donde (t) es la antigüedad del vehículo (en años) y $S(t)$ es la fracción de vehículos desgastados de antigüedad t . En el año 1994, se proporcionaron valores nacionales para los automóviles ($a = 1,798$ y $b = -0,137$) y los vehículos comerciales ligeros ($a = 1.618$ y $b = -0.141$).

(Ministério da Ciencia e Tecnologia (2002), Primeiro Inventário Brasileiro De Emissões

Antrópicas De Gases De Efeito Estufa Relatórios De Referência Emissões De Gases De Efeito Por Fontes Móveis, No Setor Energético. Brasília, Brazil 2002)



3.2.1.4 EXHAUSTIVIDAD

Al establecer la exhaustividad, se recomienda:

- Si las transferencias transfronterizas tienen lugar en los tanques de los vehículos, las emisiones procedentes de los vehículos terrestres deben atribuirse al país en el que se carga el combustible en el vehículo.
- El carbono emitido de los oxigenados y otros agentes de mezcla derivados de la biomasa deben estimarse y declararse como elemento informativo, para evitar el cómputo doble, como exige el Volumen 1. Para obtener más información acerca de los biocombustibles, véase la sección 3.2.1.2.
- Garantizar la fiabilidad de los datos del combustible vendido, siguiendo las recomendaciones de la Sección 3.2.1.3.

- Las emisiones procedentes de los lubricantes que se mezclan intencionalmente con el combustible y se queman en los vehículos terrestres deben ser capturadas como emisiones de fuentes móviles. Para obtener más información sobre la combustión de los lubricantes, véase el Recuadro 3.2.4

RECUADRO 3.2.4
LUBRICANTES EN LA COMBUSTIÓN MÓVIL

La lubricación de un motor a gasolina de dos tiempos conceptualmente difiere bastante de aquélla de un motor de cuatro tiempos, puesto que no es posible tener un cárter aparte para aceite lubricante. El motor a gasolina de dos tiempos debe lubricarse mediante una mezcla de aceite lubricante y gasolina en proporción adecuada a las recomendaciones del fabricante. Según el tipo de motor, las mezclas de 1:25, 1:33 y 1:50 son comunes.

En los motores de dos tiempos de última generación, el aceite lubricante se inyecta directamente con un dispositivo de medición exacto desde un taque aparte hacia la gasolina, en cantidades que dependen de la velocidad y la carga del motor. Los motores de dos tiempos más antiguos o económicos reciben el lubricante como parte de la mezcla de combustible. Muchas veces, el proveedor del combustible prepara estas mezclas y las entrega a la gasolinera, pero a veces el propietario del vehículo añade aceite en la estación de servicio. En algunos países, los motores de dos tiempos tuvieron mucha significación histórica en la década de 1990 (p. ej., en Europa del este) o siguen siendo muy significativos (p. ej., India y partes del sudeste asiático).

La clasificación de estos lubricantes en estadísticas de energía como lubricante o combustible puede variar. Los compiladores de los inventarios deben controlar que se asignen estos lubricantes correctamente según el uso final, que se los contabilice como corresponde, y que se evite el cómputo doble o las omisiones (compárese el tratamiento de los lubricantes en el Volumen 3, Capítulo 5: Uso de los combustibles como producto no energético y alimentación a procesos). Los lubricantes mezclados intencionalmente con el combustible y quemados en los vehículos terrestres deben declararse como energía y calcularse las emisiones asociadas usando las directrices de fuentes móviles. Cuando los datos de la actividad seleccionados para los motores de 2 tiempos se basan en los kilómetros recorridos, deben considerarse los lubricantes añadidos en la economía del combustible, como parte de la mezcla de éste.

3.2.1.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Cuando se revisan los procesos de recopilación y contabilización de datos, las metodologías de estimación de emisiones o los modelos, es una *buena práctica* volver a calcular toda la serie temporal. Una serie temporal coherente respecto de la recopilación inicial de datos sobre la tecnología de la flota puede exigir la extrapolación, quizá con el respaldo de la utilización de datos sustitutos. Es probable que se necesite para los primeros años. Los compiladores deben remitirse al análisis del Volumen 1, Capítulo 5: Coherencia de la serie temporal, para obtener una orientación general.

Puesto que este capítulo contiene muchos factores de emisión actualizados, para el CO₂ (que representan el 100 por ciento de la oxidación del combustible), CH₄ y N₂O, los compiladores del inventario deben garantizar la coherencia de la serie temporal. Una serie temporal coherente debe tener en cuenta el cambio tecnológico producido en los vehículos y en sus sistemas de control de los catalizadores. La serie temporal debe tomar en cuenta la inclusión gradual entre flotas, que responde a la legislación y a las fuerzas del mercado. Es posible mantener la coherencia con datos exactos acerca de la distribución de la flota, según el motor y la tecnología del sistema de control, el mantenimiento, lo desactualizado de la tecnología de control y el tipo de combustible. Si los KRV no están disponibles para toda la serie temporal pero sí para un año reciente, deben usarse las directrices del Volumen 1, Capítulo 5: Coherencia de la serie temporal, para seleccionar un método de empalme.

3.2.2 Evaluación de incertidumbre

El CO₂, N₂O, y el CH₄ aportan típicamente el 97, 2-3 y 1 por ciento de las emisiones de equivalente de CO₂ procedentes del sector del transporte terrestre, respectivamente. Por lo tanto, aunque las incertidumbres en las estimaciones de N₂O y CH₄ son mucho mayores, el CO₂ domina las emisiones procedentes del transporte terrestre. La utilización de datos estimados localmente reduce las incertidumbres, en particular con las estimaciones de abajo hacia arriba.

Incertidumbre del factor de emisión

Para el CO₂, la incertidumbre del factor de emisión suele ser inferior al 2 por ciento cuando se utilizan valores nacionales (véase el Cuadro 1.4 del Capítulo Introducción de este Volumen). Los factores por defecto de emisión de CO₂ presentados en el Cuadro 3.2.1. Factores de emisión por defecto de dióxido de carbono del transporte terrestre tienen una incertidumbre del 2 al 5 por ciento, debido a la incertidumbre de la composición del combustible. La

utilización de mezclas de combustibles, p. ej., que incluyen biocombustibles, o combustibles adulterados, puede aumentar la incertidumbre de los factores de emisión si la composición de la mezcla es incierta.

Las incertidumbres de los factores de emisión para el CH₄ y el N₂O suelen ser relativamente altas (en especial para el N₂O) y tienden a ser un factor de 2-3. Dependen de:

- Las incertidumbres en la composición del combustible (incluida la posibilidad de adulteración del combustible) y el contenido de azufre;
- Las incertidumbres en la distribución de la antigüedad de la flota y otra caracterización de los vehículos, incluidos los efectos transfronterizos; las características técnicas de los vehículos de otro país que repostan pueden cubrirse mediante los modelos tecnológicos;
- Las incertidumbres en los patrones de mantenimiento de los vehículos;
- Las incertidumbres en las condiciones de combustión (clima, altitud) y las prácticas de conducción, como ser velocidad, relación entre distancia de marcha y arranques en frío, o factores de carga (CH₄ y N₂O);
- Las incertidumbres en los índices de aplicación de las tecnologías de control de emisiones posteriores a la combustión (p. ej., catalizador tridireccional);
- Las incertidumbres en el uso de aditivos para minimizar el efecto de añejamiento de los catalizadores;
- Las incertidumbres en las temperaturas de trabajo (N₂O); y
- Las incertidumbres del equipo de pruebas y del equipo de medición de emisiones.

Es una *buena práctica* estimar la incertidumbre sobre la base de los estudios publicados de los cuales se obtuvieron los factores de emisión. Al menos pueden analizarse los siguientes tipos de incertidumbres en las fuentes publicadas y deben tenerse en cuenta para el desarrollo de factores de emisión nacionales a partir de datos empíricos:

- Una gama en el factor de emisión de un solo vehículo, representada como la varianza de las mediciones, a causa de emisiones variables de diferentes condiciones de funcionamiento (p. ej., velocidad, temperatura); y
- La incertidumbre en la media de los factores de emisión de los vehículos dentro de la misma clase de vehículos.

Además, la muestra de vehículos medida puede haber sido bastante limitada, o incluso una muestra más sólida de mediciones puede no ser representativa de la flota nacional. Los ciclos de conducción de prueba no representan acabadamente la conducta de conducción real, por lo que al menos algunos estudios sobre factores de emisión ahora prueban las emisiones procedentes del arranque en frío aparte de las emisiones de la marcha, para que los países puedan crear ajustes específicos del país, aunque tales ajustes exijan más recopilación de datos con sus propias incertidumbres.

Otra fuente de incertidumbre puede ser la conversión del factor de emisión en unidades en las que se proporcionan los datos de la actividad (p. ej., de kg/GJ a g/km) porque exige más hipótesis sobre otros parámetros, tales como la economía del combustible, que conlleva una incertidumbre asociada.

Es posible reducir la incertidumbre del factor de emisión estratificando aún más las flotas de vehículos según tecnología, antigüedad y condiciones de conducción.

Incertidumbre de los datos de la actividad

Los datos de la actividad constituyen la fuente primaria de incertidumbre en la estimación de emisiones. Están dados en unidades de energía (p. ej., TJ) u otras unidades para distintos fines, como persona-/tonelada-kilómetros, vehículos, distribuciones de longitud del viaje, eficiencias del combustible, etc. Las fuentes posibles de incertidumbre, que suelen ser de alrededor del +/-5 por ciento, incluyen:

- las incertidumbres de los sondeos nacionales de energía y las devoluciones de datos;
- las transferencias transfronterizas no registradas;
- la clasificación incorrecta de los combustibles;
- la clasificación incorrecta de los vehículos;
- la falta de exhaustividad (el combustible no registrado en otras categorías de fuentes puede utilizarse para fines del transporte); y
- la incertidumbre del factor de conversión de un conjunto de datos de la actividad a otro (p. ej., de los datos de consumo de combustible a persona-/tonelada-kilómetros o viceversa, véase lo anterior).

La estratificación de los datos de la actividad puede reducir la incertidumbre, si puede conectarse con los resultados de un método de uso del combustible de arriba hacia abajo.

Para estimar las emisiones de CH₄ y N₂O, puede utilizarse otro nivel y, por lo tanto, otros conjuntos de datos de la actividad. Es una *buena práctica* garantizar la coincidencia de los métodos de arriba hacia abajo y de abajo hacia

arriba, y documentar y explicar toda desviación en caso de que no coincidieran (véase también la Sección 3.2.1.4 Exhaustividad). Para estos gases, la incertidumbre del factor de emisión domina y puede considerarse que la incertidumbre de los datos de la actividad es igual que la correspondiente al CO₂.

Puede encontrarse una mayor orientación sobre las estimaciones de la incertidumbre para los datos de la actividad en el Volumen 1, Capítulo 3: Incertidumbres.

3.2.3 Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC) del inventario

Es una *buena práctica* realizar actividades de control de calidad, tal como se plantea en el Volumen 1, Capítulo 6: Garantía de calidad/Control de calidad y verificación, y la revisión de expertos de las estimaciones de emisiones. Otros controles de calidad extra se plantean en los procedimientos de Nivel 2, en el mismo capítulo, y los procedimientos de garantía de calidad también pueden ser aplicables, en particular si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuente. Se alienta a los compiladores del inventario a usar GC/CC de nivel superior para las categorías de fuente identificadas en el Volumen 1, Capítulo 4: Opción metodológica e identificación de categorías principales.

Además de la orientación provista en los capítulos referidos, se delinear a continuación los procedimientos específicos pertinentes para esta categoría de fuente.

Comparación de emisiones a través de métodos alternativos

Para el caso de las emisiones de CO₂, el compilador debe comparar las emisiones usando las estadísticas del combustible y los datos de los kilómetros recorridos por los vehículos. Toda anomalía existente entre las estimaciones de emisión debe investigarse y explicarse. Deben registrarse los resultados de esas comparaciones para documentación interna. Revisar las hipótesis siguientes puede estrechar un vacío detectado entre los métodos:

- Usos del combustible para transporte todo terreno/no transporte;
- Kilometraje anual promedio del vehículo;
- Eficiencia del combustible del vehículo;
- Desglose de vehículos por tipo, tecnología, antigüedad, etc.;
- Uso de oxigenados / biocombustibles / otros aditivos;
- Estadísticas del uso del combustible; y
- Combustible vendido/usado.

Revisión de los factores de emisión

Si se utilizan los factores de emisión por defecto, el compilador del inventario debe garantizar que sean aplicables y pertinentes a las categorías. De ser posible, deben compararse los factores por defecto con los datos locales para obtener un indicio mayor de que los factores son aplicables.

Para las emisiones de CH₄ y N₂O, el compilador debe garantizar que la fuente de datos original para los factores locales sea aplicable a la categoría y que se hayan realizado los controles de exactitud de la adquisición de datos y de los cálculos. Si es posible, deben compararse los factores por defecto y los factores locales. Si se usaron los primeros para estimar las emisiones de N₂O, el compilador debe garantizar que se hubieran utilizado para el cálculo los factores de emisión revisados del Cuadro 3.2.3.

Verificación de los datos de la actividad

El compilador debe revisar la fuente de los datos de la actividad para garantizar la aplicabilidad y la pertinencia a la categoría. La Sección 3.2.1.3 proporciona una *buena práctica* para verificar los datos de la actividad. De ser posible, el compilador debe comparar los datos con los datos históricos de la actividad o las salidas del modelo para detectar posibles anomalías. Debe garantizar la fiabilidad de los datos de la actividad respecto de los combustibles que presentan una distribución menor; el combustible usado para otros fines, el tránsito en carreteras y fuera de ellas, y el transporte ilegal de combustible dentro y fuera del país. Asimismo, el compilador debe evitar el cómputo doble de los vehículos agrícolas y todo terreno.

Revisión externa

El compilador del inventario debe realizar una revisión independiente y objetiva de los cálculos, las hipótesis y la documentación del inventario de emisiones, para evaluar la eficacia del programa de CC. Deben realizar la revisión de pares los expertos que estén familiarizados con la categoría de fuente y que entiendan los requisitos del inventario. El desarrollo de factores de emisión de CH₄ y N₂O resulta de especial importancia debido a las grandes incertidumbres de los factores por defecto.

3.2.4 Generación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales.

No es práctico incluir toda la documentación en el informe del inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias a los datos de fuentes, de modo que las estimaciones de las emisiones declaradas resulten transparentes y que puedan ser reproducidas las etapas para calcularlas. Se aplica en particular a los modelos nacionales usados para estimar las emisiones del transporte terrestre y para el trabajo destinado a mejorar el conocimiento de los factores de emisión específicos de la tecnología para el óxido nitroso y el metano, en los casos en los que las incertidumbres son particularmente grandes. Siempre y cuando la documentación sea clara, debe presentarse este tipo de información para su inclusión en la EFDB.

La confidencialidad no se perfila como una cuestión de peso respecto de las emisiones viales, aunque se observa que en algunos países la utilización del combustible por parte de las fuerzas militares puede mantenerse confidencial. La composición de algunos aditivos es confidencial, pero esto es importante únicamente si influye sobre las emisiones de gases de efecto invernadero.

Si se utiliza un modelo como MOVES o MOBILE de USEPA, el modelo COPERT de la AEMA (EPA 2005a, EPA 2005b, EEA 2005, respectivamente), debe llevarse un registro completo de todos los datos de entrada. Asimismo, deben documentarse todas las hipótesis específicas y las modificaciones del modelo.

3.2.5 Cuadros para la generación de informes y hojas de trabajo

Véanse las cuatro páginas de las hojas de trabajo (Anexo 1) para el método por sectores del Nivel I, que deben completarse para cada categoría de fuente. Los cuadros para la generación de informes están disponibles en el Volumen 1, Capítulo 8.

3.3 TRANSPORTE TODO TERRENO

La categoría todo terreno (1 A 3 e ii) del Cuadro 3.1.1 incluye los vehículos y la maquinaria móvil utilizados en la agricultura, silvicultura, industria (incluidos la construcción y el mantenimiento), el sector residencial y los sectores tales como el equipo de apoyo de tierra de los aeropuertos, los tractores agrícolas, las motosierras, los autoelevadores, las motos de nieve. Para una descripción sucinta de los tipos comunes de vehículos y equipos todo terreno, así como el tipo de motor y la potencia típicos de cada uno, véase AEMA 2005. También están disponibles las desagregaciones por sectores en USEPA, 2005b¹².

Los tipos de motores usados típicamente en estos equipos todo terreno incluyen los motores de chispa de compresión (diesel), los de encendido por chispa (motor de gasolina), los motores de 2 tiempos y los motores de gasolina de 4 tiempos.

3.3.1 Cuestiones metodológicas

Se estiman las emisiones de los vehículos todo terreno usando las mismas tecnologías aplicadas a las fuentes móviles, como se presenta en la Sección 3.2. No se modificaron desde la publicación de las *Directrices del IPCC de 1996 y las GPG2000*, con la excepción de que, como se analiza en la Sección 3.2.1.2, los factores de emisión ahora suponen la oxidación total del combustible. Ello responde a la necesidad de garantizar la coherencia con el capítulo Combustión estacionaria. Además, estas directrices contienen un método para estimar las emisiones de CO₂ de los conversores catalíticos que utilizan urea, una fuente de emisiones que no fue abordada con anterioridad.

¹² El Apéndice B de esta referencia presenta los códigos de clasificación de las fuentes y las definiciones de: (a) vehículos recreativos; (b) equipos de construcción; (c) equipos industriales; (d) equipos para césped y jardín; (e) maquinaria agrícola; (f) equipos comerciales; (g) tala; (h) equipos para GSE/minas subterráneas/yacimientos; (i) marítimo recreativo y; (j) mantenimiento de ferrocarriles.

3.3.1.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Hay tres opciones metodológicas para estimar las emisiones de CO₂, CH₄, y N₂O procedentes de la combustión en las fuentes móviles todo terreno: Nivel 1, Nivel 2 y Nivel 3. Figura 3.3.1: El árbol de decisión para estimar las emisiones procedentes de los vehículos todo terreno proporciona los criterios para seleccionar el método correcto. El método preferido para determinar las emisiones de CO₂ es usar el consumo de combustible para cada tipo de combustible sobre la base específica del país. Sin embargo, puede haber dificultades con los datos de la actividad debido a la cantidad y diversidad de tipos de equipos, ubicaciones y patrones de uso asociados a los vehículos y a la maquinaria todo terreno. Además, muchas veces no se recopilan ni publican los datos estadísticos sobre el consumo de combustible por parte de los vehículos todo terreno. En este caso, se necesitan los métodos de nivel superior para el CO₂ y para los gases no CO₂ porque dependen mucho más de la tecnología y las condiciones de utilización.

Se presenta un método único para estimar las emisiones de CO₂ procedentes de los conversores catalíticos que usan la urea. Muchos tipos de vehículos todo terreno no tienen instalados los conversores catalíticos, pero quizá se utilicen cada vez más los controles de emisiones para algunas categorías de vehículos todo terreno, en especial los utilizados en áreas urbanas (p. ej., el equipo de apoyo de tierra de aeropuertos o puertos) en los países desarrollados. Si se usan los conversores catalíticos que utilizan urea en los vehículos todo terreno, deben estimarse las emisiones de CO₂ asociadas.

El método general para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero de las fuentes de energía puede describirse del siguiente modo:

ECUACIÓN 3.3.1
ESTIMACIÓN DE EMISIONES DEL NIVEL 1

$$Emisiones = \sum_j (Combustible_j \cdot EF_j)$$

Donde:

Emisiones	= Emisiones (kg)
Combustible _j	= combustible consumido (representado por el combustible vendido) (TJ)
EF _j	= factor de emisión (kg/TJ)
j	= tipo de combustible

Para el Nivel 1, se estiman las emisiones usando los factores de emisión por defecto específicos del combustible que aparecen en el Cuadro 3.3.1, suponiendo que, para cada tipo de combustible, consume el total una única categoría de fuente todo terreno.

Para el Nivel 2, se estiman las emisiones usando factores de emisión específicos del país y del combustible, los cuales -si están disponibles- son específicos del tipo más amplio de vehículo o maquinaria. Ir más allá del Nivel 2 para las estimaciones de emisiones de CO₂ ofrece pocos beneficios o ninguno, siempre que haya disponibles datos fiables sobre el consumo del combustible.

ECUACIÓN 3.3.2
ESTIMACIÓN DE EMISIONES DEL NIVEL 2

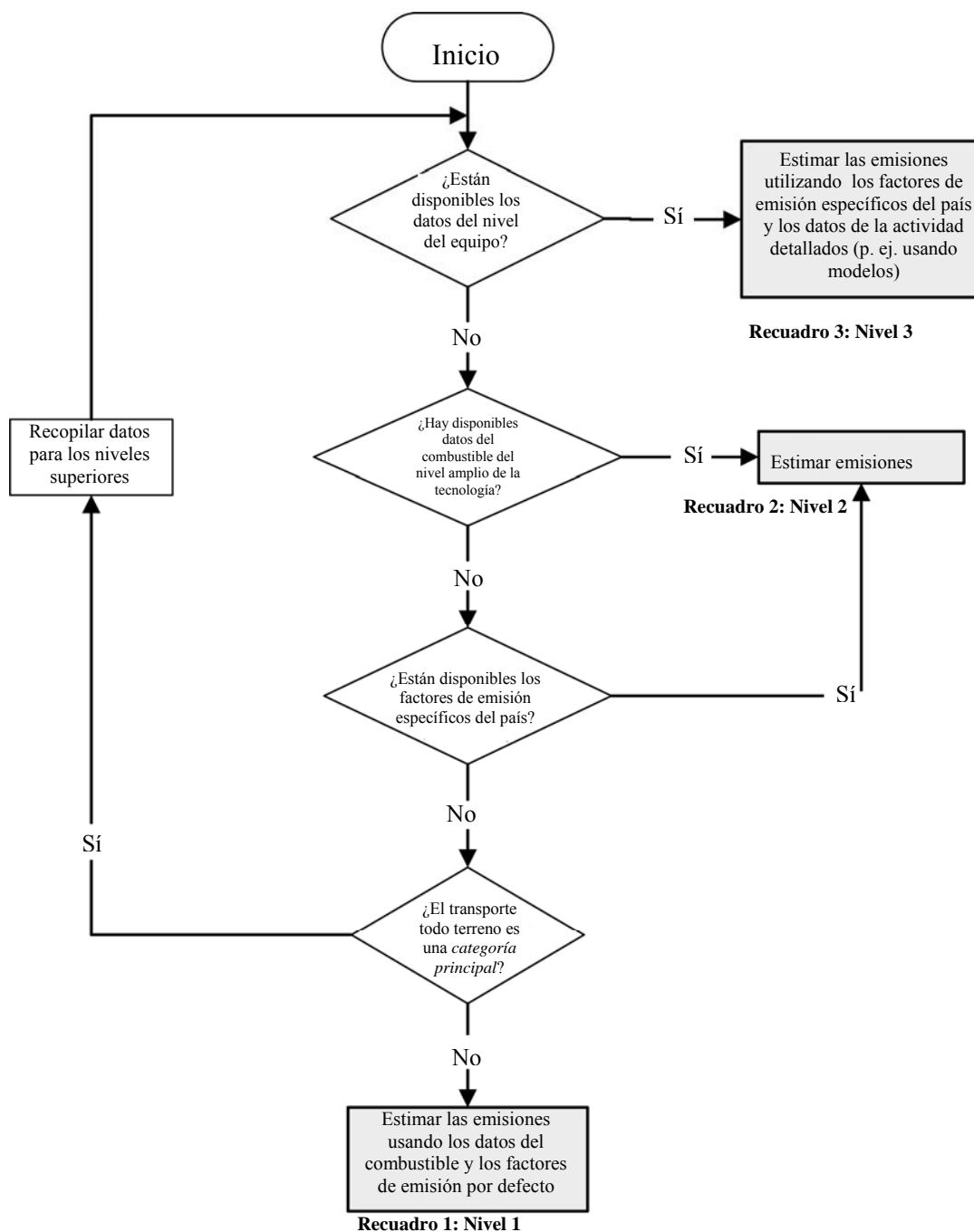
$$Emisiones = \sum (Combustible_{i,j} \cdot EF_{i,j})$$

Donde:

Emisiones	= emisiones (kg)
Combustible _{i,j}	= combustible consumido (representado por el combustible vendido) (TJ)
EF _{i,j}	= factor de emisión (kg/TJ)
i	= tipo de vehículo/equipo
j	= tipo de combustible

Para el Nivel 3, si hay datos disponibles, es posible estimar las emisiones a partir de las horas anuales de uso y de los parámetros específicos del equipo, como la potencia nominal, el factor de carga y los factores de emisión sobre la base de la utilización de energía. Para los vehículos todo terreno, es posible que estos datos no se recopilen ni publiquen en forma sistemática, ni estén disponibles con el nivel de detalle suficiente, y quizá se deba estimarlos combinando los datos con las hipótesis.

Figura 3.3.1 **Árbol de decisión para estimar las emisiones procedentes de los vehículos todo terreno**



Nota: Véase el Volumen 1, Capítulo 4, «Opción metodológica e identificación de categorías principales» (principalmente la sección 4.1.2 relativa a los recursos limitados) para conocer el análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión.

La Ecuación 3.3.3 representa la metodología de Nivel 3, en la cual se aplica la siguiente ecuación básica para calcular las emisiones (en Gg):

ECUACIÓN 3.3.3
ESTIMACIÓN DE EMISIONES DEL NIVEL 3

$$Emisión = \sum_{ij} (N_{ij} \cdot H_{ij} \cdot P_{ij} \cdot LF_{ij} \cdot EF_{ij})$$

Donde:

Emisión	= emisión en kg
N_{ij}	= población de fuente
H_{ij}	= horas anuales de utilización del vehículo i (h)
P_{ij}	= potencia nominal promedio del vehículo i (kW)
LF_{ij}	= factor de carga típico del vehículo i (fracción entre 0 y 1)
EF_{ij}	= factor de emisión promedio para usar combustible j en el vehículo i (kg/kWh)
i	= tipo de vehículo todo terreno
j	= tipo de combustible

Es posible estratificar la Ecuación 3.3.3 a través de factores tales como la antigüedad, el modelo tecnológico o el patrón de uso, y esto aumenta la exactitud de las estimaciones, siempre que haya disponibles conjuntos coherentes entre sí de parámetros H, P, LF y EF para respaldar la estratificación (EEA 2005). Se encuentran disponibles otras herramientas de modelización detallada para estimar las emisiones todo terreno con la metodología de Nivel 3 (p. ej., NONROAD (USEPA 2005a) y COPERT (Ntziachristos 2000)).

Para estimar las emisiones de CO₂ del uso de aditivos en base a urea en los conversores catalíticos (emisiones no combustivas), se utiliza la Ecuación 3.3.4:

ECUACIÓN 3.3.4

EMISIONES PROCEDENTES DE LOS CONVERTORES CATALÍTICOS EN BASE A UREA

$$Emisiones = Actividad \cdot \left(\frac{12}{60}\right) \cdot Factor\ de\ pureza \cdot \left(\frac{44}{12}\right)$$

Donde:

Emisión	= Emisión de CO ₂ (kg)
Actividad	= Masa (kg) de aditivo basado en urea consumido para uso en conversores catalíticos
Factor de pureza	= Fracción de urea en el aditivo basado en la urea (si es porcentaje, dividir por 100)

El factor (12/60) captura la conversión estequiométrica de la urea ((CO(NH₂)₂)) al carbono, mientras que el factor (44/12) convierte el carbono en CO₂.

3.3.1.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Los factores de emisión de CO₂ por defecto suponen que se oxida el 100% del carbono combustible en CO₂. Es independiente de que la emisión del carbono sea inicialmente como CO₂, CO, COVDM o como materia particulada.

Deben utilizarse los datos VCN y FEC específicos del país para los Niveles 2 y 3. Los compiladores quizá deseen consultar la guía CORINAIR 2004 o la EFDB para conocer los factores de emisión, teniendo en cuenta que es su responsabilidad garantizar que los factores de emisión tomados de la EFDB sean aplicables a las circunstancias nacionales.

Para un ejemplo de método de Nivel 3, véase el Recuadro 3.3.1, en el que se presenta más información sobre la adaptación del modelo de emisiones NONROAD usando datos específicos del país así como el modelo, para ampliar los factores de emisión nacionales.

En el Cuadro 3.3.1 se presentan los factores de emisión por defecto para el CO₂ y sus rangos de incertidumbre, y los factores de emisión por defecto para el CH₄ y el N₂O para el Nivel 1. Para estimar las emisiones de CO₂, los compiladores de inventarios también tienen la opción de usar los factores de emisión sobre la base del consumo de combustible específico del país por parte de los vehículos todo terreno.

CUADRO 3.3.1 FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LAS FUENTES Y MAQUINARIA MÓVILES TODO TERRENO ^(a)									
	CO ₂			CH ₄ ^(b)			N ₂ O ^(c)		
Fuente todo terreno	Por defecto (kg/TJ)	Inferior	Superior	Por defecto (kg/TJ)	Inferior	Superior	Por defecto (kg/TJ)	Inferior	Superior
Diesel									
Agricultura	74 100	72 600	74 800	4,15	1,67	10,4	28,6	14,3	85,8
Silvicultura	74 100	72 600	74 800	4,15	1,67	10,4	28,6	14,3	85,8
Industria	74 100	72 600	74 800	4,15	1,67	10,4	28,6	14,3	85,8
Hogares	74 100	72 600	74 800	4,15	1,67	10,4	28,6	14,3	85,8
Motor de 4 tiempos a gasolina									
Agricultura	69 300	67 500	73 000	80	32	200	2	1	6
Silvicultura	69 300	67 500	73 000						
Industria	69 300	67 500	73 000	50	20	125	2	1	6
Hogares	69 300	67 500	73 000	120	48	300	2	1	6
Motor de 2 tiempos a gasolina									
Agricultura	69 300	67 500	73 000	140	56	350	0,4	0,2	1,2
Silvicultura	69 300	67 500	73 000	170	68	425	0,4	0,2	1,2
Industria	69 300	67 500	73 000	130	52	325	0,4	0,2	1,2
Hogares	69 300	67 500	73 000	180	72	450	0,4	0,2	1,2

Fuente: EEA (2005).

Nota: Los valores del factor de emisión del CO₂ representan el contenido total del carbono.

^a Los datos provistos en el Cuadro 3.3.1 se basan en las fuentes y la maquinaria móviles todo terreno europeas. Para la gasolina, en el caso de que el consumo de combustible por sector no esté discriminado, pueden obtenerse valores por defecto según las circunstancias nacionales; p. ej., la preponderancia de un sector dado o la ponderación por actividad

^b Incluidas las pérdidas diurnas, por remojo y funcionamiento.

^c En general, los vehículos todo terreno no tienen instalados catalizadores de control de las emisiones (puede haber excepciones entre los vehículos todo terreno en las áreas urbanas, como el equipo de apoyo de tierra usado en los aeropuertos y puertos urbanos). Los catalizadores que funcionan correctamente convierten los óxidos de nitrógeno en N₂O y el CH₄ en CO₂. No obstante, la exposición de los catalizadores a los combustibles con plomo o con alto contenido de azufre, incluso una vez, causa un deterioro permanente (Walsh, 2003). Este efecto, si es aplicable, debe ser tenido en cuenta al ajustar los factores de emisión.

3.3.1.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Muchas veces no hay disponibles datos de la actividad exhaustivos y de arriba hacia abajo de los vehículos todo terreno y, de ser así, son necesarios sondeos estadísticos para estimar la porción de combustible para transporte utilizado por los vehículos todo terreno. Se analiza el diseño del sondeo en el Capítulo 2 del Volumen 1 (Métodos para la recopilación de datos). Los sondeos deben ser al nivel de desagregación indicado en el Cuadro 3.3.1 para utilizar los datos del factor de emisión por defecto, y más detallados para los niveles superiores. Para el método del Nivel 3, están disponibles las herramientas de modelización para estimar la cantidad de combustible consumido por subcategoría de equipo. El Recuadro 3.3.1 proporciona más información sobre la utilización del modelo de emisiones NONROAD. También puede desarrollarse este modelo para que incluya las modificaciones específicas del país (véase el Recuadro 3.3.2 sobre la experiencia canadiense).

RECUADRO 3.3.1
MODELO DE EMISIONES NONROAD (USEPA)

NONROAD 2005 es un modelo matemático desarrollado por la USEPA, que puede utilizarse para estimar y pronosticar las emisiones procedentes de los sectores de transporte ajeno a las carreteras (todo terreno). Es posible acceder al modelo en sí y a toda la documentación de respaldo disponible en el sitio Web de la EPA (<http://www.epa.gov/otaq/nonrdmdl.htm>). Este modelo estima las emisiones para seis gases de escape: hidrocarburos (HC), NO_x, monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), óxidos de azufre (SO_x), y materia particulada (PM). El usuario selecciona entre cinco tipos diferentes para declarar el HC: total de hidrocarburos (THC), total de gases orgánicos (TOG), gases orgánicos diferentes del metano (GODM), hidrocarburos diferentes del metano (HCDM), y compuestos orgánicos volátiles (COV).

En general, este modelo puede efectuar una estimación de abajo hacia arriba de las emisiones procedentes de las fuentes definidas, usando parámetros específicos del equipo, como ser: (i) poblaciones de motores; (ii) horas anuales de uso; (iii) potencia nominal (caballos de fuerza); (iv) factor de carga (porcentaje de carga o ciclo de vida), y (v) consumo de combustible específico del freno (combustible consumido por hora de caballo de fuerza). La función calcula la cantidad de combustible consumido por cada subcategoría de equipo. Posteriormente, pueden aplicarse los factores de emisiones específicos del subsector (tecnología/combustible) para desarrollar la estimación de emisión. El modelo es sensible a los parámetros elegidos pero puede usarse para prorratear las estimaciones de emisiones desarrolladas con un método de arriba hacia abajo.

No es poco común que el método de abajo hacia arriba que utiliza este modelo se desvíe de un resultado similar de arriba hacia abajo por un factor de 2 (100%) y, por lo tanto, se advierte a los usuarios que deben revisar la documentación para detectar aquellas áreas en las que puede reducirse esta brecha mediante un ajuste cuidadoso de sus propias entradas. En consecuencia, los usuarios deben comprender la composición de la población y del combustible/la tecnología de la región que está en evaluación. Sin embargo, es posible establecer ajustes razonables basados en: los niveles nacionales de manufactura; los registros de importación/exportación; la vida útil estimada y las funciones de desguase. Estas últimas intentan definir el índice de pérdida del equipo y pueden ayudar a ilustrar las poblaciones presentes, sobre la base de los inventarios de equipos históricos (véase el Recuadro 3.2.3 de la Sección 3.2 de este volumen).

3.3.1.4 EXHAUSTIVIDAD

Debe evitarse la duplicación de los datos de la actividad del transporte todo terreno y terrestre. La validación del consumo de combustible debe seguir los principios planteados en la Sección 3.2.1.3. Deben contabilizarse los lubricantes sobre la base de su utilización en los vehículos todo terreno. Los lubricantes que se mezclan con la gasolina para motores y que se queman deben incluirse con los datos de consumo del combustible. Quedan cubiertos otros usos de los lubricantes en el Volumen 3: IPPU Capítulo 5).

Las cantidades de carbono de la biomasa, p. ej., biodiésel, los oxigenados y algunos otros agentes de mezcla deben estimarse por separado y declararse como elemento informativo, para evitar el cómputo doble, puesto que estas emisiones ya se tratan en el sector AFOLU.

3.3.1.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Es una *buena práctica* determinar los datos de la actividad (p. ej., el uso del combustible) usando el mismo método todos los años. Si no es posible, la recopilación de datos debe proporcionar una superposición parcial suficiente para controlar la coherencia de los métodos empleados. Si no es posible recopilar los datos de la actividad para el año de base (p. ej., 1990), quizá sea correcto extrapolar los datos hacia atrás, usando las tendencias de otros registros de los datos de la actividad.

Las emisiones de CH₄ y N₂O dependen del tipo del motor y de la tecnología. A menos que se hayan desarrollado factores de emisión específicos de la tecnología, es una *buena práctica* utilizar el mismo conjunto de factores de emisión específicos del combustible para todos los años.

Las actividades de mitigación que producen cambios en el consumo total de combustible se verán reflejadas en las estimaciones de emisiones si se recopilan los datos reales de la actividad del combustible. Las opciones de mitigación que afectan los factores de emisión, no obstante, solamente pueden capturarse usando factores de emisión específicos del motor o desarrollando hipótesis de tecnología de control. Los cambios producidos en los factores de emisión a través del tiempo deben estar bien documentados.

Para obtener más información sobre la forma de determinar las emisiones del año de base y garantizar la coherencia de la serie temporal, véase el Volumen 1, Capítulo 5 (Coherencia de la serie temporal).

RECUADRO 3.3.2
LA EXPERIENCIA CANADIENSE CON EL MODELO NONROAD

Utilización del modelo para mejorar los factores de emisión nacionales:

El NONROAD está ocupado inicialmente con datos nativos de los Estados Unidos, pero se puede personalizar para una región o Parte dadas, simplemente ajustando los parámetros supuestos de entrada a las situaciones locales. Quizá las Partes quieran designar su región como si fuera similar a una de las regiones presentes en los Estados Unidos para emular mejor el clima estacional. No obstante, un régimen de temperatura designado también puede introducirse en otras partes. Por lo tanto, el modelo NONROAD está cargado previamente con los valores por defecto de los Estados Unidos, lo que permite que sus habitantes lo consulten en forma inmediata.

Canadá ha comenzado a ajustar este modelo iniciando estudios nacionales para evaluar mejor las poblaciones de motores específicas del país, las tecnologías disponibles, los factores de carga y los valores de consumo de combustible específicos del freno (BSFC del inglés, *brake-specific fuel consumption*) exclusivos de la región canadiense. Esta nueva información facilitará la creación de archivos de entrada específicos de Canadá y, por lo tanto, no modificará el algoritmo del programa central de la EPA, sino que completará la explotación de las fortalezas del programa al suministrar definiciones de funcionamiento y población más representativas. Mediante la presentación de datos de entrada de menor incertidumbre, es posible usar el modelo en conjunto con las estadísticas nacionales de consumo de combustible para llegar a una estimación razonable y desagregada de las emisiones. Si se trabaja con un modelo de carretera elaborado de forma similar, para el cual se comprenden mejor los parámetros de funcionamiento, es posible escalar una estimación completa y de abajo hacia arriba de consumo de combustible «aparente», a las ventas totales nacionales de combustible. El país ha utilizado este concepto de modelización para ayudar a mejorar los factores de emisión específicos del país para el consumo de combustible ajeno a la carretera. El total del combustible consumido se estima por tipo de combustible para cada uno de los sectores de equipos muy agregados: (i) motores de 2 ciclos en contraposición a motores de 4 ciclos; (ii) sectores de agricultura, silvicultura, industrial, hogares y recreativo; (iii) gasolina en contraposición a diesel (encendido por chispa en contraposición al encendido por compresión). Una vez que el modelo declara la cantidad total de combustibles consumidos según esta matriz, se crea un factor de emisión compuesto, basado en los promedios ponderados de los subsectores aportantes y sus factores de emisión exclusivos. Las proporciones de 2 ciclos opuestas a las de 4 ciclos contribuyen a un factor de emisión promedio de la gasolina fuera de la carretera, mientras que el factor de emisión del diesel se determina directamente. Los factores de emisión que representan la mayoría de los gases con PCA en la actualidad no están bien investigados ni documentados en América del Norte y, por lo tanto, Canadá ha utilizado históricamente los factores de emisión aplicables de CORINAIR para estos sectores de equipos agregados. Las similitudes entre las tecnologías anteriores presentes en Europa y América del Norte permiten esta utilización, sin introducir una incertidumbre no razonable.

3.3.2 Evaluación de incertidumbre

Las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de fuentes todo terreno o ajenas a la carretera suelen ser muy inferiores a las procedentes del transporte terrestre, pero las actividades de esta categoría son diversas y, como tales, proclives a estar asociadas con incertidumbres mayores por la incertidumbre adicional presente en los datos de la actividad.

Los tipos de equipos y sus condiciones de funcionamiento suelen ser más diversos que los correspondientes al transporte terrestre, lo que puede dar lugar a una variación mayor de los factores de emisión y a mayores incertidumbres. Sin embargo, la estimación de incertidumbre tiende a estar dominada por los datos de la actividad, por lo que es razonable suponer, por defecto, que se aplican los valores de la sección 3.2.1.2. Asimismo, los controles de emisión –si están instalados– tienden a no ser operables debido a las fallas del catalizador (p. ej., por exposición al combustible de alto contenido de azufre). De esta forma, las emisiones de N₂O y CH₄ se relacionan más estrechamente con los factores relativos a la combustión, como el combustible y la tecnología de los motores que con los sistemas de control de emisiones.

3.3.2.1 INCERTIDUMBRE DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Se determina la incertidumbre de los datos de la actividad mediante la exactitud de los sondeos o los modelos de abajo hacia arriba, sobre los cuales se basan las estimaciones de la utilización del combustible por fuente todo terreno y tipo de combustible (véase el Cuadro 3.3.1 para conocer la clasificación por defecto). Depende mucho del caso, pero el factor de 2 incertidumbres es posible, a menos que existan pruebas en contrario del diseño del sondeo.

3.3.3 Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC) del inventario

Es una *buena práctica* realizar controles de calidad como los del Capítulo 6 del Volumen 1 y revisiones de expertos de las estimaciones de emisiones, además de otros controles, si se utilizan métodos de nivel superior.

Además de la orientación provista en lo precedente, se delinear a continuación los procedimientos específicos pertinentes para esta categoría de fuente.

Revisión de los factores de emisión

El compilador del inventario debe garantizar que la fuente de datos original para los factores nacionales sea aplicable a cada categoría y que se hayan efectuado los controles de exactitud sobre la adquisición y el cálculo de los datos. Para los factores por defecto, el compilador debe garantizar que sean aplicables y pertinentes a la categoría. De ser posible, deben compararse los factores por defecto con los factores nacionales, para obtener un indicio mayor de que los factores son aplicables y razonables.

Control de los datos de la actividad

Debe revisarse la fuente de los datos de la actividad, para garantizar la aplicabilidad y la pertinencia a la categoría. De ser posible, deben compararse los datos con los datos de la actividad históricos o con las salidas del modelo, para detectar anomalías. En los casos en los que se utilizaron datos del sondeo, la suma de la utilización del combustible en la carretera y fuera de ella debe ser coherente con el combustible total utilizado en el país. Además, debe realizarse una evaluación de exhaustividad, como se describe en la Sección 3.3.1.4.

Revisión externa

El compilador del inventario debe realizar una revisión independiente y objetiva de los cálculos, las hipótesis, la documentación o de ambos inventarios de emisiones, para evaluar la eficacia del programa de CC. Deben realizar la revisión de pares los experto(s) que estén familiarizados con la categoría de fuente y que entiendan los requisitos del inventario nacional de gases de efecto invernadero.

3.3.4 Generación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se plantea en el Capítulo 8 del Volumen 1.

No es práctico incluir toda la documentación en el informe del inventario nacional. Sin embargo, el inventario debe incluir resúmenes de los métodos utilizados y referencias a los datos de fuentes, de modo que las estimaciones de las emisiones declaradas resulten transparentes y que puedan ser reproducidas las etapas para calcularlas.

A continuación se presentan algunos ejemplos de cuestiones específicas de documentación y declaración pertinentes para esta categoría de fuente.

Además de declarar las emisiones, es una *buena práctica* proporcionar:

- La fuente del combustible y otros datos;
- Los factores de emisión usados y las referencias asociadas;
- El análisis de incertidumbre o sensibilidad de los resultados, o tanto de los cambios como de las hipótesis de los datos de entrada.
- Los pilares del diseño del sondeo, si se lo utiliza para determinar los datos de la actividad.
- Las referencias a los modelos utilizados para elaborar las estimaciones.

3.3.5 Cuadros para la generación de informes y hojas de trabajo

Véanse las cuatro páginas de las hojas de trabajo (Anexo 1) para el método por sectores del Nivel I, que deben completarse para cada categoría de fuente. Los cuadros para la generación de informes están disponibles en el Volumen 1, Capítulo 8.

3.4 FERROCARRILES

Las locomotoras suelen pertenecer a uno de los siguientes tres tipos: diesel, eléctricas o a vapor. Las locomotoras diesel suelen tener motores diesel en combinación con un alternador o generador, para producir la electricidad necesaria para alimentar los motores de tracción.

Estas locomotoras están comprendidas en tres grandes categorías: locomotoras de maniobras, coches automotores y locomotoras de arrastre de línea. Las locomotoras de maniobras cuentan con motores diesel con una potencia nominal de aproximadamente 200 a 2000 kW. Los coches automotores se usan principalmente para tracción de rieles de corta distancia, p. ej., tránsito urbano/suburbano. Están equipados con motor diesel de una potencia de unos 150 a 1000 kW.

Las locomotoras de arrastre de línea se utilizan para tracción de rieles de larga distancia, tanto para carga como para pasajeros. Están equipadas con motor diesel con una potencia de alrededor de 400 a 4000 kW (EEA, 2005).

Las locomotoras eléctricas funcionan con la electricidad generada en las centrales eléctricas estacionarias y en otras fuentes. Se abordan las emisiones correspondientes en el capítulo Combustión estacionaria de este Volumen.

En general, ahora se utilizan las locomotoras a vapor para operaciones muy localizadas, principalmente como atractivos turísticos y, en consecuencia, su aporte a las emisiones de gases de efecto invernadero es pequeño. Sin embargo, para algunos países, hasta la década de 1990, se utilizaba el carbón en una fracción significativa de locomotoras. A los fines de garantizar la exhaustividad, deben estimarse sus emisiones con un método similar al usado para las calderas de vapor convencionales, que trata el capítulo Combustión estacionaria.

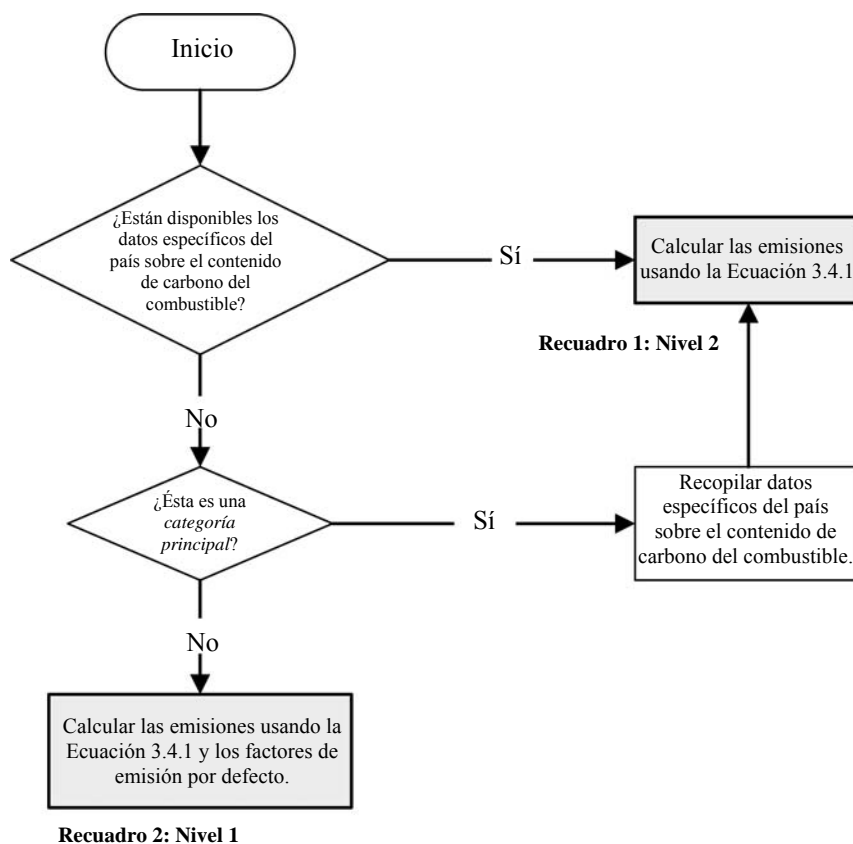
3.4.1 Cuestiones metodológicas

Las metodologías para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero de los ferrocarriles (Sección 3.4.1.1) no se modificaron sustancialmente desde la publicación de las *Directrices del IPCC de 1996* y la *GPG2000*. Sin embargo, para garantizar la coherencia con el capítulo Combustión estacionaria, ahora se estiman las emisiones de CO₂ sobre la base del contenido total de carbono del combustible. Este capítulo cubre la *buena práctica* relativa al desarrollo de estimaciones para los gases directos de efecto invernadero CO₂, CH₄ y N₂O. Para los gases precursores o los gases indirectos de efecto invernadero de CO, COVDM, SO₂, PM, y NO_x, véase la Guía de EMEP/Corinair (EEA, 2005) para información sobre otras fuentes móviles).

3.4.1.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

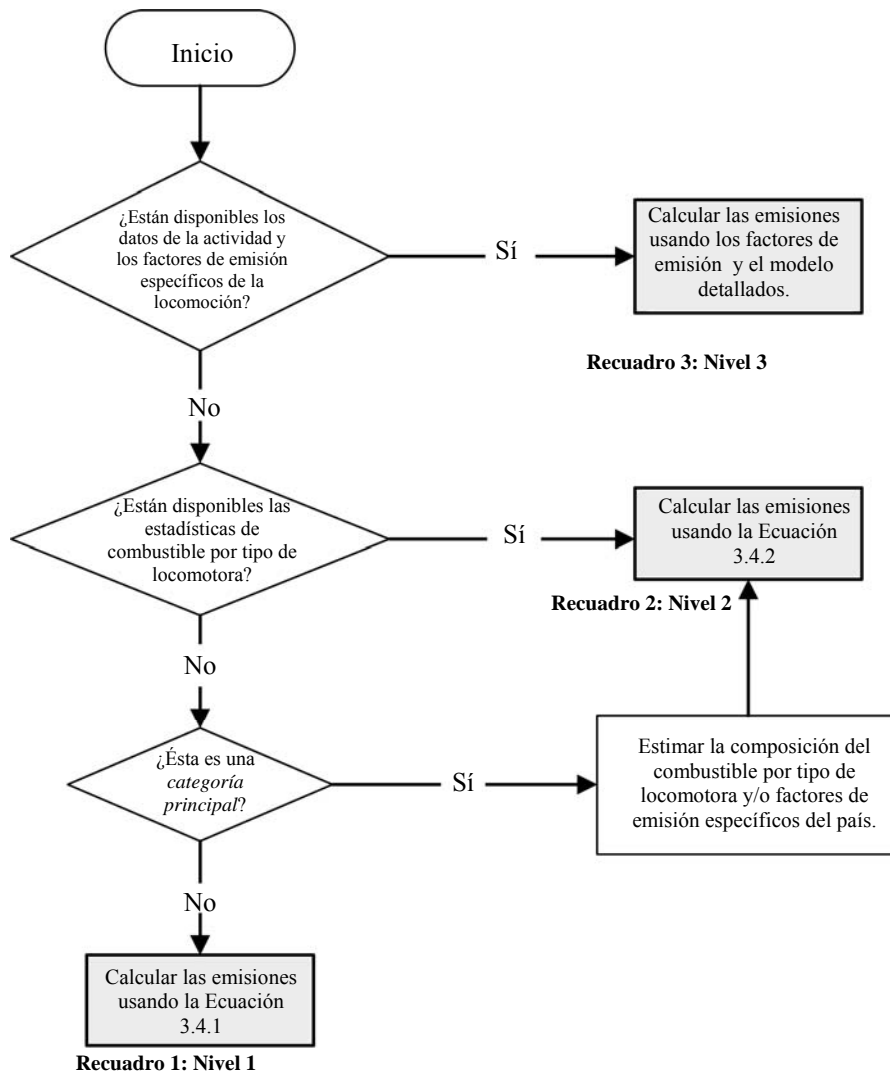
Existen tres opciones metodológicas para estimar las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O procedentes de los ferrocarriles. Los árboles de decisiones de las Figuras 3.4.1 y 3.4.2 aportan los criterios para elegir las metodologías.

Figura 3.4.1 **Árbol de decisión para estimar las emisiones de CO₂ procedentes de los ferrocarriles**



Nota: Véase el Volumen 1, Capítulo 4, «Opción metodológica e identificación de categorías principales» (principalmente la sección 4.1.2 relativa a los recursos limitados) para conocer el análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión.

Figura 3.4.2 **Árbol de decisión para estimar las emisiones de CH₄ y N₂O procedentes de los ferrocarriles**



Nota: Véase el Volumen 1, Capítulo 4, «Opción metodológica e identificación de categorías principales» (principalmente la sección 4.1.2 relativa a los recursos limitados) para conocer el análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión.

Los tres niveles de metodologías de estimación son variaciones de la misma ecuación fundamental:

ECUACIÓN 3.4.1
MÉTODO GENERAL PARA LAS EMISIONES PROCEDENTES DE LAS LOCOMOTORAS

$$Emisiones = \sum_j (Combustible_j \cdot EF_j)$$

Donde:

- Emisiones = emisiones (kg)
- Combustible_j = tipo de combustible j consumido (representado por el combustible vendido) en (TJ)
- EF_j = factor de emisión por tipo de combustible j, (kg/TJ)
- j = tipo de combustible

Para el Nivel 1, se estiman las emisiones usando los factores de emisión por defecto específicos del combustible que aparecen en el Cuadro 3.4.1, suponiendo que para cada tipo de combustible, consume el total un único tipo de locomotora. Para el CO₂, el Nivel 2 utiliza nuevamente la ecuación 3.4.1 con datos específicos del país sobre

el contenido de carbono del combustible. Ir más allá del Nivel 2 para estimar las emisiones de CO₂ ofrece pocos beneficios o ninguno.

Respecto del Nivel 2, para el CH₄ y N₂O, se estiman las emisiones con los factores de emisión específicos del país y del combustible presentados en la ecuación 3.4.2. Los factores de emisión, si están disponibles, deben ser específicos del tipo amplio de tecnología de locomotora.

ECUACIÓN 3.4.2
MÉTODO DE NIVEL 2 PARA EL CH₄ Y N₂O PROCEDENTE DE LAS LOCOMOTORAS

$$Emisiones = \sum_i (Combustible_i \cdot EF_i)$$

Donde:

Emisiones = emisiones (kg)

Combustible_i = combustible consumido (representado por el combustible vendido) por tipo de locomotora i, (TJ)

EF_i = factor de emisión por tipo de locomotora i, (kg/TJ)

i = tipo de locomotora

Los métodos de Nivel 3, si hay datos disponibles, utilizan una modelización más detallada del empleo de cada tipo de motor y tren, que afecta las emisiones a través de la dependencia de los factores de emisión en carga. Entre los datos necesarios se incluye el consumo de combustible que puede estratificarse aún más, según el viaje típico (p. ej., carga, interurbano, regional) y los kilómetros recorridos por tipo de tren. Es posible recopilar estos tipos de datos para otros fines (p. ej., emisiones de contaminantes del aire, según la velocidad y la geografía, o a partir de la dirección del ferrocarril).

La Ecuación 3.4.3 es un ejemplo de una metodología más detallada (Nivel 3), que se basa principalmente en el método de la USEPA para estimar las emisiones ajenas a la carretera (USEPA 2005 a & b). Utiliza la siguiente fórmula básica para calcular las emisiones (en Gg):

ECUACIÓN 3.4.3
EJEMPLO DE NIVEL 3 DE MÉTODO PARA EL CH₄ Y N₂O PROCEDENTE DE LAS LOCOMOTORAS

$$Emisión = \sum_i (N_i \cdot H_i \cdot P_i \cdot LF_i \cdot EF_i)$$

Donde:

Emisión = emisiones de CH₄ o N₂O (kg)

N_i = cantidad de locomotoras de tipo i

H_i = horas anuales de utilización de la locomotora i [h]

P_i = potencia nominal promedio de la locomotora i [kW]

LF_i = factor de carga típico de la locomotora i (fracción entre 0 y 1)

EF_i = factor de emisión promedio para usar en la locomotora i [kg/kWh]

i = tipo de locomotora y tipo de viaje

En esta metodología, es posible subdividir los parámetros H, P, LF y EF, como H en un patrón de uso que depende de la antigüedad (EEA, 2005). Se encuentran disponibles numerosas herramientas de modelización detallada para estimar las emisiones procedentes de las locomotoras, usando las metodologías del Nivel 3 (p. ej., RAILI (VTT 2003); NONROAD (USEPA 2005a y b); COST 319 (Jorgensen & Sorenson, 1997)). Véase el Recuadro 3.4.1 para conocer un ejemplo de un método de Nivel 3.

3.4.1.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

En el Cuadro 3.4.1 se presentan los factores de emisión por defecto para CO₂, CH₄ y N₂O y sus rangos de incertidumbre para el Nivel 1. Para estimar las emisiones de CH₄ y N₂O, se alienta a los compiladores del inventario a usar factores de emisión específicos del país para las locomotoras, si están disponibles.

CUADRO 3.4.1
FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LOS COMBUSTIBLES MÁS COMUNES USADOS PARA EL TRANSPORTE FERROVIARIO

Gas	Diesel (kg/TJ)			Carbón sub-bituminoso (kg/TJ)		
	Por defecto	Inferior	Superior	Por defecto	Inferior	Superior
CO ₂	74 100	72 600	74 800	96 100	72 800	100 000
CH ₄ ¹	4,15	1,67	10,4	2	0,6	6
N ₂ O ¹	28,6	14,3	85,8	1,5	0,5	5

Notas:
¹ Para un consumo promedio de 0,35 litros por bhp-hr (caballos de fuerza de frenado-hora) para una locomotora de 4000 HP (0,47 litros por kWh para una locomotora de 2983 kW). (Dunn, 2001).
² Los factores de emisión del diesel se derivan de (EEA, 2005) (Cuadro 8-1), mientras que para el carbón, se derivan del Cuadro 2.2 del capítulo Combustión estacionaria.

Para los gases no CO₂, pueden modificarse estos factores de emisión por defecto, según los parámetros de diseño del motor, según la Ecuación 3.4.4, por medio de los factores de ponderación de los contaminantes del Cuadro 3.4.2

ECUACIÓN 3.4.4
PONDERACIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN DE CH₄ Y N₂O PARA TECNOLOGÍAS ESPECÍFICAS

$$EF_{i,diesel} = PWF_i \cdot EF_{pordefecto,diesel}$$

Donde:

- EF_{i,diesel} = factor de emisión específico del motor por tipo de locomotora i, (kg/TJ)
- PWF_i = factor de ponderación del contaminante para locomotoras del tipo i [sin dimensiones]
- EF_{por defecto, diesel} = factor de emisión por defecto para diesel (se aplica a CH₄, N₂O) (kg/TJ)

CUADRO 3.4.2
FACTORES DE PONDERACIÓN DE CONTAMINANTES COMO FUNCIONES DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE MOTORES PARA MOTORES SIN CONTROLAR (SIN DIMENSIÓN)

Tipo de motor	CH ₄	N ₂ O
Inyección directa con aspiración natural	0,8	1,0
Inyección directa turbo / Inyección directa turbo con radiador intermedio	0,8	1,0
Inyección de cámara previa con aspiración natural	1,0	1,0
Inyección de cámara previa turbo	0,95	1,0
Inyección de cámara previa turbo con radiador intermedio	0,9	1,0

Fuente: EEA 2005 (Cuadro 8-9);

Para tomar en cuenta el incremento de las emisiones de CH₄ y N₂O con la antigüedad, es posible aumentar los factores de emisión por defecto para el CH₄ un 1,5 por ciento anual, mientras que el deterioro del N₂O es insignificante (EEA, 2005).

RECUADRO 3.4.1
EJEMPLO DEL MÉTODO DE NIVEL 3

Las disposiciones de la EPA de 1998 sobre motores diesel no viales están estructuradas en forma de progresión en 3 niveles (USEPA, 1998). Cada nivel de la USEPA implica una fase (por caballos de fuerza nominales) a través de varios años. Las normas del Nivel 0 estuvieron vigentes hasta 2001. Las normas más rigurosas de Nivel 1 tuvieron vigencia de 2002 a 2004, y las normas aún más rigurosas de Nivel 2 entraron en vigencia en 2005. Las principales mejoras se encuentran en las emisiones de NO_x y PM a través de los niveles de la USEPA. El uso de diesel mejorado con un menor contenido de azufre contribuye a reducir las emisiones de SO₂. El siguiente cuadro muestra los factores de emisión de amplio nivel tecnológico para éstas y otras locomotoras por encima de los 3000 HP. También pueden incluirse factores de emisión en g/pasajero-kilómetro para trenes de pasajeros y g/tonelada-kilómetro para trenes de carga para niveles superiores, si está disponible la información específica del país (p. ej., Hahn, 1989; UNECE 2002).

FACTORES DE EMISIÓN DE AMPLIO NIVEL TECNOLÓGICO								
Modelo	Motor	Potencia		Consumo de combustible diesel específico del freno (kg/kWh)	Niveles de emisión declarados (g/kWh)			
		HP	kW		NO _x	CO	HC	CO ₂
EMD SD-40	645E3B	3000	2237	0,246	15,82	2,01	0,36	440
EMD SD-60	710G3	3800	2834	0,219	13,81	2,68	0,35	391
EMD SD-70	710G3C	4000	2983	0,213	17,43	0,80	0,38	380
EMD SD-75	710G3EC	4300	3207	0,206	17,84	1,34	0,40	367
GE Dash 8	7FDL	3800	2834	0,219	16,63	6,44	0,64	391
GE Dash 9	7FDL	4400	3281	0,215	15,15	1,88	0,28	383
GE Dash 9	7FDL (Nivel 0)	4400	3281	0,215	12,74	1,88	0,28	383
Evolution	GEVO 12	4400	3281	NA	10,86	1,21	0,40	NA
2TE116	1A-5Д49	6035	2•2250	0,214	16,05	10,70	4,07	382
2TE10M	10Д100	5900	2•2200	0,226	15,82	10,62	4,07	403
TEП60	11Д45	2950	2200	0,236	16,05	10,62	3,84	421
TEП70	2A-5Д49	3420	2550	0,211	15,83	10,55	4,01	377
2M62	14Д40	3943	2•1470	0,231	13,40	9,01	3,23	412

Fuentes:

¹ Información sobre locomotoras EMD y GE basada en Dunn, 2001. Las estimaciones de CO y HC de nivel inferior para las locomotoras de arrastre de línea son 6,7 g/kWh y 1,3 g/kWh respectivamente.

² Para los modelos TE y 2M62, las estimaciones se basan en GSTU 1994

3.4.1.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Se necesitan los datos nacionales de consumo de combustible para estimar las emisiones de CO₂ para los métodos de Nivel 1 y Nivel 2. Para estimar las emisiones de CH₄ y N₂O con el Nivel 2, se necesitan los datos del nivel de la categoría de locomotoras. Los métodos del Nivel 3 exigen datos de la actividad para las operaciones (por ejemplo, kilómetro tonelada bruta (KTB) y el régimen de trabajo) en el nivel específico de la locomotora de arrastre de línea. Estos métodos también exigen otra información específica de la locomotora, como ser la población de fuente (con antigüedad y escala de potencia), kilometraje por tonelada de tren, horas de uso anuales y patrones de uso según la antigüedad, caballos de fuerza promedio nominales (con distribución de potencia individual dentro de las escalas de potencia dadas), factor de carga, información de sección (como topografía del terreno y velocidades del tren). Hay métodos de modelización alternativos para la estimación de Nivel 3 (VTT 2003; EEA 2005).

Las compañías de ferrocarriles o locomotoras, o las autoridades del transporte pertinentes pueden proporcionar los datos de consumo de combustible para las locomotoras de maniobras y de arrastre de línea. El aporte de las locomotoras de maniobras tiende a ser muy pequeño para casi todos los países. Si no se incluye aparte el consumo anual de combustible para las locomotoras de maniobras, quizá sea posible estimar el uso del combustible si hay disponibles datos típicos de la utilización y el uso diario del combustible según la ecuación siguiente:

ECUACIÓN 3.4.5

ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE LAS LOCOMOTORAS DE MANIOBRAS

Consumo de combustible del inventario = Cantidad de locomotoras de maniobras • Consumo promedio de combustible por locomotora y por día • Cantidad promedio de días de trabajo por locomotora en el año

Es posible obtener la cantidad de locomotoras de maniobras a través de las compañías de ferrocarriles o las autoridades del transporte. Si se desconoce el consumo de combustible promedio por día, se puede usar un valor de 863 litros por día (USEPA, 2005a). La cantidad de días de trabajo suele ser 365. Si no es posible obtener los datos correspondientes a la cantidad de locomotoras de maniobras, se puede aproximar el inventario de emisiones suponiendo que las locomotoras de arrastre de línea consumen todo el combustible.

Si hay disponibles datos del consumo del combustible para la jurisdicción en su totalidad (estado o territorio), puede haber cómputo doble cuando las locomotoras de una compañía llenan la jurisdicción de otra. Es posible resolverlo a niveles más altos mediante la utilización de datos del funcionamiento.

En los casos en los que se utilizan métodos de nivel superior, se debe cuidar que los datos del consumo de combustible utilizados para el CO₂ sean coherentes con los datos de la actividad usados para el CH₄ y el N₂O.

3.4.1.4 EXHAUSTIVIDAD

El diesel es el tipo de combustible más usado en los ferrocarriles, pero los compiladores deben cuidar de no omitir ni contabilizar dos veces los demás combustibles que pueden usarse en las locomotoras diesel para fines de tracción. Pueden estar mezclados con el diesel e incluir combustibles de petróleo (como el combustible residual, los fuelóleos u otros destilados), el Biodiésel (p. ej. ésteres de aceite de la semilla de colza, la soja, el girasol, el aceite de *Jatropha* o *Karanja*, o las grasas vegetales y animales recuperadas) y los combustibles sintéticos. Puede usarse el biodiésel en todos los motores diesel con una leve modificación o sin modificación alguna. Es posible la mezcla con el diesel convencional. Entre los combustibles sintéticos se incluyen los destilados intermedios sintéticos (SMD) y el dimetil éter (DME) que se producen a través de diversas sustancias carbonáceas para alimentación a procesos, incluidos el gas natural, el fuelóleo residual, los petróleos crudos pesados y el carbón mediante la producción de gas sintético. La mezcla varía y actualmente es de entre 2 y 5 por ciento de biodiésel y el resto diesel de petróleo. Se considera que las propiedades de emisión de estos combustibles son similares a las de los combustibles usados para el sector del transporte terrestre. Las emisiones de CO₂ procedentes de los combustibles derivados de la biomasa deben declararse como elementos informativos y no deben incluirse en el total nacional, para evitar el cómputo doble.

Las locomotoras diesel pueden quemar gas natural o carbón para calentar los coches. Si bien estas fuentes de energía pueden ser «móviles», los métodos para estimar las emisiones de la combustión de los combustibles para calefacción están cubiertas en la sección Combustión estacionaria de este volumen Energía. Los compiladores de los inventarios deben cuidar de no omitir ni contabilizar dos veces las emisiones procedentes de la energía utilizada para la calefacción de los coches del ferrocarril.

Las locomotoras diesel también consumen cantidades significativas de aceites lubricantes. Se abordan las emisiones relacionadas en el Capítulo 5 del volumen IPPU.

Existe una superposición parcial con otros sectores de fuentes. Muchos datos estadísticos no incluyen el combustible utilizado en otras actividades, como las fuentes estacionarias del ferrocarril, la maquinaria todo terreno, los vehículos y las máquinas de vías en el uso del combustible para el ferrocarril. Esas emisiones no deben incluirse aquí sino en las categorías pertinentes no relativas al ferrocarril como fuentes estacionarias, todo terreno, etc. Si no fuera el caso y resultara imposible separar estos otros usos de las locomotoras, es una *buena práctica* tomar nota de ello en cualquier informe de inventario o cuadro para generación de informes de las emisiones.

3.4.1.5 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las emisiones de CH₄ y N₂O dependen del tipo del motor y de la tecnología. A menos que se hayan desarrollado factores de emisión específicos de la tecnología, es una *buena práctica* utilizar el mismo conjunto de factores de emisión específico del combustible para todos los años.

Las opciones de mitigación que afectan los factores de emisión solamente pueden capturarse usando factores de emisión específicos del motor o desarrollando hipótesis de tecnología de control. Deben documentarse estos cambios adecuadamente.

Para obtener más información sobre la forma de determinar las emisiones del año de base y garantizar la coherencia de la serie temporal, véase el Capítulo 5 del Volumen 1: Coherencia de la serie temporal.

3.4.1.6 EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

Las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de los ferrocarriles suelen ser muy inferiores a las procedentes del transporte terrestre porque las cantidades de combustible consumido son menores, y también porque muchas veces se dan las operaciones en las líneas electrificadas, en cuyo caso las emisiones asociadas con el uso de la energía en los ferrocarriles se declaran en la sección de generación eléctrica y dependen de las características del sector.

Para reducir la incertidumbre, se necesita un método completo tanto para los factores de emisión como para los datos de la actividad, en especial en los casos en los que se usan los datos de la actividad de abajo hacia arriba. Si se usan datos representativos estimados en el ámbito local, se tiende a mejorar la exactitud, aunque las incertidumbres pueden seguir siendo grandes. Es una *buena práctica* documentar las incertidumbres, tanto en los factores de emisión como en los datos de la actividad.

Puede encontrarse una mayor orientación sobre las estimaciones de la incertidumbre para los factores de emisión en el Volumen 3 del Capítulo 1: Incertidumbres.

Incertidumbre del factor de emisión

El Cuadro 3.4.1 proporciona rangos que indican las incertidumbres asociadas con el diesel. Ante la falta de información específica, la relación porcentual entre los valores limitantes superior e inferior y la estimación central pueden servir para derivar los rangos de incertidumbre por defecto asociados con los factores de emisión para los aditivos.

Incertidumbre de los datos de la actividad

La incertidumbre de los datos de la actividad de arriba hacia abajo (uso del combustible) tiende a ser de aproximadamente 5 por ciento. La incertidumbre de los datos desagregados para las estimaciones de abajo hacia arriba (utilización o uso de combustible por tipo de tren) es improbable que sea inferior al 10 por ciento y podría ser varias veces mayor, según la calidad de los sondeos estadísticos subyacentes. No obstante, las estimaciones de abajo hacia arriba son necesarias para estimar los gases no CO₂ a niveles más altos. Estos cálculos de nivel superior también pueden arrojar estimaciones de CO₂, pero probablemente sean más inciertas que las del Nivel 1 o 2. De este modo, el camino a seguir en los casos en los que los ferrocarriles son una *categoría principal* es usar la estimación de arriba hacia abajo para el CO₂ con el contenido de carbono del combustible específico del país, y las estimaciones de nivel superior para los demás gases. Entonces puede utilizarse una estimación de CO₂ de abajo hacia arriba para las verificaciones cruzadas de GC/CC.

Puede encontrarse una mayor orientación sobre las estimaciones de la incertidumbre para los datos de la actividad en el Capítulo 3 del Volumen 1: Incertidumbres.

3.4.2 Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC) del inventario

Es una *buena práctica* realizar actividades de control de calidad, tal como se plantea en el Capítulo 6 del Volumen 1: Garantía de calidad / Control de calidad y verificación.

Otros controles de calidad extra planteados en los procedimientos de Nivel 2 del Capítulo 6 del Volumen 1 también pueden ser aplicables, en particular si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuente. Se alienta a los compiladores de los inventarios a usar GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Capítulo 4 del Volumen 1: Opción metodológica e identificación de categorías principales. Además de la orientación provista en lo precedente, se delinean a continuación los procedimientos específicos pertinentes para esta categoría de fuente.

Revisión de los factores de emisión

El compilador del inventario debe garantizar que la fuente de datos original para los factores nacionales sea aplicable a cada categoría y que se hayan efectuado los controles de exactitud sobre la adquisición y el cálculo de los datos. Para los factores por defecto del IPCC, el compilador debe garantizar que sean aplicables y pertinentes a la categoría. De ser posible, deben compararse los factores por defecto del IPCC con los factores nacionales, para obtener un indicio mayor de que los factores son aplicables y razonables.

Control de los datos de la actividad

Debe revisarse la fuente de los datos de la actividad, para garantizar la aplicabilidad y la pertinencia a la categoría. De ser posible, deben compararse los datos con los datos de la actividad históricos o con las salidas del modelo, para detectar anomalías. Es posible controlar los datos con los indicadores de productividad tales como el combustible por unidad de distancia de desempeño del ferrocarril (kilómetros de carga y con pasajeros) en comparación con otros países y a través de distintos años.

3.4.3 Generación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se plantea en el Capítulo 8 del Volumen 1. Orientación y cuadros para la generación de informes.

Además de declarar las emisiones, es una *buena práctica* proporcionar:

- de qué forma se obtuvo la información detallada necesaria para las estimaciones de abajo hacia arriba, y qué incertidumbres deben estimarse;
- cómo se concilió el método de abajo hacia arriba de utilización del combustible con las estadísticas de uso del combustible de arriba hacia abajo;
- los factores de emisión usados y las referencias asociadas, en especial para los aditivos

- la forma en la que se identificaron los componentes del biocombustible.

La posible inclusión de combustibles usados para fines no locomotivos (véase la sección 3.4.1.2 anterior).

3.4.4 Cuadros para la generación de informes y hojas de trabajo

Véanse las cuatro páginas de las hojas de trabajo (Anexo 1) para el método por sectores del Nivel I, que deben completarse para cada categoría de fuente. Los cuadros para la generación de informes están disponibles en el Volumen 1, Sección 8.

3.5 NAVEGACIÓN MARÍTIMA Y FLUVIAL

Esta categoría de fuente cubre todo el transporte marítimo y fluvial desde lo recreativo hasta los grandes transatlánticos de carga impulsados principalmente por motores diesel de baja, media y alta velocidad y, en ocasiones, por turbinas de vapor o de gas. Incluye los aerodeslizadores y aliscafos. La navegación marítima y fluvial provoca emisiones de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), así como monóxido de carbono (CO), compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM), dióxido de azufre (SO₂), materia particulada (PM) y óxidos de nitrógeno (NO_x).

La Sección 3.5.5 contiene definiciones de los términos específicos que pueden ser de utilidad para el compilador del inventario.

3.5.1 Cuestiones metodológicas

Esta sección aborda los gases directos de efecto invernadero CO₂, CH₄ y N₂O. La categoría de fuente está planteada en detalle en el Cuadro 3.5.1. Los métodos examinados también pueden servir para estimar las emisiones procedentes de la navegación marítima y fluvial militar (véase la sección 3.5.1.4). A los fines del inventario de emisiones, se establece una distinción entre la navegación marítima y fluvial nacional de la internacional. Toda emisión fugitiva procedente del transporte de combustibles fósiles (p. ej., por buque cisterna) debe estimarse y declararse en la categoría «Emisiones fugitivas», según se establece en el Capítulo 4 de este Volumen.

3.5.1.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Se presentan dos niveles metodológicos para estimar las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O procedentes de la navegación marítima y fluvial. Ambos aplican factores de emisión a los datos de la actividad sobre consumo de combustible. El árbol de decisión de la Figura 3.5.1 ayuda a elegir entre los dos niveles. Las emisiones se estiman por separado para la navegación marítima y fluvial nacional e internacional.

Nivel 1

El método de Nivel 1 es el más simple y puede aplicarse con los valores por defecto o con la información específica del país. Los datos de consumo de combustible y los factores de emisión del método de Nivel 1 son específicos del tipo de combustible y deben aplicarse a los datos de la actividad correspondientes (p. ej. gas/diesel oil usados para la navegación). El cálculo se basa en la cantidad de combustible quemado y en los factores de emisión para el CO₂, CH₄ y el N₂O. Se muestra el cálculo en la Ecuación 3.5.1 y se presentan los factores de emisión en los Cuadros 3.5.2 y 3.5.3

<p>ECUACIÓN 3.5.1 ECUACIÓN PARA LA NAVEGACIÓN MARÍTIMA Y FLUVIAL</p> $Emisiones = \sum (Combustible_{consumido_{ab}} \cdot Factorde\ emisi\acute{o}n_{bb})$

Donde:

a = tipo de combustible (diesel, gasolina, GLP, tanque, etc.)

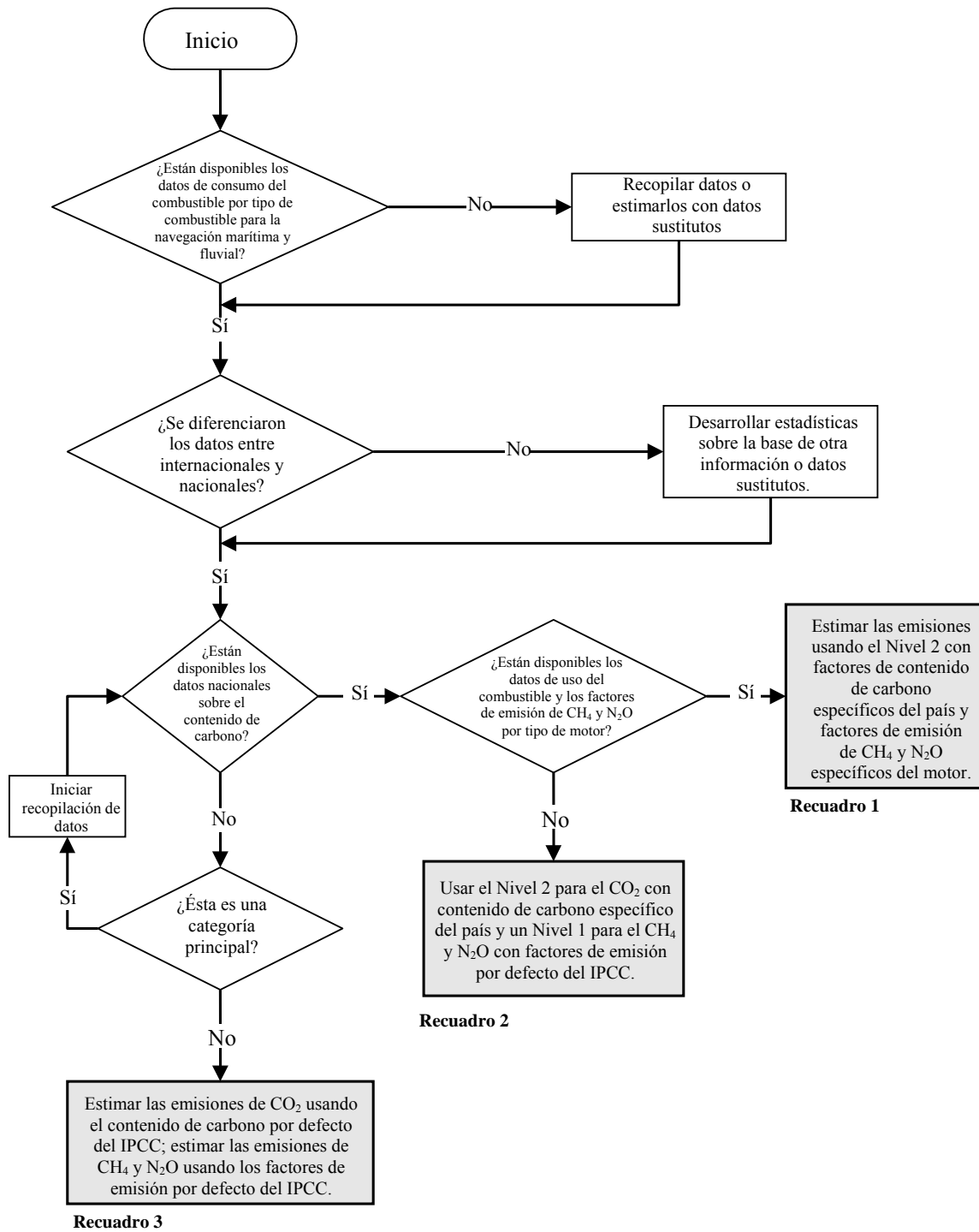
b = tipo de navegación marítima y fluvial (es decir, barco o bote y posiblemente tipo de motor.) (Solamente en el Nivel 2 se diferencia el combustible usado por tipo de embarcación para poder omitir b en el Nivel 1)

Nivel 2

El método de Nivel 2 también utiliza el consumo de combustible por tipo de combustible, pero exige los factores de emisión específicos del país con mayor especificidad en la clasificación de los modos (p. ej., barcos y botes transatlánticos), tipo de combustible (p. ej., fuelóleo) y hasta el tipo de motor (p. ej., diesel) (Ecuación 3.5.1). Al aplicar el Nivel 2, el compilador del inventario debe observar que la guía de inventario de emisiones de EMEP/Corinair (EEA, 2005) ofrece una metodología detallada para estimar las emisiones de los barcos, sobre la base del tipo de barco y de motor, y los datos de movimientos del barco. Se puede usar la metodología de movimiento del barco cuando los datos detallados del movimiento del barco y la información técnica sobre los barcos están disponibles y sirven para diferenciar las emisiones de la navegación marítima y fluvial nacional de la internacional.

CUADRO 3.5.1 ESTRUCTURA DE LA CATEGORÍA DE FUENTE	
Categoría de fuente	Alcance
1 A 3 d Navegación marítima y fluvial	Emisiones de combustibles usados para impulsar naves marítimas y fluviales, incluidos aerodeslizadores y aliscafos, pero a exclusión de las naves pesqueras. La división entre rutas internacionales/nacionales debe determinarse en base a los puertos de salida y de llegada, y no por la bandera o nacionalidad del barco.
1 A 3 d i <i>Navegación marítima y fluvial internacional (tanques de combustible internacionales)</i>	Emisiones de combustibles usados por naves de todas las banderas que se dedican a la navegación internacional vial. La navegación internacional puede ser en mares, lagos internos o vías fluviales y por aguas costeras. Incluye emisiones de viajes que salen desde un país y llegan a otro. Excluye el consumo de barcos pesqueros (véase Otros sectores – Pesca). Se pueden incluir las emisiones de la navegación marítima y fluvial militar internacional como subcategoría aparte de la navegación marítima y fluvial internacional, siempre y cuando se aplique la misma distinción en las definiciones y haya datos disponibles para respaldar la definición.
1 A 3 d ii <i>Navegación marítima y fluvial nacional</i>	Emisiones de combustibles usados por barcos de todas las banderas que salen y llegan dentro de un mismo país (excluye la pesca, que debe declararse bajo 1 A 4 c iii y los viajes militares, que deben declararse en 1 a 5 b). Nótese que esto puede incluir los viajes de considerable extensión entre dos puertos de un país (p. ej., de San Francisco a Honolulu).
1 A 4 c iii <i>Pesca (combustión móvil)</i>	Emisiones de combustible que se usa en pesca de cabotaje, costera y en alta mar. La pesca debe cubrir las naves de todas las banderas que hayan repostado en el país (incluida la pesca internacional).
1 A 5 b Móvil <i>(componente de la navegación marítima y fluvial)</i>	Todas las demás emisiones móviles marítimas y fluviales de la quema de combustibles que no se hayan especificado en otro lugar. Incluye las emisiones militares precedentes de la navegación marítima y fluvial militar del combustible entregado a las fuerzas militares del país, que no se incluye por separado en la categoría 1 A 3 d i, así como el combustible entregado dentro de ese país pero usado por las fuerzas militares de otros países que no participen en operaciones multilaterales.
Operaciones multilaterales <i>(componente de navegación marítima y fluvial)</i>	Emisiones procedentes de los combustibles utilizado para la navegación marítima y fluvial en las operaciones multilaterales, conforme a la Carta de las Naciones Unidas. Incluye las emisiones de combustible entregado a los militares del país y a los militares de otros países.

Figura 3.5.1 **Árbol de decisión para las emisiones procedentes de la navegación marítima y fluvial**



Nota: Véase el Volumen 1, Capítulo 4, «Opción metodológica e identificación de categorías principales» (principalmente la sección 4.1.2 relativa a los recursos limitados) para conocer el análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión.

3.5.1.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

NIVEL 1

Los factores de emisión por defecto del dióxido de carbono (Cuadro 3.5.2) se basan en el tipo de combustible y el contenido de carbono, y dan cuenta de la fracción de carbono oxidado (100 por ciento), como se describe en el Capítulo 1, Introducción, de este Volumen y en el Cuadro 1.4).

CUADRO 3.5.2 FACTORES DE EMISIÓN DEL CO ₂				
kg/TJ				
Combustible	Por defecto	Inferior	Superior	
Gasolina	69 300	67 500	73 000	
Otro queroseno	71 900	70 800	73 600	
Gas/Diesel Oil	74 100	72 600	74 800	
Fuelóleo residual	77 400	75 500	78 800	
Gases licuados de petróleo	63 100	61 600	65 600	
Otro petróleo	Gas de refinería	57 600	48 200	69 000
	Ceras de parafina	73 300	72 200	74 400
	Espíritu blanco y SBP	73 300	72 200	74 400
	Otros productos del petróleo	73 300	72 200	74 400
Gas natural	56 100	54 300	58 300	

Para los gases no CO₂, se presentan los factores de emisión por defecto del Nivel 1 en un nivel muy general en el Cuadro 3.5.3.

CUADRO 3.5.3 FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO DEL CH ₄ Y N ₂ O PROCEDENTES DE LA NAVEGACIÓN MARÍTIMA Y FLUVIAL		
	CH ₄ (kg/TJ)	N ₂ O (kg/TJ)
Transatlánticos *	7 ± 50%	2 +140% -40%
*Valores por defecto derivados para los motores diesel que utilizan fuelóleo pesado. Fuente: (1995) y EC (2002)		

NIVEL 2

Los factores de emisión del Nivel 2 deben ser específicos del país y, de ser posible, derivados a través de pruebas efectuadas en el país de combustibles motores de combustión usados en la navegación marítima y fluvial. Deben documentarse las fuentes de los factores de emisión según lo dispuesto en las presentes *Directrices*. La guía de inventario de emisiones de EMEP/Corinair (EEA 2005) puede ser una fuente de factores de emisión de NO_x, CO y COVDM para los cálculos de Nivel 1 y 2.

3.5.1.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Se necesitan los datos sobre el consumo de combustible por tipo de combustible y de motor (para el N₂O y el CH₄) para estimar las emisiones de la navegación marítima y fluvial. Además, en los procedimientos de declaración actuales, las emisiones procedentes de la navegación marítima y fluvial nacional se declaran aparte de las procedentes de la navegación marítima y fluvial internacional, que exige desagregar los datos de la actividad a este nivel. Por cuestiones de coherencia, es una *buena práctica* usar definiciones similares de las actividades nacionales e internacionales para la aviación y para la navegación marítima y fluvial. Se presentan estas definiciones en el Cuadro 3.5.4, y son independientes de la nacionalidad o la bandera del transportista. En algunos casos, las estadísticas nacionales de energía pueden no proporcionar datos coherentes con esta definición. Es una *buena práctica* que los países separen los datos de la actividad de manera coherente con esta definición. En la mayoría de los países, los impuestos y aranceles aduaneros gravan los tanques de combustible para consumo nacional, pero los tanques de combustible para consumo internacional están libres de tales impuestos. Ante la falta de fuentes de datos más directas, es posible usar la información referida a los impuestos nacionales para establecer la distinción entre consumo de combustible nacional e internacional. En cualquier caso, el país debe definir claramente las metodologías e hipótesis utilizadas¹³.

CUADRO 3.5.4		
CRITERIOS PARA DEFINIR LA NAVEGACIÓN MARÍTIMA Y FLUVIAL INTERNACIONAL O NACIONAL (SE APLICAN A CADA SEGMENTO DE UN VIAJE CON ESCALA EN MÁS DE DOS PUERTOS) *		
Tipo de viaje entre dos puertos	Nacional	Internacional
Salida y llegada en el mismo país	Sí	No
Salida de un país y llegada a otro	No	Sí
<p>* La mayor parte de los datos de movimientos de barcos se recopilan sobre la base de los segmentos individuales del viaje (desde una salida hasta la llegada siguiente) y no hay distinción entre los diferentes tipos de paradas intermedias (como lo exigen las <i>GPG 2000</i>).</p> <p>Por lo tanto, basar la distinción en los datos de los segmentos individuales es más simple y tiende a reducir las incertidumbres. Es muy improbable que este cambio produzca un cambio significativo en las estimaciones de emisión. No cambia la forma en la que se declaran las emisiones de los viajes internacionales como elemento informativo y no se incluyen en los totales nacionales.</p>		

Es posible obtener los datos de utilización del combustible por diversos métodos. El más factible depende de las circunstancias nacionales, pero algunas de las opciones arrojan resultados más exactos que las otras. En la lista siguiente, se enumeran diversas fuentes probables de datos del combustible, reales o sustitutos, en orden de fiabilidad típicamente decreciente:

- Estadísticas nacionales de energía de los organismos de energía o de estadísticas;
- Información estadística de la Agencia Internacional de Energía (AIE);
- sondeos de las compañías navieras (incluidos el trasbordador y la carga);
- sondeos de los proveedores de combustible (p. ej., cantidad de combustibles entregados a las instalaciones del puerto);
- sondeos de las autoridades individuales portuarias y marítimas;
- sondeos de las compañías pesqueras;
- contabilización de equipos, en especial para las embarcaciones pequeñas a gasolina de placer y pesca;
- registros de importación/exportación;
- datos de movimientos de barcos y cronogramas estándar de pasajeros y transbordadores de carga;
- cálculos de pasajeros y datos del tonelaje de la carga;
- Organización Marítima Internacional (OMI), fabricantes de motores, o la base de datos Jane's Military Ships;
- datos de movimientos de barcos obtenidos de los datos del Registro de Lloyds.

Quizá resulte necesario combinar y comparar estas fuentes de datos para lograr la cobertura completa de las actividades navieras.

Los motores diesel marinos son el principal bloque motor utilizado dentro del sector marítimo, tanto para propulsión como para generación eléctrica auxiliar. Algunas embarcaciones son propulsadas por plantas de vapor (EEA 2005). La navegación

¹³ Es una *buena práctica* establecer claramente el razonamiento y la justificación si un país opta por usar las definiciones de la *GPG2000*.

marítima y fluvial también debe dar cuenta del combustible que puede utilizarse en motores auxiliares que accionan, por ejemplo, plantas de refrigeración y bombas de carga, así como en las calderas a bordo de las embarcaciones. Muchos buques petroleros a vapor siguen en uso, los cuales consumen más combustible por día al descargar su carga en un puerto para operar las bombas que en alta mar. El Cuadro 3.5.5 presenta el porcentaje promedio de combustible consumido por los motores principales y por los auxiliares de todo el combustible consumido por los tipos de embarcaciones de navegación marítima y fluvial. Esto permite al compilador del inventario aplicar los factores de emisión correctos, si están disponibles, ya que pueden diferir entre los motores principales y los auxiliares. El Cuadro 3.5.6 proporciona los factores de consumo del combustible para diversos tipos de embarcaciones de navegación marítima y fluvial, si se recopila la flota de barcos por tonelaje y categoría.

CUADRO 3.5.5			
CONSUMO PROMEDIO DE COMBUSTIBLE POR TIPO DE MOTOR (BARCOS >500 GRT)			
Tipo de barco	Consumo del motor principal (%)	Cant. promedio de motores aux. por embarcación	Consumo del motor auxiliar (%)
Transportadores a granel	98%	1,5	2%
Transportadores combinados	99%	1,5	1%
Buques contenedores	99%	2	1%
Buques de carga seca	95%	1,5	5%
Buques de alta mar	98%	1	2%
Transbordadores/Embarcaciones para pasajeros	98%	2	2%
Buques frigoríficos	97%	2	3%
Embarcaciones de autotransbordo	99%	1,5	1%
Buques cisterna	99%	1,5	1%
Embarcaciones varias	98%	1	2%
Totales	98%		2%

Fuente: Base de datos de barcos Fairplay, 2004. GRT = tonelaje registrado bruto, del inglés, *Gross Registered Tonnage*

CUADRO 3.5.6		
FACTORES DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE, POTENCIA TOTAL		
Tipo de barco	Consumo promedio (tonelada/día)	Consumo a potencia total (tonelada/día) como función del tonelaje bruto (GRT)
Transportadores a granel		
Volumen sólido	33,8	20,186 + 0,00049*GRT
Volumen líquido	41,8	14,685 + 0,00079*GRT
Carga general	21,3	9,8197 + 0,00143*GRT
Contenedor	65,9	8,0552 + 0,00235*GRT
Pasajeros/Autotransbordo/Carga	32,3	12,834 + 0,00156*GRT
Pasajeros	70,2	16,904 + 0,00198*GRT
Trasbordador de alta velocidad	80,4	39,483 + 0,00972*GRT
Carga fluvial	21,3	9,8197 + 0,00143*GRT
Barcos de vela	3,4	0,4268 + 0,00100*GRT
Remolcadores	14,4	5,6511 + 0,01048*GRT
Pesca	5,5	1,9387 + 0,00448*GRT
Otros barcos	26,4	9,7126 + 0,00091*GRT
Todos los barcos	32,8	16,263 + 0,001*GRT

Fuente: Techne (1997)

Además, aunque los gases provenientes de las descargas de la carga (principalmente recuperación de GNL o COV) pueden usarse como combustible en los barcos, las cantidades no suelen ser lo suficientemente grandes en comparación con el combustible total consumido. Debido al aporte pequeño, no es necesario contabilizarlo en el inventario.

3.5.1.4 MILITARES

Las *Directrices del IPCC de 2006* no presentan un método definido para calcular las emisiones marítimas y fluviales militares. Las emisiones del uso de combustible marítimo y fluvial militar pueden estimarse por medio de la ecuación 3.5.1 y se recomienda el mismo método de cálculo que para la navegación no militar. Debido a las características especiales de las operaciones, situaciones y tecnologías (p. ej. portaaviones, centrales eléctricas auxiliares muy grandes y tipos de motores inusuales) asociadas a la navegación marítima y fluvial militar, se alienta la utilización de un método más detallado de análisis para los casos en los que los datos están disponibles. Por lo tanto, los compiladores de los inventarios deben consultar a los expertos militares para determinar los factores de emisión más adecuados a la navegación marítima y fluvial militar del país.

Por cuestiones de confidencialidad (véase exhaustividad y generación de informes), muchos compiladores pueden tener dificultades para obtener datos para la cantidad de uso de combustible militar. Aquí se define la actividad militar como aquellas actividades en las que se utiliza el combustible adquirido por las autoridades militares del país o provisto a ellas. Es una *buena práctica* aplicar las reglas que definen las operaciones civiles nacionales e internacionales en la navegación marítima y fluvial para las operaciones militares cuando los datos necesarios para aplicarles son comparables y están disponibles. Deben obtenerse los datos sobre el uso militar del combustible a través de instituciones militares gubernamentales o proveedores de combustible. Si no hay disponibles datos sobre la división del combustible, todo el combustible vendido para actividades militares debe tratarse como nacional.

Las emisiones resultantes de las operaciones multilaterales con arreglo a la Carta de las Naciones Unidas no deben incluirse en los totales nacionales sino declararse por separado; otras emisiones relativas a las operaciones deben incluirse en los totales nacionales de emisiones de una o más Partes involucradas. Los cálculos nacionales deben tomar en cuenta el combustible entregado a las fuerzas militares del país, así como el combustible entregado dentro de ese país pero usado por las fuerzas militares de otros países. Otras emisiones relativas a las operaciones (p. ej. equipo de apoyo terrestre todo terreno) deben incluirse en los totales nacionales de emisiones de la categoría de fuente correspondiente.

3.5.1.5 EXHAUSTIVIDAD

Para las emisiones de la navegación marítima y fluvial, los métodos se basan en el uso total del combustible. Porque los países suelen tener sistemas de contabilización eficaces para medir el consumo total de combustible. El área mayor de posible cobertura incompleta de esta categoría de fuente tiende a estar asociada con la asignación incorrecta de emisiones de la navegación en otra categoría de fuente. Por ejemplo, en el caso de una embarcación pequeña con motores a gasolina, puede ser difícil obtener los registros completos del uso del combustible y algunas de las emisiones pueden declararse como industriales (cuando las compañías industriales usan embarcaciones pequeñas), otra producción de energía móvil o estacionaria ajena a la carretera. Las estimaciones de las emisiones marítimas y fluviales deben incluir no solo el combustible para la navegación marítima, sino también para las embarcaciones de pasajeros, los transbordadores, las embarcaciones recreativas, otras embarcaciones fluviales y otras alimentadas a gasolina. La asignación incorrecta no afecta la exhaustividad del inventario total nacional de emisiones de CO₂. Si afecta la exhaustividad del inventario total de emisiones no CO₂, porque los factores de emisión no CO₂ difieren de una categoría de fuente a otra.

Las emisiones fugitivas procedentes del transporte de combustibles fósiles deben estimarse y declararse en la categoría «Emisiones fugitivas». La mayoría de las emisiones fugitivas se producen durante la carga y descarga y, por lo tanto, se contabilizan en esa categoría. Las emisiones producidas durante el viaje se consideran insignificantes.

La exhaustividad también puede ser un problema cuando los datos militares son confidenciales, a menos que el uso militar del combustible se agregue con otra categoría de fuente.

Existen más desafíos a la hora de diferenciar las emisiones nacionales de las internacionales. Puesto que las fuentes de datos de cada país son únicas para esta categoría, no es posible formular una regla general respecto de la forma de realizar una asignación ante la falta de datos claros. Es una *buena práctica* especificar claramente las hipótesis efectuadas, de modo que pueda evaluarse la cuestión de la exhaustividad.

3.5.1.6 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Es una *buena práctica* determinar el uso del combustible usando el mismo método para todos los años. Si no es posible, la recopilación de datos debe proporcionar una superposición parcial suficiente para controlar la coherencia de los métodos empleados.

Las emisiones de CH₄ y N₂O dependen del tipo del motor y de la tecnología. A menos que se hayan desarrollado factores de emisión específicos de la tecnología, es una *buena práctica* utilizar el mismo conjunto de factores de emisión específico del combustible para todos los años.

Las actividades de mitigación que producen cambios en el consumo total de combustible se verán reflejadas en las estimaciones de emisiones si se recopilan los datos reales de la actividad del combustible. Las opciones de mitigación que afectan los factores de emisión, no obstante, solamente pueden capturarse usando factores de emisión específicos del motor o desarrollando hipótesis de tecnología de control. Los cambios producidos en los factores de emisión a través del tiempo deben estar bien documentados.

El diesel oil y el fuelóleo pesado marítimos son los combustibles usados principalmente para las fuentes grandes dentro de la navegación marítima y fluvial. Puesto que el contenido de carbono de estos combustibles puede variar a través de la serie temporal, debe indicarse en forma explícita la fuente de los factores de emisión de CO₂, así como las fechas en las que se probaron los combustibles.

3.5.1.7 EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

Factores de emisión

Según el dictamen de expertos, los factores de emisión de CO₂ para los combustibles suelen estar bien determinados, dado que dependen principalmente del contenido de carbono del combustible (EPA, 2004). Por ejemplo, el valor de incertidumbre por defecto del diesel es de aproximadamente $\pm 1,5$ por ciento y de ± 3 por ciento para el fuelóleo residual. No obstante, la incertidumbre de las emisiones no CO₂ es mucho mayor. La incertidumbre del factor de emisión del CH₄ puede variar tanto como el 50 por ciento. La incertidumbre del factor de emisión del N₂O puede variar de alrededor del 40 por ciento por debajo del valor por defecto al 140 por ciento por encima de dicho valor (Watterson, 2004).

Datos de la actividad

Gran parte de la incertidumbre de las estimaciones de emisiones en la navegación marítima y fluvial se relaciona con la dificultad que plantea distinguir entre el consumo de combustible nacional y el internacional. Si se dispone de datos de sondeos completos, la incertidumbre puede ser baja (digamos ± 5 por ciento), mientras que para las estimaciones o los sondeos incompletos, las incertidumbres pueden ser considerables (digamos ± 50 por ciento). La incertidumbre varía considerablemente de un país a otro y resulta difícil de generalizar. Los conjuntos de datos globales pueden ser útiles en este campo, y se espera que la declaración mejore en el futuro para esta categoría.

3.5.2 Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC) del inventario

Es una *buena práctica* realizar procedimientos de control de calidad. A continuación se esbozan procedimientos específicos pertinentes para esta categoría de fuente.

Comparación de emisiones a través de métodos alternativos

De ser posible, el compilador del inventario debe comparar las estimaciones determinadas para la navegación marítima y fluvial usando los métodos de Nivel 1 y 2. Debe investigar y explicar toda anomalía existente entre las diversas estimaciones de emisiones. Es preciso registrar los resultados de esas comparaciones.

Revisión de los factores de emisión

El compilador del inventario debe garantizar que la fuente de datos original para los factores nacionales sea aplicable a cada categoría y que se hayan efectuado los controles de exactitud sobre la adquisición y el cálculo de los datos. En caso de estar disponibles los factores de emisión nacionales, se los debe utilizar siempre que estén bien documentados. Para los factores por defecto, el compilador debe garantizar que sean aplicables y pertinentes a la categoría.

Si se desarrollaron las emisiones procedentes del uso militar usando datos diferentes de los factores por defecto, el compilador del inventario debe controlar la exactitud de los cálculos, y la aplicabilidad y pertinencia de los datos.

Control de los datos de la actividad

Debe revisarse la fuente de los datos de la actividad, para garantizar la aplicabilidad y la pertinencia a la categoría. De ser posible, deben compararse los datos con los datos históricos de la actividad o con las salidas del modelo, para detectar anomalías. Deben verificarse los datos con indicadores de productividad tales como

combustible por unidad de desempeño del tránsito en la navegación marítima y fluvial, en comparación con otros países. La Agencia Europea de Medio Ambiente proporciona un conjunto de datos útil, http://air-climate.eionet.eu.int/databases/TRENDS/TRENDS_EU15_data_Sep03.xls, que presenta las emisiones y el volumen de pasajeros/carga de cada modo de transporte para Europa. La información para la navegación es muy detallada. Entre los ejemplos de esos indicadores se incluyen: para barcos de menos de 3000 TB son de 0,09 a 0,16 kg CO₂/tonelada-km; para los barcos más grandes entre 0,04 y 0,14; y para los transbordadores de pasajeros, los factores varían de 0,1 a 0,5 kg/pasajero-km.

Revisión externa

El compilador del inventario debe realizar una revisión independiente y objetiva de los cálculos, las hipótesis o la documentación del inventario de emisiones, para evaluar la eficacia del programa de CC. Deben realizar la revisión de pares los expertos (p. ej., las autoridades del transporte, las compañías navieras y el personal militar) que estén familiarizados con la categoría de fuente y que entiendan los requisitos del inventario.

3.5.3 Generación de informes y documentación

Las emisiones relacionadas con la navegación marítima y fluvial se declaran en diferentes categorías, según su naturaleza. Conforme a la *buena práctica*, las categorías que deben usarse son:

- Navegación marítima y fluvial nacional;
- Navegación marítima y fluvial internacional (tanques de combustible internacionales);
- Pesca (combustión móvil);
- Móvil (militares [navegación marítima y fluvial])
- Móvil no especificada (vehículos y otra maquinaria)

Las emisiones procedentes de la navegación marítima y fluvial internacional se declaran aparte de las nacionales, y no se las incluye en el total nacional.

Las emisiones relativas a la pesca comercial no se declaran en la categoría de navegación marítima y fluvial. Deben declararse en la categoría Agricultura/Silvicultura/Pesca del sector Energía. Por definición, todo el combustible suministrado para las actividades de pesca comercial en el país declarante se considera nacional y no hay categoría de combustible de tanque internacional para la pesca comercial, independientemente del lugar en el que ésta se desarrolle.

Las emisiones marítimas y fluviales militares deben especificarse claramente para mejorar la transparencia de los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. (Véase la sección 3.5.1.4).

Además de declarar las emisiones, es una *buena práctica* proporcionar:

- La fuente del combustible y otros datos;
- El método usado para separar la navegación nacional de la internacional;
- Los factores de emisión usados y las referencias asociadas;
- El análisis de incertidumbre o sensibilidad de los resultados, o tanto de los cambios como de las hipótesis de los datos de entrada.

3.5.4 Cuadros para la generación de informes y hojas de trabajo

Deben completarse las cuatro páginas de las hojas de trabajo (Anexo 1) para el método por sectores del Nivel I, para cada una de las categorías de fuente del Cuadro 3.5.1. Los cuadros para la generación de informes están disponibles en el Volumen 1, Capítulo 8.

3.5.5 Definiciones de los términos específicos

DEFINICIONES

Transportadores a granel: barcos usados para transportar grandes cantidades de cargas no dispuestas en contenedores, como aceite, madera, granos, minerales, sustancias químicas, etc. Se los identifica por las escotillas ubicadas sobre el nivel de cubierta, que cubren los grandes soportes para la carga.

Transportadores combinados: barcos usados para transportar, a granel, aceite o, como opción, cargas sólidas.

Buques contenedores: barcos usados para transportar cajas grandes, metálicas y rectangulares, que suelen contener productos manufacturados.

Buques de carga seca: barcos usados para transportar cargas que no son líquidas ni exigen control de temperatura.

Transbordadores/Embarcaciones para pasajeros: barcos utilizados para realizar viajes cortos para pasajeros, automóviles y vehículos comerciales. La mayoría de estos barcos son auto transbordadores (trasbordo rodado), que permite a los vehículos subir y bajar por sus propios medios. Las embarcaciones para pasajeros también incluyen los cruceros para vacaciones.

Buques de alta mar: término usado para referirse a los barcos que se dedican a diversas operaciones de apoyo a barcos más grandes. Puede incluir los buques de abastecimiento en alta mar, los de manejo de anclas, remolcadores, botes elevadores (es decir, barcasas de cubierta), botes de tripulación, embarcaciones de asistencia para buceo y buques sísmicos.

Buques frigoríficos: barcos con portacargas refrigeradas en las cuales se cargan a granel los productos perecederos u otras cargas con temperatura controlada.

Auto transbordadores: barcos que poseen espacios para cargas con propulsión propia o espacios para categorías especiales, que permiten cargar y descargar vehículos rodantes sin grúas.

Buques cisterna: barcos usados para transportar petróleo crudo, productos químicos y del petróleo. Pueden parecer similares a los transportadores a granel, pero la cubierta es a nivel y está cubierta por tuberías y ventilaciones.

3.6 AVIACIÓN CIVIL

Las emisiones procedentes de la aviación son el resultado de la quema del combustible de reactores (queroseno y gasolina para motor a reacción) y gasolina para aviación¹⁴. Las emisiones de los motores de las aeronaves están compuestas aproximadamente por 70 por ciento de CO₂, un poco menos del 30 por ciento de H₂O, y menos de un 1 por ciento de NO_x, CO, SO_x, COVDM, partículas y otros oligoelementos, incluso los contaminantes peligrosos del aire. Se producen pocas emisiones de N₂O o ninguna de las turbinas de gas modernas (IPCC, 1999). Los motores de tecnología antigua pueden emitir metano (CH₄) y también las turbinas de gas durante la marcha lenta, pero los datos recientes sugieren que los motores modernos no emiten CH₄ o emiten pequeñas cantidades.

Las emisiones dependen de la cantidad y la naturaleza de las operaciones de la aeronave; los tipos y la eficacia de sus motores; el combustible utilizado; la duración del vuelo; la configuración de potencia; el tiempo usado para cada etapa del vuelo; y, en menor medida, la altitud a la cual se emiten los gases de escape.

A los fines de las presentes directrices, las operaciones de las aeronaves se dividen en (1) *ciclo de aterrizaje y despegue (LTO)* y (2) *crucero*. En general, alrededor del 10 por ciento de las emisiones procedentes de las aeronaves de todo tipo, excepto los hidrocarburos y el CO, se producen durante las operaciones de tierra en el aeropuerto y durante el ciclo de LTO¹⁵. El grueso de las emisiones de las aeronaves (90 por ciento) se producen a mayores altitudes. Para el caso de los hidrocarburos y el CO, la división es más próxima al 30 por ciento de las emisiones locales y al 70 por ciento a mayor altitud, (FAA, 2004a).

¹⁴ Combustible utilizado en una aeronave con motor de pistones pequeño, que generalmente representa menos del 1 por ciento del combustible utilizado en la aviación.

¹⁵ Se define el ciclo de LTO en OACI, 1993. Si los países tienen datos más específicos sobre los tiempos del modo, se los puede utilizar para refinar los cálculos en los métodos de nivel superior.

La Sección 3.6.5 contiene definiciones de los términos específicos que pueden ser de utilidad para el compilador del inventario.

3.6.1 Cuestiones metodológicas

Esta categoría de fuente incluye las emisiones procedentes de todos los usos comerciales civiles de los aviones, incluida la aviación civil y general (p. ej., aviones agrícolas, aviones privados o helicópteros). También pueden usarse los métodos analizados en esta sección para estimar las emisiones de la aviación militar, pero deben declararse las emisiones en la categoría 1A 5 «Otros» o el elemento recordatorio «Operaciones multilaterales».

A los fines del inventario de emisiones, se establece una distinción entre la aviación nacional y la internacional, y es una *buena práctica* hacer la declaración en las categorías de fuente del Cuadro 3.6.1.

Todas las emisiones procedentes de los combustibles usados para la aviación internacional (tanques de combustible) y para las operaciones multilaterales según la Carta de las Naciones Unidas deben excluirse de los totales nacionales y declararse por separado como elementos recordatorios.

3.6.1.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Se presentan tres niveles metodológicos para estimar las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O procedentes de la aviación. Los métodos de Nivel 1 y 2 utilizan datos acerca del consumo de combustible. El Nivel 1 se basa puramente en el combustible, mientras que el método de Nivel 2 se basa en la cantidad de ciclos de aterrizaje y despegue (LTO) y en el uso del combustible. El Nivel 3 utiliza los datos del movimiento¹⁶ para vuelos individuales.

Todos los niveles establecen la distinción entre los vuelos de cabotaje y los internacionales. Sin embargo, las estadísticas de energía usadas en el Nivel 1 no suelen distinguir con exactitud el uso del combustible nacional del internacional o entre categorías de fuentes individuales, como se define en el Cuadro 3.6.1. Los Niveles 2 y 3 proporcionan metodologías más exactas para realizar estas distinciones.

La elección de la metodología depende del tipo de combustible, los datos disponibles y la importancia relativa de las emisiones de la aeronave. Para el caso de la gasolina para aviación, aunque los factores de emisión específicos del país puedan estar disponibles, no suele estarlo la cantidad de LTO. Por lo tanto, el Nivel 1 y sus factores de emisión por defecto quizá serían usados para la gasolina de la aviación. Todos los niveles pueden utilizarse para las operaciones que emplean combustible de reactores, porque los factores de emisión pertinentes están disponibles para el combustible para reactores. El Cuadro 3.6.2 resume los requisitos de datos para los diferentes niveles:

El árbol de decisión de la Figura 3.6.1 ayuda a seleccionar el método adecuado. La demanda de recursos para los diversos niveles depende, en parte, de la cantidad de movimientos del tránsito aéreo. El Nivel 1 no debe ser muy intensivo en cuanto a la exigencia de recursos. El Nivel 2, basado en los aviones individuales, y el Nivel 3A, basado en los pares Origen y Destino (OD), utilizarían incrementalmente más recursos. El Nivel 3B, que exige modelización sofisticada, demanda la mayor cantidad de recursos.

Dado el conocimiento actual limitado de los factores de emisión de CH₄ y N₂O, los métodos más detallados no reducen significativamente las incertidumbres para las emisiones de CH₄ y N₂O. No obstante, si la aviación es una *categoría principal*, se recomienda utilizar los métodos de Nivel 2 o 3, porque los niveles superiores brindan una mejor diferenciación entre la aviación nacional e internacional, y facilitan la estimación de los efectos de los cambios en las tecnologías (y, por lo tanto, los factores de emisión) en el futuro.

Las estimaciones para la fase crucero se vuelven más exactas cuando se utiliza la metodología de Nivel 3A o los modelos de Nivel 3B. Además, puesto que los métodos del Nivel 3 utilizan los datos del movimiento del vuelo en vez del uso del combustible, proporcionan una separación más exacta entre vuelos de cabotaje e internacionales. Los datos pueden estar disponibles a través de los operadores de los modelos del Nivel 3 (como SAGE, (Kim, 2005a y b; Malwitz, 2005) y AERO2K (Eyers, 2004). Otros métodos para diferenciar el uso del combustible para cabotaje del internacional, como ser tomar en cuenta los ciclos de LTO, los datos de pasajeros-kilómetros, una división porcentual de los cronogramas de vuelos (p. ej., datos OAG, estadísticas de la OACI para toneladas-kilómetros efectuadas por los países) son métodos abreviados. Pueden usarse los métodos si no hay otros métodos o datos disponibles.

¹⁶ Datos del movimiento significa, como mínimo, la información sobre el origen y el destino, el tipo de aeronave y la fecha de cada vuelo.

CUADRO 3.6.1 CATEGORÍAS DE FUENTE	
Categoría de fuente	Alcance
1 A 3 a Aviación civil	Emisiones de la aviación civil internacional y de cabotaje, incluidos despegues y aterrizajes. Abarca el uso civil comercial de aviones, incluido: tráfico regular y charter para pasajeros y carga, taxis aéreos y aviación general. La división entre vuelos internacionales/de cabotaje debe determinarse en base a los lugares de salida y de llegada de cada etapa de vuelo y no por la nacionalidad de la línea aérea. Queda excluido el uso de combustible para transporte terrestre en los aeropuertos, que se declara en 1 A 3 e, Otros transportes. Quedan también excluidos los combustibles para quema estacionaria en aeropuertos; se declara en la categoría adecuada de quema estacionaria.
1 A 3 a i Aviación internacional (Tanques de combustible internacional)	Emisiones de vuelos que salen desde un país y llegan a otro. Incluyen despegues y aterrizajes para estas etapas de vuelo. Se pueden incluir las emisiones de la aviación militar internacional como subcategoría separada de la aviación internacional, siempre y cuando se aplique la misma distinción en las definiciones y haya datos disponibles para respaldar la definición.
1 A 3 a ii Aviación de cabotaje	Emisiones de tráfico civil de cabotaje de pasajeros y de carga que aterriza y llega al mismo país (vuelos comerciales, privados, agrícolas, etc.), incluyendo despegues y aterrizajes para estas etapas de vuelo. Nótese que puede incluir viajes de considerable extensión entre dos aeropuertos de un país (p. ej., de San Francisco a Honolulu). Excluye los militares, que deben declararse en 1 A 5 b.
1 A 5 b Móvil (<i>componente de aviación</i>)	Todas las demás emisiones móviles de la aviación procedentes de la quema de combustibles que no se hayan especificado en otro lugar. Incluye las emisiones de combustible enviado a las fuerzas militares del país que no se hayan incluido por separado en 1 A 3 a i, como así también el combustible enviado dentro de aquel país pero usado por fuerzas militares de otros países que no participan en operaciones multilaterales.
1.A.5 c Operaciones multilaterales (<i>componente de aviación</i>)	Emisiones procedentes de los combustibles utilizados para la aviación en las operaciones multilaterales, conforme a la Carta de las Naciones Unidas. Incluye las emisiones de combustible entregado a los militares del país y a los militares de otros países.

CUADRO 3.6.2 REQUISITOS DE DATOS PARA LOS DIFERENTES NIVELES				
Datos, tanto nacionales como internacionales	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3A	Nivel 3B
Consumo de gasolina para la aviación	X			
Consumo de combustible de reactores	X	X		
LTO total				
LTO por tipo de aeronave		X		
Origen y Destino (OD) por tipo de aeronave			X	
Movimientos totales del vuelo con datos de la aeronave y del motor				X

Entre otros motivos para decidir usar un nivel superior se encuentra la estimación de emisiones juntamente con otros contaminantes (p. ej., el NO_x) y la armonización de métodos con otros inventarios. En el Nivel 2 (y en niveles superiores), las emisiones para las fases de LTO y crucero se estiman por separado, para armonizar con los métodos desarrollados para los programas de contaminación del aire que cubren solamente las emisiones por debajo de los 914 metros (3000 pies). Puede haber discrepancias significativas entre los resultados de un método de abajo hacia arriba y un método basado en el combustible de arriba hacia abajo para las aeronaves. Se presenta un ejemplo en Daggett *et al.* (1999).

MÉTODO DE NIVEL 1

El método de Nivel 1 se basa en una cantidad agregada de datos sobre el consumo de combustible para la aviación (LTO y crucero) multiplicada por los factores de emisión promedio. Se han promediado los factores de

emisión de metano en todas las fases del vuelo, sobre la base de la hipótesis de que se utiliza el 10 por ciento del combustible en la fase LTO del vuelo. Se calculan las emisiones según la Ecuación 3.6.1:

ECUACIÓN 3.6.1
(ECUACIÓN PARA LA AVIACIÓN 1)

$$\text{Emisiones} = \text{Consumo de combustible} \bullet \text{Factor de emisión}$$

Se debe usar el método de Nivel 1 para estimar las emisiones procedentes de las aeronaves que utilizan gasolina para aviación que solamente se emplea en las aeronaves pequeñas y suele representar menos del 1 por ciento del consumo de combustible de la aviación. También se usa el método de Nivel 1 para las actividades aeronáuticas impulsadas a reacción cuando no hay disponibles datos sobre el uso operativo de las aeronaves.

Deben estimarse por separado las emisiones nacionales de las internacionales mediante la ecuación anterior y uno de los métodos analizados en la sección 3.6.1.3 para asignar combustible entre las dos.

MÉTODO DE NIVEL 2

El método de Nivel 2 es aplicable únicamente al uso del combustible de reactores en los motores de las aeronaves a reacción. Las operaciones de las aeronaves se dividen en fases de LTO y crucero. Para usar el método de Nivel 2, debe conocerse la cantidad de operaciones de LTO para la aviación de cabotaje e internacional, con preferencia por tipo de aeronave. En el método de Nivel 2, se hace una distinción entre las emisiones por debajo y por encima de los 914 m (3 000 pies); es decir, las emisiones generadas durante la fase de LTO y crucero del vuelo.

El método de Nivel 2 desglosa el cálculo de emisiones procedentes de la aviación en los pasos siguientes:

1. Estimar los totales de consumo de combustible nacional e internacional para la aviación.
2. Estimar el consumo de combustible LTO para las operaciones de cabotaje e internacionales.
3. Estimar el consumo de combustible crucero para la aviación de cabotaje e internacional.
4. Estimar las emisiones de las fases de LTO y crucero para la aviación de cabotaje e internacional.

El método de Nivel 2 se sirve de las Ecuaciones 3.6.2 a 3.6.5 para estimar las emisiones:

ECUACIÓN 3.6.2
(ECUACIÓN PARA LA AVIACIÓN 2)

$$\text{Total de emisiones} = \text{Emisiones de LTO} + \text{Emisiones de crucero}$$

Donde:

ECUACIÓN 3.6.3
(ECUACIÓN PARA LA AVIACIÓN 3)

$$\text{Emisiones de LTO} = \text{Cantidad de LTO} \bullet \text{LTO del factor de emisión}$$

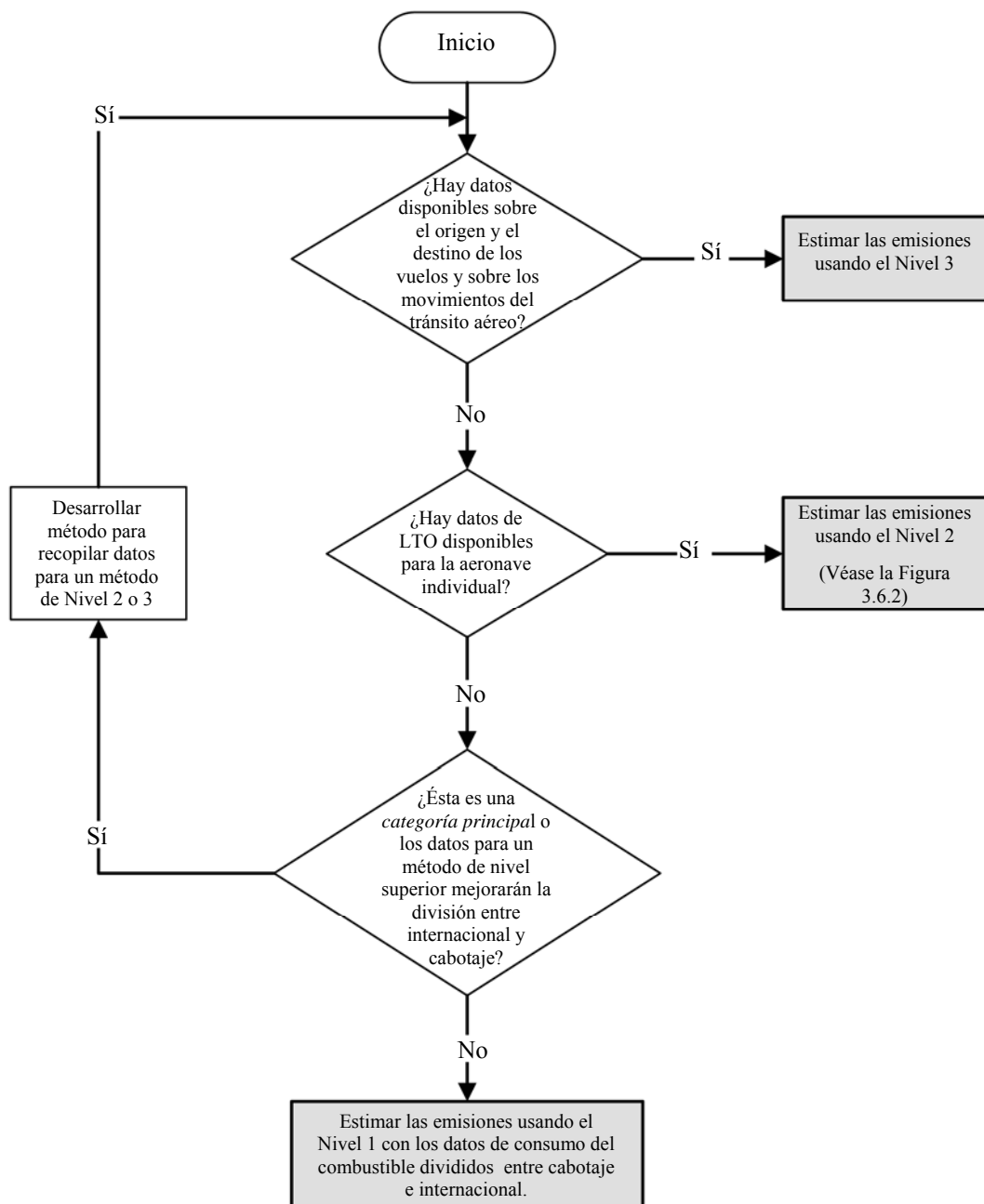
ECUACIÓN 3.6.4
(ECUACIÓN PARA LA AVIACIÓN 4)

$$\text{Consumo de combustible LTO} = \text{Cantidad de LTO} \bullet \text{Consumo de combustible por LTO}$$

ECUACIÓN 3.6.5
(ECUACIÓN PARA LA AVIACIÓN 5)

$$\text{Emisiones de crucero} = (\text{Consumo total de combustible} - \text{Consumo de combustible del LTO}) \bullet \text{Crucero del factor de emisión}$$

Figura 3.6.1 **Árbol de decisión para estimar las emisiones procedentes de las aeronaves**
(aplicado a cada gas de efecto invernadero)



Nota: Véase el Volumen 1, Capítulo 4, «Opción metodológica e identificación de categorías principales» (principalmente la sección 4.1.2 relativa a los recursos limitados) para conocer el análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión.

Los fundamentos de la metodología de Nivel 2 recomendada se presentan esquemáticamente en la Figura 3.6.2.

En el método de Nivel 2, el combustible usado en la fase de crucero se estima como residual: uso total de combustible menos combustible usado en la fase LTO del vuelo (Ecuación 3.6.5). Se estima el uso del combustible para la aviación de cabotaje e internacional por separado. El uso de combustible estimado para el crucero se multiplica por los factores de emisión agregados (promedio o por tipo de aeronave), para estimar las emisiones crucero de CO₂ y NO_x.¹⁷ Las emisiones y el combustible utilizado en la fase de LTO se estiman

¹⁷ El conocimiento científico actual no permite incluir otros gases (p. ej., N₂O y CH₄) en el cálculo de las emisiones crucero. (IPCC, 1999)

partiendo de las estadísticas sobre la cantidad de LTO (agregado o por tipo de aeronave) y los factores de emisión por defecto o los factores de uso del combustible por ciclo de LTO (promedio o por tipo de aeronave).

El método de Nivel 2 considera los datos de la actividad en el nivel de los tipos individuales de aeronave y, por lo tanto, requiere datos sobre la cantidad de LTO de cabotaje e internacionales por tipo de aeronave. La estimación debe incluir todos los tipos de aeronaves usados frecuentemente para la aviación de cabotaje e internacional. El Cuadro 3.6.3 proporciona una forma de hacer corresponder los tipos reales de aeronaves con los representativos de la base de datos. Los factores de emisión de crucero para las emisiones que no son NO_x no se incluyen en el método de Nivel 2; deben utilizarse los factores de emisión nacionales o los factores de emisión por defecto del nivel para estimar estas emisiones de crucero.

MÉTODOS DE NIVEL 3

Los métodos de Nivel 3 se basan en los datos reales del movimiento del vuelo: para los datos de origen y destino (OD) de Nivel 3A o para la información de la trayectoria completa del vuelo de Nivel 3B. Es posible usar los métodos nacionales de Nivel 3 si están bien documentados y si se los revisó siguiendo la orientación provista en el Volumen 1, Capítulo 6 (GC/CC). Para facilitar la revisión de los datos, los países que usan la metodología de Nivel 3 pueden declarar por separado las emisiones para la Aviación comercial programada y Otras actividades impulsadas a reacción.

El Nivel 3A toma en cuenta las emisiones de crucero para diferentes distancias de vuelo. Se necesitan los detalles sobre los aeropuertos de origen (salida) y destino (llegada) y sobre el tipo de aeronave para usar el Nivel 3A, tanto para los vuelos de cabotaje como para los internacionales. En el Nivel 3A, se modelizan los inventarios usando datos promedio de las emisiones y el consumo de combustible para la fase de LTO y las diversas longitudes de fases de crucero, para una variedad de categorías representativas de las aeronaves.

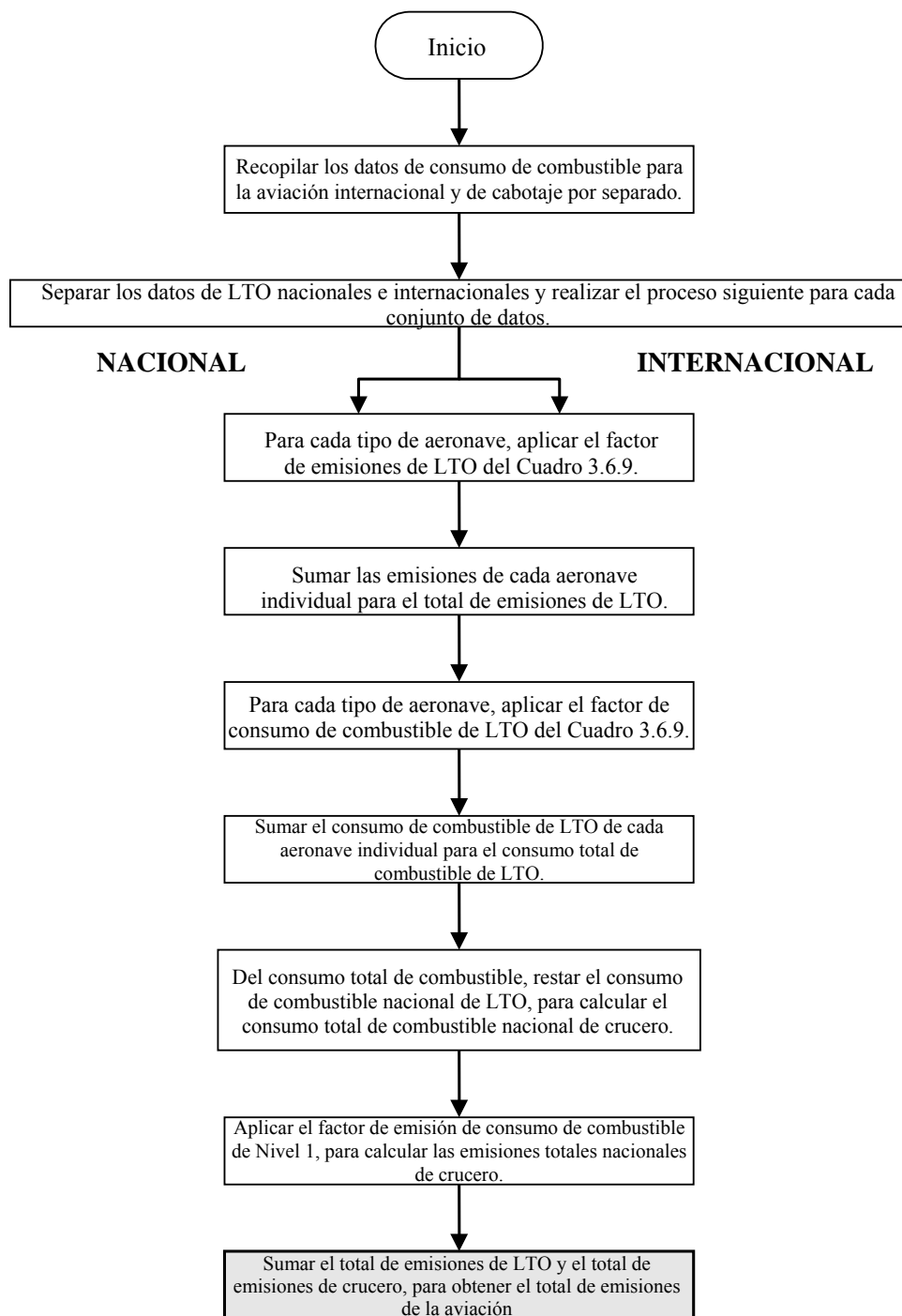
Los datos usados en la metodología del Nivel 3A toman en cuenta que la cantidad de emisiones generadas varía entre las fases del vuelo. La metodología también toma en cuenta que el combustible quemado se relaciona con la distancia de vuelo, a la vez que reconoce que dicho combustible puede ser comparativamente mayor en distancias relativamente cortas que en rutas más largas. Ello se debe a que las aeronaves utilizan una mayor cantidad de combustible por distancia para el ciclo de LTO, en comparación con la fase crucero.

La guía de inventario de emisiones de EMEP/CORINAIR (EEA 2002) proporciona un ejemplo de un método de Nivel 3A para calcular las emisiones de la aeronave. Dicha guía está continuamente sujeta a refinación y se publica electrónicamente a través del sitio Web de la Agencia Europea del Medio Ambiente. EMEP/CORINAIR presenta cuadros con emisiones por distancia de vuelo.

(Debe observarse que hay tres métodos de EMEP/CORINAIR para calcular las emisiones de las aeronaves; pero solamente la Metodología detallada CORINAIR es equivalente al Nivel 3A.)

La metodología de Nivel 3B se distingue de la del Nivel 3A en el cálculo del combustible quemado y las emisiones en toda la trayectoria de cada segmento del vuelo mediante el uso de información sobre el desempeño aerodinámico específico del motor y de la aeronave. Para usar el Nivel 3B, se necesitan modelos informáticos sofisticados para hacer frente a todas las variables y cálculos de equipos, desempeño y trayectoria para todos los vuelos de un año dado. Los modelos usados para el Nivel 3B, en general, pueden especificar la salida en cuanto a aeronave, motor, aeropuerto, región y totales generales, así como por latitud, longitud, altitud y tiempo, para el combustible quemado y las emisiones de CO , hidrocarburos (HC), CO_2 , H_2O , NO_x , y SO_x . Para usarlo en la elaboración de las presentaciones anuales de inventario, el modelo de Nivel 3B debe calcular las emisiones de aeronaves a partir de los datos de entrada que toman en cuenta los cambios en el tránsito aéreo, los cambios en el equipo de la aeronave, o cualquier ámbito de entrada-variable. Idealmente, los componentes de los modelos del Nivel 3B están incorporados, de modo que se los puede actualizar fácilmente, para que los modelos sean dinámicos y se mantengan actualizados en cuanto a los cambios en los datos y las metodologías. Entre los ejemplos de los modelos se incluye el sistema para evaluar las emisiones globales de la aviación (SAGE, del inglés, *System for assessing Aviation's Global Emissions*), de la Administración Federal de la Aviación de los Estados Unidos (Kim, 2005 a y b; Malwitz, 2005), y AERO2k, (Eyers, 2004), de la Comisión Europea.

Figura 3.6.2 Estimación de las emisiones procedentes de las aeronaves con el método de Nivel 2



CUADRO 3.6.3
CORRESPONDENCIA ENTRE LAS AERONAVES REPRESENTATIVAS Y OTROS TIPOS DE AERONAVES

Tipo de aeronave genérica	OACI	Aeronave en grupo de IATA	Tipo de aeronave genérica	OACI	Aeronave en grupo de IATA	Tipo de aeronave genérica	OACI	Aeronave en grupo de IATA		
Airbus A300	A30B	AB3	Boeing 737-700	B737	73G	Douglas DC-9	DC9	DC9		
	A306	AB4			73W			DC91	D91	
		AB6	Boeing 737-800	B738	738			DC92	D92	
		ABF			73H			DC93	D93	
		ABX	Boeing 737-900	B739	739			DC94	D94	
ABY					DC95	D95				
Airbus A310	A310	310	Boeing 747-100	B741	74T	Lockheed L-1011	L101	D9C		
		312			N74S			74L	D9F	
		313			B74R			74R	D9X	
		31F			B74R			74V	L10	
		31X	Boeing 747-200	B742	742	L11				
31Y	74C	L15								
Airbus A319	A319	319			74X		L1F			
Airbus A320	A320	320	Boeing 747-300	B743	743	McDonnell Douglas MD11	MD11	M11		
		32S			74D			747	M1F	
Airbus A321	A321	321	Boeing 747-400	B744	744	McDonnell Douglas MD80	MD80	M80		
Airbus A330-200	A330	330			74E			MD81	M81	
		A332			332			74F	MD82	M82
Airbus A330-300	A330	330			74J			MD83	M83	
		A333			333			74M	MD87	M87
					74Y			MD88	MD88	
Airbus A340-200	A342	342			Boeing 757-200			B752	757	McDonnell Douglas MD90
Airbus A340-300	A340	340	75F	Tupolev Tu134		T134	TU3			
	A343	343	75M	Tupolev Tu154	T154	TU5				
Airbus A340-500	A345	345	Boeing 757-300	B753	753	Avro RJ85	RJ85	AR8		
Airbus A340-600	A346	346	Boeing 767-200	B762	762	BAe 146	B461	141		
					76X			B462	142	
Boeing 707	B703	703	Boeing 767-300	B763	767	BAe 146	B463	143		
		707			76F			146		
		70F			763			14F		
		70M			76Y			14X		
Boeing 717	B712	717	Boeing 767-400	B764	764					14Y
Boeing 727-100	B721	721	Boeing 777-200	B772	777			Embraer ERJ145	E145	ER4
		72M			772					ERJ
Boeing 727-200	B722	722	Boeing 777-300	B773	773			Fokker 100/70/28	F28	100
		727			D10	F70	F70			
		72C			D11		F21			
		72B			D1C		F22			
		72F			D1F		F23			
		72S			D1M		F24			
Boeing 737-100	B731	731	Douglas DC-10	DC10	D1X		F28			
Boeing 737-200	B732	732			D1Y	B11				
		73M				B12				
		73X				B13				
Boeing 737-300	B733	737			Douglas DC-8	DC85	D8F	BAC 111	BA11	B14
		73F					DC86			D8L
		733			DC87	D8M				
		73Y				D8Q				
Boeing 737-400	B734	737				D8T		Donier Do 328	D328	D38
		734				D8X		Gulfstream IV/V		GRJ
Boeing 737-500	B735	737		D8Y		Yakovlev Yak 42	YK42	YK2		
		735								
Boeing 737-600	B736	736								

3.6.1.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

NIVEL 1

Los factores de emisión de dióxido de carbono se basan en el tipo de combustible y el contenido de carbono. Los factores nacionales de emisión del CO₂ no deben desviarse mucho de los valores por defecto porque la calidad del combustible para reactores está bien definida. Es una *buena práctica* usar los factores de emisión por defecto del CO₂ del Cuadro 3.6.4 para el Nivel 1 (véase el Capítulo 1, Introducción, de este Volumen y el Cuadro 1.4). Si está disponible, puede usarse el contenido de carbono nacional. Debe estimarse el CO₂ sobre la base del contenido de carbono total del combustible.

CUADRO 3.6.4 FACTORES DE EMISIÓN DEL CO ₂			
Combustible	Por defecto (kg/TJ)	Inferior	Superior
Gasolina para la aviación	69 300	67 500	73 000
Queroseno para motor a reacción	71 500	69 800	74 400

Los valores por defecto para el CH₄ y el N₂O de la aeronave se presentan en el Cuadro 3.6.5. Los diferentes tipos de combinaciones de aeronave y motor arrojan factores de emisión específicos, los cuales también varían según la distancia volada. El Nivel 1 supone que todas las aeronaves tienen los mismos factores de emisión para el CH₄ y el N₂O, sobre la base del índice de consumo de combustible. Se realizó esta hipótesis porque no hay factores de emisión más desagregados disponibles en este nivel de agregación.

CUADRO 3.6.5 FACTORES DE EMISIÓN NO CO ₂			
Combustible	Factores por defecto de CH ₄ (Sin controlar) (en kg/TJ)	Factores por defecto de N ₂ O (Sin controlar) (en kg/TJ)	Factores por defecto de NO _x (Sin controlar) (en kg/TJ)
Todos los combustibles	0,5 ^a (-57%/+100%) ^b	2 (-70%/+150%) ^b	250 +25% ^c
^a En el modo crucero, se supone que las emisiones de CH ₄ son insignificantes (Wiesen <i>et al.</i> , 1994). Solamente para los ciclos de LTO (es decir, por debajo de una altitud de 914 metros (3 000 pies)) el factor de emisión es de 5 kg/TJ (10% del factor de COV total) (Olivier, 1991). Dado que globalmente alrededor del 10% del combustible total se consume en los ciclos de LTO (Olivier, 1995), el factor promedio resultante de la flota es de 0,5 kg/TJ. ^b IPCC, 1999. ^c Dictamen de expertos. Los factores de emisión para otros gases (CO y COVDM) y el contenido de azufre incluido en las Directrices del IPCC de 1996 pueden encontrarse en la EFDB.			

NIVEL 2

Para el método del Nivel 2 es una *buena práctica* usar los factores de emisión del Cuadro 3.6.9 (o las actualizaciones reflejadas en la EFDB) para las emisiones de LTO. Para los cálculos de crucero, solamente pueden computarse directamente las emisiones de NO_x sobre la base de factores de emisión específicos (Cuadro 3.6.10) y puede computarse indirectamente el N₂O a partir de las emisiones de NO_x¹⁸. Se calculan las emisiones de crucero de CO₂ usando los factores de emisión de CO₂ del Nivel 1 (Cuadro 3.6.4). Las emisiones de CH₄ son insignificantes y se supone que son cero, a menos que surja nueva información disponible. Nótese que hay información limitada sobre los factores de emisión para el CH₄ y el N₂O de las aeronaves, y los valores por defecto provistos en el Cuadro 3.6.5 son similares a los valores que se encuentran en la bibliografía.

NIVEL 3

Los factores de emisión de Nivel 3A pueden encontrarse en la guía de inventario de emisiones de EMEP/CORINAIR, mientras que el Nivel 3B utiliza los factores de emisiones contenidos dentro de los modelos necesarios para emplear esta metodología. Los compiladores del inventario deben controlar que estos factores de emisión sean realmente adecuados.

¹⁸ Los países no concuerdan en el método que debe usarse para convertir las emisiones de NO_x en N₂O

3.6.1.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Dado que las emisiones procedentes de la aviación de cabotaje se declaran aparte de las correspondientes a la aviación internacional, es necesario desagregar los datos de la actividad entre componentes de cabotaje e internacionales. A este fin, deben aplicarse las siguientes definiciones independientemente de la nacionalidad del transportador (Cuadro 3.6.6). Por cuestiones de coherencia, es una *buena práctica* usar definiciones similares de las actividades nacionales e internacionales para la aviación y para la navegación marítima y fluvial. En algunos casos, las estadísticas nacionales de energía pueden no proporcionar datos coherentes con esta definición. Es una *buena práctica* que los países separen los datos de la actividad de manera coherente con esta definición. En cualquier caso, el país debe definir claramente las metodologías e hipótesis utilizadas.

CUADRO 3.6.6 CRITERIOS PARA DEFINIR LA AVIACIÓN INTERNACIONAL O DE CABOTAJE (SE APLICAN A CADA ETAPA INDIVIDUAL DE LOS VIAJES CON MÁS DE UN ATERRIZAJE Y DESPEGUE)		
Tipo de viaje entre dos aeropuertos	Nacional	Internacional
Salida y llegada en el mismo país	Sí	No
Salida de un país y llegada a otro	No	Sí

Sobre la base de la experiencia en la compilación de inventarios de emisiones de la aviación, se han identificado dificultades respecto de la división internacional/nacional, en particular para obtener información sobre los pasajeros y la recogida y descarga de cargas en las paradas dentro del mismo país que exigían las *Directrices del IPCC de 1996/GPG2000* (Informe resumen de la reunión de expertos de OACI/CMNUCC de abril de 2004). La mayor parte de los datos de vuelos se recopilan sobre la base de los segmentos individuales del vuelo (desde un despegue hasta el aterrizaje siguiente) y no hay distinción entre los diferentes tipos de paradas intermedias (como lo exigen las *GPG2000*). Por lo tanto, basar la distinción en los datos de los segmentos del vuelo (origen/destino) es más simple y tiende a reducir las incertidumbres. Es muy improbable que este cambio modifique significativamente las estimaciones de emisión.¹⁹ No cambia la forma en la que se declaran las emisiones de los vuelos internacionales como elemento recordatorio y no se incluyen en los totales nacionales.

Las mejoras en la tecnología y la optimización de las prácticas de manejo de la línea aérea han reducido significativamente la necesidad de efectuar paradas técnicas intermedias. Una parada técnica intermedia tampoco cambiaría la definición de un vuelo de cabotaje o internacional. Por ejemplo, si hay disponibles datos explícitos, los países pueden definir como segmentos de vuelo internacional aquellos que salen de un país con un destino en otro y hacen una parada técnica intermedia. Una parada técnica responde únicamente a una necesidad de reabastecimiento o resolución de una dificultad técnica, pero no para intercambio de pasajeros ni de cargas.

Si las estadísticas nacionales de energía aún no proporcionan datos coherentes con esta definición, los países deben estimar la división entre el consumo de combustible nacional e internacional según la definición, usando los métodos que se establecen a continuación.

Es posible obtener datos *de arriba hacia abajo* a través de las autoridades impositivas en los casos en los que el combustible que se vende para uso nacional está gravado, pero no lo está para el uso internacional. Los aeropuertos o los proveedores de combustible pueden tener datos sobre la entrega de queroseno y gasolina para aviación, para los vuelos de cabotaje e internacionales. En la mayoría de los países, los impuestos y aranceles aduaneros gravan los combustibles para consumo nacional, pero los combustibles para consumo internacional (tanques de combustible) están libres de tales impuestos. Ante la falta de fuentes de datos más directas, es posible usar la información referida a los impuestos nacionales para establecer la distinción entre consumo de combustible nacional e internacional.

Los datos *de abajo hacia arriba* pueden obtenerse a partir de los sondeos de las líneas aéreas para el combustible usado en los vuelos de cabotaje e internacionales, o las estimaciones de los datos del movimiento de la aeronave y los cuadros estándar de combustible consumido o ambos. Pueden usarse los factores de consumo de combustible (combustible usado por LTO y por milla náutica recorrida) para las estimaciones y pueden obtenerse a través de las líneas aéreas.

Constituyen ejemplos de fuentes de datos de abajo hacia arriba, incluido el movimiento de las aeronaves:

- Oficinas de estadísticas o ministerios de transporte, como parte de las estadísticas nacionales;
- Registros de aeropuertos;
- Registros de control del tránsito aéreo (ATC), por ejemplo las estadísticas de EUROCONTROL;
- Los cronogramas del transportador aéreo publicados mensualmente por OAG, que contienen los movimientos mundiales de aeronaves de pasajeros y de carga con horarios, así como las salidas regulares programadas de los operadores de fletamento. No contiene los movimientos de las aeronaves de fletamento auxiliar;

¹⁹ Es una *buena práctica* establecer claramente el razonamiento y la justificación si un país opta por usar las definiciones de la *GPG2000*.

Algunas de estas fuentes no cubren todos los vuelos (p. ej., quizá se excluyan los vuelos por fletamento). Por otra parte, los datos del cronograma de la línea aérea pueden incluir vuelos duplicados debido a códigos compartidos entre las líneas aéreas o números de vuelo duplicados. Se han desarrollado métodos para detectar y eliminar estos duplicados. (Baughcum *et al.*, 1996; Sutkus *et al.*, 2001).

Los tipos de aeronaves del Cuadro 3.6.9, Factores de emisión de LTO se definieron sobre la base de las hipótesis planteadas a continuación. Se dividieron las aeronaves en cuatro grupos principales, para reflejar y advertir la fuente de datos definida para cada grupo:

Aviones comerciales grandes: incluye los aviones que reflejan la flota operativa en 2004 y algunos tipos de aviones con compatibilidad inversa, identificados por modelo menor. Se tuvo la sensación de que este método habría de reflejar con suma exactitud las emisiones de la flota operativa. Para minimizar el tamaño del cuadro, se agruparon algunos modelos menores de aviones, en los casos en los que los factores de emisiones de LTO eran similares. La fuente de datos de factores de emisión de LTO para el grupo de aviones comerciales grandes es el banco de datos de emisiones de escape de los motores de la OACI (ICAO, 2004a).

Aviones de reacción regionales: Este grupo incluye aviones representativos de la flota de aviones de reacción regionales operativos de 2004 (RJ). Se seleccionaron los aviones RJ representativos a partir de una gama correcta de aviones RJ con factores de emisión de LTO disponibles. La fuente de datos de factores de emisión de LTO para el grupo RJ es el banco de datos de emisiones de escape de los motores de la OACI (ICAO, 2004a).

Aviones de reacción con pequeño empuje: En algunos países, los aviones pertenecientes a la categoría de pequeño empuje (motores con empuje inferior a los 26,7 kN) constituyen una cantidad no insignificante de movimientos y, por lo tanto, debe incluirse en los inventarios. Sin embargo, no se exige que los motores de los aviones de este grupo cumplan con las normas de emisiones de motores de la OACI, por lo que no se incluyen los datos sobre los factores de emisión de LTO en el banco de datos de emisiones de escape de motores de la OACI y son difíciles de proporcionar. Por lo tanto, hay un avión representativo con emisiones típicas para los aviones de este grupo. La fuente de datos de los factores de emisión de LTO del grupo de aviones de reacción con pequeño empuje es el sistema de modelización de dispersión y emisiones de la FAA (EDMS, del inglés, *Emissions and Dispersion Modelling System*) (FAA 2004b).

Turbohélices: Este grupo incluye aviones representativos de la flota de turbohélices 2004, que puede representarse mediante tres tamaños típicos de aviones, sobre la base de la potencia del eje del motor. La fuente de datos de los factores de emisión de LTO del grupo de los turbohélices es la base de datos de emisiones de LTO del Instituto aeronáutico sueco (FOI).

Pueden obtenerse datos similares de otras fuentes (p. ej., AEMA, 2002). Los datos equivalentes para los aviones turbohélice y con motor de pistones deben obtenerse a través de otras fuentes. La relación que existe entre los aviones reales y los representativos se incluye en el Cuadro 3.6.3.

Pueden obtenerse datos sobre la flota de aviones a través de diversas fuentes. La OACI recopila datos sobre la flota a través de dos de sus subprogramas de estadísticas: la flota de transportadores aéreos comerciales, declarada por los Estados para sus transportadores aéreos comerciales, y los aviones civiles del registro, declarados por los Estados para los aviones civiles en su registro el 31 de diciembre (ICAO 2004b).

Algunos Estados de la OACI no participan en esta recopilación de datos, en parte debido a la dificultad que plantea dividir la flota en organismos comerciales y no comerciales. Por este motivo, la OACI también utiliza otras fuentes externas. Una de ellas es el Registro internacional de aviación civil, 2004, publicado por Bureau Veritas (Francia), CAA (Reino Unido) y ENAC (Italia) en cooperación con OACI. Esta base de datos contiene la información de los registros de aviación civil de alrededor de 45 Estados (incluidos los Estados Unidos) que cubre más de 450 000 aeronaves.

Además de lo anterior, existen bases de datos comerciales de las cuales la OACI hace uso. Ninguna de ellas cubre la flota en su totalidad, puesto que tienen limitaciones en el alcance y el tamaño de las aeronaves. Entre éstas se encuentran: BACK Aviation Solutions Fleet Data (aeronaves con alas fijas y más de 30 asientos), la base de datos AirClaims CASE (aviones comerciales turbohélice y con motor a reacción y ala fija), BUCHAir, editores de JP Airline Fleet (cubre las aeronaves de ala fija y giratoria). Otras compañías tales como AvSofT también pueden contar con información pertinente. Es posible obtener información adicional en los sitios Web de estas compañías.

3.6.1.4 AVIACIÓN MILITAR

Aquí se define la actividad militar como aquellas actividades en las que se utiliza el combustible adquirido por las autoridades militares del país o provisto a ellas. Es posible estimar las emisiones procedentes del uso del combustible en la aviación por medio de la ecuación 3.6.1 y el mismo método de cálculo recomendado para la aviación civil. Algunos tipos de aviones y helicópteros para el transporte militar poseen características de combustible y emisiones similares a los tipos civiles. Por lo tanto, deben usarse los factores de emisión por defecto de las aeronaves civiles para la aviación militar, a menos que haya mejores datos disponibles. Como alternativa, se puede estimar el uso del combustible a través de las horas de uso. Los factores de consumo de combustible por defecto para las aeronaves militares se presentan en los Cuadros 3.6.7 y 3.6.8. Para los factores de uso del combustible, véase la Sección 3.6.1.3, Elección de los datos de la actividad.

CUADRO 3.6.7			
FACTORES DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA AERONAVES MILITARES			
Grupo	Subgrupo	Tipo representativo	Flujo de combustible (kg/hora)
Combate	Motor a reacción rápido – gran empuje	F16	3 283
	Motor a reacción rápido – pequeño empuje	Tiger F-5E	2 100
Adiestramiento	Aviones de adiestramiento con motor a reacción	Hawk	720
	Aviones de adiestramiento con turbohélice	PC-7	120
Avión cisterna / transporte	Avión cisterna / transporte grande	C-130	2 225
	Transporte pequeño	ATP	499
Otros	Patrulla marítima MPA	C-130	2 225

Fuentes: Cuadros 3.1 y 3.2 de Gardner *et. al* 1998 USEPA, 2005)

CUADRO 3.6.8		
CONSUMO DE COMBUSTIBLE POR HORA DE VUELO PARA AERONAVES MILITARES		
TIPO DE AERONAVE	Descripción de la aeronave	USO DE COMBUSTIBLE (LITROS POR HORA)
A-10A	Bombardero liviano bimotor	2 331
B-1B	Bombardero estratégico de gran alcance de cuatro motores Usado solamente por los Estados Unidos	13 959
B-52H	Bombardero estratégico de gran alcance de ocho motores Usado solamente por los Estados Unidos.	12 833
C-12J	Transporte ligero doble turbohélice. Variante Beech King Air.	398
C-130E	Transporte de cuatro turbohélices. Usado por muchos países.	2 956
C-141B	Transporte de gran alcance de cuatro motores. Usado solamente por los Estados Unidos	7 849
C-5B	Transporte pesado de gran alcance de cuatro motores. Usado solamente por los Estados Unidos	13 473
C-9C	Transporte bimotor. Variante militar del DC-9.	3 745
E-4B	Transporte de cuatro motores. Variante militar del Boeing 747.	17 339
F-15D	Caza bimotor.	5 825
F-15E	Cazabombardero bimotor	6 951
F-16C	Caza de un solo motor. Usado por muchos países.	3 252
KC-10A	Avión cisterna trimotor. Variante militar del DC-10.	10 002
KC-135E	Avión cisterna de cuatro motores. Variante militar del Boeing 707.	7 134
KC-135R	Avión cisterna de cuatro motores con motores más nuevos. Variante del Boeing 707.	6 064
T-37B	Avión de adiestramiento bimotor a reacción.	694
T-38A	Avión de adiestramiento bimotor a reacción. Similar al F-5.	262

Las aeronaves militares (aviones de transporte, helicópteros y caza) quizá no tengan su equivalente civil, por lo que se insta a aplicar un método de análisis de datos más detallado en los casos en los que hay datos disponibles. Los compiladores de los inventarios deben consultar a los expertos militares para determinar los factores de emisión más adecuados a la aviación militar del país.

Por cuestiones de confidencialidad (véase exhaustividad y generación de informes), muchos compiladores pueden tener dificultades para obtener datos sobre la cantidad de combustible usado por las fuerzas militares. Aquí se define la actividad militar como aquellas actividades en las que se utiliza el combustible adquirido por las autoridades militares

del país o provisto a ellas. Los países pueden aplicar las reglas que definen las operaciones de aviación civil, nacional e internacional a las operaciones militares, en los casos en los que los datos necesarios para su aplicación son equiparables y están disponibles. En este caso, pueden declararse las emisiones militares internacionales en la categoría Aviación internacional (tanques de combustible internacional), pero deben mostrarse por separado. Deben obtenerse los datos sobre el uso militar del combustible a través de instituciones militares gubernamentales o proveedores de combustible. Si no hay disponibles datos sobre la división del combustible, todo el combustible vendido para actividades militares debe tratarse como nacional.

Las emisiones resultantes de las operaciones multilaterales con arreglo a la Carta de las Naciones Unidas no deben incluirse en los totales nacionales; otras emisiones relativas a las operaciones deben incluirse en los totales nacionales de emisiones de una o más Partes involucradas. Los cálculos nacionales deben tomar en cuenta el combustible entregado a las fuerzas militares del país, así como el combustible entregado dentro de ese país pero usado por las fuerzas militares de otros países. Otras emisiones relativas a las operaciones (p. ej. equipo de apoyo terrestre todo terreno) deben incluirse en los totales nacionales de emisiones de la categoría de fuente correspondiente.

Deben utilizarse estos datos con precaución puesto que las circunstancias nacionales pueden diferir de las supuestas en este cuadro. En particular, las distancias recorridas y el consumo de combustible pueden verse afectados por las estructuras viales nacionales, la congestión de los aeropuertos y las prácticas de control del tránsito aéreo.

3.6.1.5 EXHAUSTIVIDAD

Independientemente del método, es importante justificar todo el combustible usado en la aviación en el país. Los métodos se basan en el uso total del combustible y deben cubrir las emisiones de CO₂ en su totalidad. Sin embargo, la asignación entre LTO y crucero no quedará completa para el método de Nivel 2 si las estadísticas de LTO no lo están. Asimismo, el método de Nivel 2 se concentra en los vuelos programados y fletados de pasajeros y carga, pero no en toda la aviación. Además, el método de Nivel 2 no incluye automáticamente los vuelos no programados ni la aviación en general como aviones agrícolas, aviones o helicópteros privados, que deben sumarse si la cantidad de combustible es significativa. La exhaustividad también puede ser un problema en los casos en los que los datos militares son confidenciales; en esta situación, es una *buena práctica* agregar el uso del combustible militar con otra categoría de fuente.

Entre otras actividades relativas a la aviación que generan emisiones se incluyen: repostado y manejo de combustible en general, mantenimiento de los motores de las aeronaves y lanzamiento de combustible para evitar accidentes. Además, en el invierno, el tratamiento anticongelamiento y deshielo de las alas y la aeronave es una fuente de emisiones en los complejos del aeropuerto. Muchos de los materiales utilizados en estos tratamientos circulan de las alas cuando los aviones están en marcha en vacío, carreteando y despegando, y luego se evaporan. Sin embargo, estas emisiones son muy leves y no se incluyen métodos específicos para estimarlas.

Existen más desafíos a la hora de diferenciar las emisiones nacionales de las internacionales. Puesto que las fuentes de datos de cada país son únicas para esta categoría, no es posible formular una regla general respecto de la forma de realizar una asignación ante la falta de datos claros. Es una *buena práctica* especificar claramente las hipótesis efectuadas, de modo que pueda evaluarse la cuestión de la exhaustividad.

3.6.1.6 DESARROLLO DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Volumen 1 Capítulo 5: La coherencia de la serie temporal y la repetición del cálculo de las *Directrices del IPCC de 2006* proporciona más información acerca de la forma de desarrollar estimaciones de emisión en los casos en los que no se pueden usar los mismos conjuntos de datos o métodos durante todos los años de la serie temporal. Si no hay disponibles datos de la actividad para el año de base (p. ej., 1990), una opción sería extrapolar los datos a este año usando cambios en los kilómetros de carga y pasajeros, el combustible total usado o provisto, o la cantidad de LTO (movimientos de aeronaves).

Las tendencias de las emisiones de CH₄ y NO_x (y por inferencia N₂O) dependen de la tecnología del motor de la aeronave y del cambio en la composición de la flota del país. Este cambio en la composición de la flota quizá deba justificarse en el futuro, y se logra mejor con los métodos de Nivel 2 y 3B basados en cada tipo de aeronave para 1990 y los años subsiguientes. Si no se modifica la composición de la flota, debe usarse el mismo conjunto de factores de emisión para todos los años.

Cada método debe poder reflejar con exactitud los resultados de las opciones de mitigación que se traducen en cambios en el uso del combustible. No obstante, solamente los métodos de Nivel 2 y 3B, basados en cada aeronave, pueden capturar el efecto de las opciones de mitigación que se traducen en factores de emisión inferiores.

Se ha revisado el Nivel 2 para dar cuenta de las emisiones de NO_x en la fase de ascenso, que son sustancialmente diferentes de las emisiones del crucero, y las diferencias en la cantidad de NO_x calculada durante esa fase podrían encontrarse en la escala de aproximadamente 15 a 20 por ciento, debido al impulso/la potencia necesarios en esa fase, y a su relación con la mayor producción de NO_x. Se debe tener especial cuidado de crear una serie temporal coherente si se utiliza el Nivel 2.

3.6.1.7 EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE

FACTORES DE EMISIÓN

Los factores de emisión de CO₂ deben encontrarse dentro de una escala de ± 5 por ciento, porque dependen solamente del contenido de carbono del combustible y la fracción oxidada. Sin embargo, hay una incertidumbre considerable inherente al cálculo de CO₂ basado en las incertidumbres de los datos de la actividad que se analizan a continuación. Para el Nivel 1, la incertidumbre del factor de emisión de CH₄ puede variar entre -57 y +100 por ciento. La incertidumbre del factor de emisión de N₂O puede variar entre -70 y +150 por ciento. Además, los factores de emisión de CH₄ y N₂O varían con la tecnología, y utilizar un solo factor de emisión para la aviación, en general, es una simplificación considerable.

La información que sirve para calcular las incertidumbres asociadas con los factores de emisión de LTO del Cuadro 3.6.9 se encuentra en Lister and Norman, 2003; y en OACI, 1993. La información que sirve para calcular las incertidumbres asociadas con los factores de emisión de crucero del Cuadro 3.6.10 se encuentran en: Baughcum *et al*, 1996. Sutkus, *et al*, 2001; Evers *et al*, 2004; Kim, 2005 a and b; Malwitz, 2005. Si no hay recursos disponibles para calcular las incertidumbres, es posible usar las bandas de incertidumbre definidas como factores por defecto en la Sección 3.6.1.2.

Se debe prestar especial atención a los factores de emisión de NO_x de crucero para el Nivel 2 que se encuentran en el Cuadro 3.6.10. Estos factores de emisión se actualizaron a partir de las Directrices de 1996, de modo que reflejaran el hecho de que las emisiones de la fase de ascenso son sustancialmente diferentes de las del crucero. El cálculo de los factores de emisión de NO_x se basa en dos conjuntos de datos, uno de 1 km a 9 km, y el segundo de 9 km a 13 km, y las diferencias en la cantidad de NO_x calculado durante esa fase puede estar en la escala de alrededor del 15 al 20 por ciento, debido al impulso/la potencia necesarios en esa fase, y su relación con la producción superior de NO_x. Si se utiliza el Nivel 2, se debe cuidar de declarar una serie temporal coherente (véase la Sección 3.6.1.6 y el Volumen 1, Capítulo 5).

DATOS DE LA ACTIVIDAD

La incertidumbre en la generación de informes se verá muy afectada por la exactitud de los datos recopilados sobre la aviación de cabotaje, aparte de la aviación internacional. Con datos completos del sondeo, la incertidumbre puede ser muy baja (menos del 5 por ciento) mientras que para las estimaciones o los sondeos incompletos las incertidumbres pueden ser grandes, quizá un factor de dos para el sector de cabotaje. Los rangos de incertidumbre citados representan una consulta informal de expertos orientada a aproximar el intervalo de confianza del 95 por ciento en torno a la estimación central. La incertidumbre varía considerablemente de un país a otro y resulta difícil de generalizar. El uso de conjuntos de datos globales, respaldados por radar, puede ser útil en este campo, y se espera que la declaración mejore en el futuro para esta categoría.

3.6.2 Garantía de calidad / Control de calidad (GC/CC) del inventario

Es una *buena práctica* efectuar controles de calidad como se establece en el Capítulo 6 del Volumen 1 (Garantía de calidad / Control de calidad y verificación), Nivel 1, procedimientos generales de CC para el nivel del inventario. Es una *buena práctica* realizar revisiones de expertos de las estimaciones de emisión al utilizar los métodos de Nivel 2 o 3. Otros controles de calidad extra se plantean en los procedimientos de Nivel 2, en el mismo capítulo, y los procedimientos de garantía de calidad también pueden ser aplicables, en particular si se usan métodos de nivel superior para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuente. Se alienta a los compiladores de inventarios a usar GC/CC de nivel superior para las *categorías principales* identificadas en el Capítulo 4 del Volumen I:

A continuación se esbozan procedimientos específicos pertinentes para esta categoría de fuente.

Comparación de emisiones a través de métodos alternativos

Si se utilizan métodos de nivel superior, el compilador debe comparar los inventarios con las estimaciones de niveles inferiores. Toda anomalía existente entre las estimaciones de emisión debe investigarse y explicarse. Deben registrarse los resultados de esas comparaciones para documentación interna.

Revisión de los factores de emisión

Si se utilizan factores nacionales en vez de los factores por defecto, se debe referir directamente la revisión de CC asociada con la publicación de los factores de emisión e incluirla en la documentación de GC/CC, para garantizar que los procedimientos sean coherentes con la *buena práctica*. De ser posible, los compiladores de los inventarios deben comparar los valores por defecto del IPCC con los factores nacionales, para obtener un indicio mayor de que los factores son aplicables. Si se desarrollaron las emisiones procedentes del sector militar usando datos diferentes de los factores por defecto, se debe controlar la exactitud de los cálculos, y la aplicabilidad y pertinencia de los datos.

CUADRO 3.6.9
FACTORES DE EMISIÓN DE LTO PARA AERONAVES TÍPICAS

	AERONAVE	Factores de emisión de LTO (kg/LTO/) ⁽¹²⁾							CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE LTO (Kg/LTO)
		CO ₂ ⁽¹¹⁾	CH ₄ ⁽⁷⁾	N ₂ O ⁽⁹⁾	NO _x	CO	COVDM ⁽⁸⁾	SO ₂ ⁽¹⁰⁾	
Aviones comerciales grandes ⁽¹⁾⁽²⁾	A300	5450	0,12	0,2	25,86	14,80	1,12	1,72	1720
	A310	4760	0,63	0,2	19,46	28,30	5,67	1,51	1510
	A319	2310	0,06	0,1	8,73	6,35	0,54	0,73	730
	A320	2440	0,06	0,1	9,01	6,19	0,51	0,77	770
	A321	3020	0,14	0,1	16,72	7,55	1,27	0,96	960
	A330-200/300	7050	0,13	0,2	35,57	16,20	1,15	2,23	2230
	A340-200	5890	0,42	0,2	28,31	26,19	3,78	1,86	1860
	A340-300	6380	0,39	0,2	34,81	25,23	3,51	2,02	2020
	A340-500/600	10660	0,01	0,3	64,45	15,31	0,13	3,37	3370
	707	5890	9,75	0,2	10,96	92,37	87,71	1,86	1860
	717	2140	0,01	0,1	6,68	6,78	0,05	0,68	680
	727-100	3970	0,69	0,1	9,23	24,44	6,25	1,26	1260
	727-200	4610	0,81	0,1	11,97	27,16	7,32	1,46	1460
	737-100/200	2740	0,45	0,1	6,74	16,04	4,06	0,87	870
	737-300/400/500	2480	0,08	0,1	7,19	13,03	0,75	0,78	780
	737-600	2280	0,10	0,1	7,66	8,65	0,91	0,72	720
	737-700	2460	0,09	0,1	9,12	8,00	0,78	0,78	780
	737-800/900	2780	0,07	0,1	12,30	7,07	0,65	0,88	880
	747-100	10140	4,84	0,3	49,17	114,59	43,59	3,21	3210
	747-200	11370	1,82	0,4	49,52	79,78	16,41	3,60	3600
	747-300	11080	0,27	0,4	65,00	17,84	2,46	3,51	3510
	747-400	10240	0,22	0,3	42,88	26,72	2,02	3,24	3240
	757-200	4320	0,02	0,1	23,43	8,08	0,20	1,37	1370
	757-300	4630	0,01	0,1	17,85	11,62	0,10	1,46	1460
	767-200	4620	0,33	0,1	23,76	14,80	2,99	1,46	1460
	767-300	5610	0,12	0,2	28,19	14,47	1,07	1,77	1780
	767-400	5520	0,10	0,2	24,80	12,37	0,88	1,75	1750
	777-200/300	8100	0,07	0,3	52,81	12,76	0,59	2,56	2560
	DC-10	7290	0,24	0,2	35,65	20,59	2,13	2,31	2310
	DC-8-50/60/70	5360	0,15	0,2	15,62	26,31	1,36	1,70	1700
DC-9	2650	0,46	0,1	6,16	16,29	4,17	0,84	840	
L-1011	7300	7,40	0,2	31,64	103,33	66,56	2,31	2310	

CUADRO 3.6.9 (CONTINUACIÓN) FACTORES DE EMISIÓN DE LTO PARA AERONAVES TÍPICAS									
	AERONAVE	Factores de emisión de LTO (kg/LTO) (12)							CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE LTO (KG/LTO)
		CO ₂ (11)	CH ₄ (7)	N ₂ O(9)	NO _x	CO	COVDM(8)	SO ₂ (10)	
	MD-11	7290	0,24	0,2	35,65	20,59	2,13	2,31	2310
	MD-80	3180	0,19	0,1	11,97	6,46	1,69	1,01	1010
	MD-90	2760	0,01	0,1	10,76	5,53	0,06	0,87	870
	TU-134	2930	1,80	0,1	8,68	27,98	16,19	0,93	930
	TU-154-M	5960	1,32	0,2	12,00	82,88	11,85	1,89	1890
	TU-154-B	7030	11,90	0,2	14,33	143,05	107,13	2,22	2230
Aviones de reacción regionales	RJ-RJ85	1910	0,13	0,1	4,34	11,21	1,21	0,60	600
	BAE 146	1800	0,14	0,1	4,07	11,18	1,27	0,57	570
	CRJ-100ER	1060	0,06	0,03	2,27	6,70	0,56	0,33	330
	ERJ-145	990	0,06	0,03	2,69	6,18	0,50	0,31	310
	Fokker 100/70/28	2390	0,14	0,1	5,75	13,84	1,29	0,76	760
	BAC111	2520	0,15	0,1	7,40	13,07	1,36	0,80	800
	Dornier 328 Jet	870	0,06	0,03	2,99	5,35	0,52	0,27	280
	Gulfstream IV	2160	0,14	0,1	5,63	8,88	1,23	0,68	680
	Gulfstream V	1890	0,03	0,1	5,58	8,42	0,28	0,60	600
	Yak-42M	2880	0,25	0,1	10,66	10,22	2,27	0,91	910
con potencia o empuj	Cessna 525/560	1070	0,33	0,03	0,74	34,07	3,01	0,34	340
Turbohélices	Beech King Air (5)	230	0,06	0,01	0,30	2,97	0,58	0,07	70
	DHC8-100 (6)	640	0,00	0,02	1,51	2,24	0,00	0,20	200
	ATR72-500 (7)	620	0,03	0,02	1,82	2,33	0,26	0,20	200

Notas:

- (1) Banco de datos de emisiones de escape de los motores de la OACI (ICAO, 2004) sobre la base de datos medidos promedio. Se aplican los factores de emisión solamente al LTO (aterrizaje y despegue).
- (2) Se seleccionaron los tipos de motor para cada aeronave sobre una base coherente del motor con la mayoría de los LTO. Este método, para algunos tipos de motores, puede subestimar (o sobreestimar) las emisiones de la flota no relacionadas directamente con el consumo de combustible (p. ej., NO_x, CO, HC).
- (2) Sistema de modelización de dispersión y emisiones (EDMS) (FAA 2004b)
- (4) Base de datos de emisiones LTO turbohélice de la FOI (Agencia de investigación para la defensa sueca)
- (5) Representativo de las aeronaves turbohélice con potencia del eje de hasta 1000 shp/motor
- (6) Representativo de las aeronaves turbohélice con potencia del eje de 1000 a 2000 shp/motor
- (7) Representativo de las aeronaves turbohélice con potencia del eje de más de 2000 shp/motor
- (8) Suponiendo que el 10% del total de emisiones de COV en los ciclos de LTO son emisiones de metano (Olivier, 1991) (como en las *Directrices del IPCC de 1996*).
- (9) Estimaciones basadas en los valores por defecto del Nivel I (EF ID 11053) (como en las *Directrices del IPCC de 1996*).
- (10) Se supone que el contenido de azufre del combustible es de 0,05% (como en las *Directrices del IPCC de 1996*).
- (11) CO₂ para cada aeronave, sobre la base de 3,16 kg CO₂ producido para cada kg de combustible utilizado, luego redondeado a los 10 kg siguientes.
- (12) La información relativa a las incertidumbres asociadas con estos datos puede encontrarse en: Lister and Norman, 2003; ICAO, 1993.

El Cuadro preparado con las actualizaciones de 2005 estará disponible en la base de datos de factores de emisión.

CUADRO 3.6.10
FACTORES DE EMISIÓN DE NO_x PARA DIVERSAS AERONAVES A NIVELES DE CRUCERO

	Aeronave	Factor de emisión de NO_x (g/kg) ⁽¹⁾⁽⁵⁾
Aviones comerciales grandes	A300	14,8
	A310	12,2
	A319	11,6
	A320	12,9
	A321	16,1
	A330-200/300	13,8
	A340-200	14,5
	A340-300	14,6
	A340-500/600	13,0 ⁽²⁾
	707	5,9
	717	11,5 ⁽³⁾
	727-100	8,7
	727-200	9,5
	737-100/200	8,7
	737-300/400/500	11,0
	737-600	12,8
	737-700	12,4
	737-800/900	14,0
	747-100	15,5
	747-200	12,8
	747-300	15,2
	747-400	12,4
	757-200	11,8
	757-300	9,8 ⁽³⁾
	767-200	13,3
	767-300	14,3
	767-400	13,7 ⁽³⁾
	777-200/300	14,1
	DC-10	13,9
	DC-8-50/60/70	10,8
	DC-9	9,1
	L-1011	15,7
	MD-11	13,2
MD-80	12,4	
MD-90	14,2	
TU-134	8,5	
TU-154-M	9,1	
TU-154-B	9,1	
Aviones de reacción regionales	RJ-RJ85	15,6
	BAE 146	8,4
	CRJ-100ER	8,0
	ERJ-145	7,9
	Fokker 100/70/28	8,4
	BAC111	12,0
	Dornier 328 Jet	14,8 ⁽²⁾
	Gulfstream IV	8,0 ⁽²⁾
	Gulfstream V	9,5 ⁽²⁾
	Yak-42M	15,6 ⁽⁴⁾
Aviones de reacción con pequeño empuje (Fn < 26,7 kN)	Cessna 525/560	7,2 ⁽⁴⁾
Turbohélices	Beech King Air	8,5
	DHC8-100	12,8
	ATR72-500	14,2

Notas:

(1) Sutkus *et al* 2001, salvo especificación en contrario.

(2) Datos del modelo SAGE Kim, 2005 a y b; Malwitz, 2005

(3) Sutkus, Baughcum, DuBois, 2003

(4) Promedio de los datos del modelo SAGE (Kim, 2005 a y b; Malwitz, 2005) y AERO2k (Eyers *et al*, 2004)

(5) La información que sirve de ayuda para calcular las incertidumbres puede encontrarse en: Baughcum *et al*, 1996; Sutkus, *et al*, 2001; Eyers *et al*, 2004; Kim, 2005 a and b; Malwitz, 2005.

Verificación de los datos de la actividad

Debe revisarse la fuente de los datos de la actividad para garantizar la aplicabilidad y la pertinencia a la categoría de fuente. De ser posible, el compilador del inventario debe comparar los datos actuales con los datos históricos de la actividad o las salidas del modelo para detectar posibles anomalías. Al elaborar las estimaciones del inventario, el compilador debe garantizar la fiabilidad de los datos de la actividad usados para diferenciar las emisiones de la aviación de cabotaje de la internacional.

Se pueden controlar los datos con indicadores de productividad, como ser combustible por unidad de desempeño del tránsito (por km de pasajero o km de tonelada). Si se comparan datos de diferentes países, la banda de datos debe ser pequeña. La Agencia Europea de Medio Ambiente proporciona un conjunto de datos útil,²⁰ que presenta las emisiones y el volumen de pasajeros/carga de cada modo de transporte para Europa. Por ejemplo, Noruega estima que para la aviación de cabotaje, las emisiones son de 0,22 kg CO₂/pasajero-km. Sin embargo, nótese que la flota global incluye muchas aeronaves pequeñas con una eficiencia de energía relativamente baja. El Departamento de Transporte de los Estados Unidos estima una intensidad promedio de energía de la flota estadounidense de 3666 Btu/pasajero milla (2403 kJ/pasajero km). La Asociación de Transporte Aéreo Internacional estima que una aeronave promedio consume 3,5 litros de combustible para reactores por cada 100 pasajeros-km (67 pasajeros millas por galón estadounidense).

Confiar en las operaciones programadas para los datos de la actividad puede aportar mayores incertidumbres que confiar simplemente en el uso del combustible para CO₂. Sin embargo, la pérdida de combustible y el uso de combustible para reactores para otras actividades arroja estimaciones por encima del valor de los aportes de la aviación.

Revisión externa

El compilador del inventario debe realizar una revisión independiente y objetiva de los cálculos, las hipótesis o la documentación del inventario de emisiones, para evaluar la eficacia del programa de CC. Deben realizar la revisión los expertos (p. ej., las autoridades de la aviación, las líneas aéreas y el personal militar) que estén familiarizados con la categoría de fuente y que entiendan los requisitos del inventario.

3.6.3 Generación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información requerida para producir las estimaciones del inventario de emisiones nacionales, como se plantea en el Capítulo 8 del Volumen 1 de las *Directrices del IPCC de 2006*. A continuación se presentan algunos ejemplos de documentación y declaración específicas, pertinentes para esta categoría de fuente.

Se exige que los compiladores declaren las emisiones procedentes de la aviación internacional aparte de las correspondientes a la aviación de cabotaje, y que excluyan la aviación internacional de los totales nacionales. Se espera que todos los países tengan actividad aeronáutica y, por lo tanto, declaren emisiones de esta categoría. Si bien los países que cubren superficies pequeñas pueden no tener aviación de cabotaje, deben declarar las emisiones procedentes de la aviación internacional. Los compiladores deben explicar de qué forma se aplicó la definición de internacional y cabotaje de las directrices.

Se mejoraría la transparencia si los compiladores aportaran datos sobre las emisiones del LTO aparte de las operaciones de crucero. Las emisiones derivadas de la aviación militar deben especificarse claramente, para mejorar la transparencia de los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Además de la información numérica declarada en los cuadros estándar, aportar los datos siguientes aumenta la transparencia:

- fuentes de datos del combustible y otros datos fundamentales (p. ej., factores de consumo del combustible), según el método usado;
- la cantidad de movimientos de vuelos divididos en cabotaje e internacional;
- los factores de emisión usados, si difieren de los valores por defecto. Se deben referir las fuentes de datos.
- Si se utiliza el método de Nivel 3, pueden suministrarse datos de las emisiones aparte para la Aviación comercial programada y Otras actividades propulsadas a reacción.

La confidencialidad puede ser un problema si solo una o dos líneas aéreas operan el transporte de cabotaje en un país dado. También puede serlo para declarar la aviación militar de forma transparente.

²⁰ Véase http://air-climate.eionet.eu.int/databases/TRENDS/TRENDS_EU15_data_Sep03.xls

3.6.4 Cuadros para la generación de informes y hojas de trabajo

Deben completarse las cuatro páginas de las hojas de trabajo (Anexo 1) para el método por sectores del Nivel I, para cada una de las categorías de fuente del Cuadro 3.6.1. Los cuadros para la generación de informes están disponibles en el Volumen 1, Capítulo 8.

3.6.5 Definiciones de los términos específicos

Gasolina para la aviación: combustible utilizado en una aeronave con motor de pistones pequeño, que generalmente representa menos del 1 por ciento del combustible utilizado en la aviación.

Ascenso: parte del vuelo de una aeronave, posterior al despegue y por encima de los 914 metros (3000 pies) sobre el suelo, que consiste en llevar a la aeronave a la altitud de crucero deseada.

Comercial programado: toda operación comercial de aeronaves que tiene un cronograma públicamente disponible (p. ej., la guía oficial de la línea aérea (OAG 2006, del inglés, *Official Airline Guide*), que incluye, principalmente, servicios para pasajeros. Las actividades que no operan con los cronogramas disponibles públicamente no están incluidas en esta definición, como ser la carga no programada, el fletamento, el taxi aéreo y las operaciones de respuesta en emergencias. Nota: Se utiliza la *Aviación comercial programada* como subconjunto de las operaciones aeronáuticas propulsadas a combustible para reactores.

Crucero: todas las actividades aeronáuticas que se desarrollan a una altitud superior a los 914 metros (3 000 pies), incluidas las operaciones adicionales de ascenso o descenso por encima de esta altitud. No se incluye ningún límite superior.

Motores de turbina de gas: motores rotativos que extraen energía de un flujo de gas de combustión. Se añade la energía al flujo de gas de la cámara de combustión, donde se mezcla el aire con el combustible y se enciende. La combustión aumenta la temperatura y el volumen del caudal del gas. Se dirige a través de una boquilla sobre los álabes de la turbina, lo que la hace girar y accionar el compresor. Para una aeronave, se extrae la energía en forma de impulso o a través de una turbina que acciona un ventilador o impulsor.

Referencias

TRANSPORTE TERRESTRE

- ADEME/DIREM (2002). Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, La direction des ressources énergétiques et minérales, Ecobilan, PricewaterhouseCoopers, 'Energy and greenhouse gas balances of biofuels' production chains in France.' December, www.ademe.fr/partenaire/agric/publications/ocuments_anglais/synthesis_energy_and_greenhouse_english.pdf
- ARB (2004). 'Technical Support Document for Staff Proposal Regarding Reduction of greenhouse gas emissions from motor vehicles, climate change emissions inventory'. California Air Resources Board (August 6 2004)
- Ballantyne, V. F., Howes, P., and Stephanson, L. (1994). 'Nitrous oxide emissions from light duty vehicles.' SAE Tech. Paper Series (#940304), 67–75.
- Beer, T., Grant, T., Brown, R., Edwards, J., Nelson, P., Watson, H., Williams, D., (2000). 'Life-cycle emissions analysis of alternative fuels for heavy vehicles'. CSIRO Atmospheric Research Report C/0411/1.1/F2 to the Australian Greenhouse Office, Australia. (March 2000)
- Behrentz, E. (2003). 'Measurements of nitrous oxide emissions from light-duty motor vehicles: analysis of important variables and implications for California's greenhouse gas emission Inventory.' Dissertation Prospectus University of California, USA, (2003). See <http://ebehrent.bol.ucla.edu/N2O.pdf>
- Borsari, V. (2005). 'As emissões veiculares e os gases de efeito estufa.' SAE - Brazilian Society of Automotive Engineers
- CETESB (2004). Air Quality Report (Relatório de Qualidade do Ar 2003, in Portuguese, (Air Quality Report 2003), available at <http://www.cetesb.sp.gov.br/Ar/Relatorios/RelatorioAr2003.zip> and

- CETESB (2005). Personal communication with Oswaldo Lucon, São Paulo State Environment Agency, Mobile Sources Division. Information based on measurements conducted by Renato Linke, Vanderlei Borsari and Marcelo Bales, (Vehicle Inspection Division, ph. +5511 3030 6000). Partially published.
- CONCAWE Report 2/02 Brussels, Belgium, (April 2002). 'Energy and greenhouse gas balance of biofuels for Europe - an update.'
- Díaz, L. et.al (2001). 'Long-term efficiency of catalytic converters operating in Mexico City.' Air & Waste Management Association, ISSN 1047-3289, Vol 51, pp.725-732,
- EEA (2000). European Environment Agency (EEA). 'COPERT III computer programme to calculate emissions from road transport, methodology and emission factors report.' (Version 2.1), Copenhagen, Denmark November 2000. (For more details see <http://vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm>)
- EEA (2005a). EMEP/CORINAIR. Emission Inventory Guidebook – 2005 European Environment Agency, Technical report No 30. Copenhagen, Denmark, (December 2005). Available from web site: <http://reports.eea.eu.int/EMEP/CORINAIR4/en>
- EEA (2005b). European Environment Agency (EEA), Computer programme to calculate emissions from road transport (COPERT), <http://vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm>
- Gamas, D.J., Diaz, L., Rodriguez, R., López-Salinas, E., Schifter, I., (1999). 'Exhaust emissions from gasoline and LPG-powered vehicles operating at the altitude of Mexico City.' in Journal of the Air & Waste Management Association, October 1999.
- Heeb, Norbert., et al (2003). 'Methane, benzene and alkyl benzene cold start emission data of gasoline-driven passenger cars representing the vehicle technology of the last two decades.' Atmospheric Environment 37 (2003) 5185-5195.
- IEA (2004). 'Bioenergy; biofuels for transport: an overview.' IEA Bioenergy.' T39:2004:01 (Task 39); March 2004,
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1997). Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, J.T. Houghton *et al.*, IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- LAT (2005). 'Emission factors of N₂O and NH₃ from road vehicles.' LAT Report 0507 (in Greek), Laboratory of Applied Thermodynamics, Aristotle University of Thessaloniki, Greece
- Lipman, T. and Delucchi, M (2002). Lipman, Timothy, University of California-Berkeley; and Mark Delucchi, University of California-Davis (2002). 'Emissions of nitrous oxide and methane from conventional and alternative fuel motor vehicles.' Climate Change, 53(4), 477-516, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- MCT (2002). 'Greenhouse gas emissions inventory from mobile sources in the energy sector.' (in Portuguese: Emissões de gases de efeito estufa por fontes móveis, no setor energético). Brazilian Ministry of Science and Technology, Brasília, 2002, pp. 25-26.
- Mitra, A. P., Sharma, Subodh K., Bhattacharya, S., Garg, A., Devotta, S. and Sen, Kalyan (Eds.), (2004). 'Climate Change and India: Uncertainty reduction in GHG inventories.' Universities Press (India) Pvt Ltd, Hyderabad.
- Ntziachristos, L and Samaras, Z (2005). Personal Communication Leonidas Ntziachristos and Zisis Samaras based on draft COPERT IV. Laboratory of Applied Thermodynamics, Aristotle University Thessaloniki, PO Box 458, GR 54124, Thessaloniki, GREECE,
- Peckham, J. (2003). 'Europe's 'AdBlue' urea-SCR project starts to recruit major refiners - selective catalytic reduction'. Diesel Fuel News, July 7, 2003.
- TNO (2002). 'N₂O formation in vehicles catalysts.' Report # 02.OR.VM.017.1/NG. Nederlandse Organisatie voor toegepastnatuurwetenschappelijk onderzoek (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research), Delft, Netherlands.
- TNO (2003). 'Evaluation of the environmental impact of modern passenger cars on petrol, diesel and automotive LPG, and CNG.'
- Report. 03.OR.VM.055.1/PHE. Nederlandse Organisatie voor toegepastnatuurwetenschappelijk onderzoek (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research) December 24 2003.
- UNFCCC (2004). 'Estimation of emissions from road transport.' United Nations Framework Convention on Climate Change, FCCC/SBSTA/2004/INF.3, June 2004

- USEPA (1997). 'Conversion factors for hydrocarbon emission components.' prepared by Christian E Lindhjem, USEPA Office of Mobile Sources, Report Number NR-002, November 24.
- USEPA (2004a). 'Update of carbon oxidation fraction for GHG calculations.' prepared by ICF Consulting for US Environmental Protection Agency, Washington DC, USA.
- USEPA (2004b). 'Update of methane and nitrous oxide emission factors for on-highway vehicles.' Report Number EPA420-P-04-016, US Environmental Protection Agency, Washington DC, USA .November 2004
- USEPA (2004c). 'Inventory of greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2002'. (April 2004) USEPA #430-R-04-003. Table 3-19 , US Environmental Protection Agency, Washington DC, USA.
- USEPA (2005a). U.S. Environmental Protection Agency, 'Motor Vehicle Emission Simulator (MOVES).' See website: <http://www.epa.gov/otaq/ngm.htm>.

USEPA (2005b). U.S. Environmental Protection Agency: 'MOBILE Model (on-road vehicles).'

See website: <http://www.epa.gov/otaq/mobile.htm>.

Wenzel, T., Singer, B., Slott, R., (2000). 'Some issues in the statistical analysis of vehicle emissions'. Journal of Transportation and Statistics. pages 1-14, Volume 3, Number 2, September 2000, ISSN 1094-8848

TRANSPORTE TODO TERRENO

EEA (2005). EMEP/CORINAIR. Emission Inventory Guidebook – 2005, European Environment Agency, Technical report No 30. Copenhagen, Denmark, (December 2005). Available from web site:

<http://reports.eea.eu.int/EMEP-CORINAIR4/en>

Ntziachristos, L., Samaras, Z., Eggleston, S., Gorißen, N., Hassel, D., Hickman, A.J., Joumard, R., Rijkeboer, R., White, L., and Zierock, K. H. (2000). 'COPERT III computer programme to calculate emissions from road transport methodology and emission factors.' (Version 2.1) European Environment Agency, Technical report No 49. Copenhagen, Denmark, (November 2000). Software available from web site:

<http://vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm>

USEPA (2005a). NONROAD 2005 Model, For software, data and information, see website:

<http://www.epa.gov/otaq/nonrdmdl.htm>.

USEPA (2005b). User's Guide for the Final NONROAD2005 Model. Environment Protection Agency, Report EPA420-R-05-0, 13 December 2005, Washington, DC, USA. (December 2005)

Walsh, M. (2003). 'Vehicle emissions trends and forecasts: The lessons of the past 50 years, blue sky in the 21st century conference, Seoul, Korea.' May 2003, see the website:

http://www.walshcarlines.com/pdf/vehicle_trends_lesson.cf9.pdf

FERROCARRILES

Dunn, R. (2001). 'Diesel fuel quality and locomotive emissions in Canada'. Transport Canada Publication Number Tp 13783e (Table 8).

EEA (2005). EMEP/CORINAIR. 'Emission Inventory Guidebook – 2005 European Environment Agency.' Technical report No 30. Copenhagen, Denmark, (December 2005). Available from web site: <http://reports.eea.eu.int/EMEP-CORINAIR4/en>

GSTU (1994). 32.001-94. 'Emissions of pollution gases with exhaust gases from diesel locomotive.' Rates and definition methods (GSTU, 32.001-94) – in Russian (ГСТУ 32.001-94. Выбросы загрязняющих веществ с отработавшими газами тепловозных дизелей. Нормы и методы определения).

Hahn, J. (1989). Eisenbahntechnische Rundschau, № 6, S. 377 - 384.

ISO 8178-4 (1996). 'Reciprocating internal combustion engines – Exhaust emission measurement – Part 4: Test cycles for different engine applications.'

Jorgensen, M.W. and Sorenson, S.C (1997). 'Estimating emission from railway traffic.' DTU report, N°ET-EO-97-03, Dept of Energy Eng.' Lyngby, Denmark, 135 p.

VTT (2003). RAILI (2003). 'Calculation system for Finnish railway traffic emissions VTT building and transport, Finland.' For information see web site <http://lipasto.vtt.fi/lipastoe/railie/>

- TRANS/SC.2/2002/14/Add.1 13 AUGUST (2002). Economic Commission for Europe. inland Transport Committee. Working Party on rail transport. – Productivity in rail transport. Transmitted by the International Union of Railways (UIC).
- UNECE (2002). ‘Productivity in rail transport UN Economic Commission For Europe, Inland Transport Committee Working Party on Rail Transport.’ (Fifty-sixth session, 16-18 October 2002, agenda item 15) Transmitted by the International Union of Railways (UIC) TRANS/SC.2/2002/14/Add.1
- USEPA (1998) <http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-AIR/1998/October/Day-23/a24836.htm>
- USEPA (2005a). NONROAD 2005 Model, For software, data and information. see website: <http://www.epa.gov/otaq/nonrdmdl.htm>.
- USEPA (2005b). User’s Guide for the Final NONROAD2005 Model. Environment Protection Agency, Report EPA420-R-05-0, 13 December 2005, Washington DC, USA.

NAVEGACIÓN MARÍTIMA Y FLUVIAL

- Baggott, S.L., Brown, L., Cardenas, L., Downes, M.K., Garnett, E., Hobson, M., Jackson, J., Milne, R., Mobbs, D.C., Passant, N., Thistlethwaite, G., Thomson, A. and Watterson, J.D. (2004). ‘UK Greenhouse gas inventory 1990 to 2002: Annual report for submission under the Framework Convention on Climate Change.’ United Kingdom Department for Environment, Food and Rural Affairs.
- EC (2002). ‘Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community.’ Final Report Entec UK Limited (July 2002), page 12. Available from EU web site
http://europa.eu.int/comm/environment/air/pdf/chapter2_ship_emissions.pdf
- EEA (2005). EMEP/CORINAIR. Emission Inventory Guidebook – 2005 European Environment Agency, Technical report No 30. Copenhagen, Denmark, (December 2005). Available from web site See: <http://reports.eea.eu.int/EMEP/CORINAIR4/en>
- Gunner, T., (2004). E-mail Correspondence containing estimates of total fuel consumption of the world fleet of ships of 500 gross tons and over, as found in the Fairplay Database of Ships, November 2004. See <http://www.fairplay.co.uk>
- Lloyd’s Register (1995). ‘Marine exhaust emissions research programme.’ Lloyd’s Register House, Croydon, England.
- Trozzi, C., Vaccaro, R., (1997): ‘Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships’. MEET Deliverable No. 19. European Commission DG VII, June 1997. Techne (1997).
- U.S. EPA, (2004). ‘Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2002.’ United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.

AVIACIÓN CIVIL

- Baughcum, S.L., Tritz, T.G., Henderson, S.C. and Pickett, D.C. (1996). ‘Scheduled civil aircraft emission inventories for 1992: database development and analysis.’ NASA/CR-4700, National Aeronautics and Space Administration, NASA Center for AeroSpace Information, 7121 Standard Drive, Hanover, USA.
- Daggett, D.L., Sutkus, D.J., Dubois, D.P. and. Baughcum, S.L. (1999). ‘An evaluation of aircraft emissions inventory methodology by comparisons with reported airline data.’ NASA/CR-1999-209480, National Aeronautics and Space Administration, NASA Center for AeroSpace Information, 7121 Standard Drive, Hanover, USA, September 1999.
- EEA (2002).EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook, 3rd edition (October 2002 Update) EEA Technical Report No 30, Copenhagen, Denmark, 2002.
- Eyers, C.J., Norman, P., Plohr, M., Michot, S., Atkinson, K., and Christou, R.A., (2004). ‘AERO2k Global aviation emissions inventories for 2002 and 2025.’ QINEYIQ/04/01113 UK, December 2004.
- FAA (2004a). ‘Aviation emissions: a primer.’ Federal Aviation Administration, USA, 2004.
- FAA (2004b) ‘Emissions and dispersion modelling system’. (EDMS) User’s Manual FAA-AEE-04-02 (Rev. 1 – 10/28/04) Federal Aviation Administration Office of Environment and Energy, Washington, DC September 2004. Additional information is available from the FAA web site: www.faa.gov.

- Kim, B., Fleming, G., Balasubramanian, S., Malwitz, A., Lee, J., Ruggiero, J., Waitz, I., Klima, K., Stouffer, V., Long, D., Kostiuk, P., Locke, M., Holsclaw, C., Morales, A., McQueen, E., Gillett, W., (2005a). 'SAGE: The system for assessing aviation's global emissions'. FAA-EE-2005-01, (September 2005).
- Kim, B., Fleming, G., Balasubramanian, S., Malwitz, A., Lee, J., Waitz, I., Klima, K., Locke, M., Holsclaw, C., Morales, A., McQueen, E., Gillette, W., (2005b), 'SAGE: Global aviation emissions inventories for 2000 through 2004'. FAA-EE-2005-02 (September 2005).
- Malwitz, A., Kim, B., Fleming, G., Lee, J., Balasubramanian, S., Waitz, I., Klima, K., Locke, M., Holsclaw, C., Morales, A., McQueen, E., Gillette, W., (2005), 'SAGE: Validation assessment, model assumptions and uncertainties FAA-EE-2005-03, (September 2005)'.
- Gardner, R. M., Adams, J. K., Cook, T., Larson, L. G., Falk, R., Fleuit, S. E., Förtsch, W., Lecht, M., Lee, D. S., Leech, M. V., Lister, D. H. Massé, B., Morris, K., Newton, P. J., Owen, A., Parker, E., Schmitt, A., ten Have, H., Vandenberghe, C. (1998). 'ANCAT/EC2 aircraft emissions inventories for 1991/1992 and 2015'. Final Report., Report by the ECAC/ANCAT and EC working group. EUR No: 18179, ISBN No: 92-828-2914-6.
- ICAO (1993). 'International Standards and Recommended Practices Environmental Protection - Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation.' - Volume II Aircraft Engine Emissions, 2nd edition (1993) International Civil Aviation Organisation, Montreal.
- ICAO (2004a). 'Engine exhaust emissions data bank.' Issue 13 (Doc 9646), ICAO, Montreal, Canada. 1995. Subsequent updates are available from the ICAO web site www.icao.int
- ICAO (2004b). 'Statistics data series collection - Montreal, Canada'. For details and access see ICAO web site at <http://www.icao.int/icao/en/atb/sea/DataDescription.pdf>.
- International Register of Civil Aircraft, (2004). For information and access see <http://www.aviation-register.com/english/>.
- IPCC (1999). 'Aviation and the global atmosphere.' Eds: Penner, J.E., Lister, D.H., Griggs, D.J., Dokken, D.J., MsFarland, M., Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press 1999.
- Lister, D.H., Norman, P.D. (2003). EC-NEPAir: Work Package 1 'Aircraft engine emissions certification – a review of the development of ICAO Annex 16.' Volume II, QinetiQ/FST/CR030440, UK (September 2003)
- OAG (2006). OAG Flight Guide – 'Worldwide airline flights schedules'. See web site www.oag.com
- Olivier, J.G.J. (1991). 'Inventory of aircraft emissions: a review of recent literature'. RIVM Rapport 736301008, Bilthoven, The Netherlands, 1991.
- Olivier, J.G.J. (1995). 'Scenarios for global emissions from air traffic'. Report No. 773 002 003, RIVM, Bilthoven, The Netherlands, 1995
- Penman, J., Kruger, D., Galbally, I., Hiraishi, T., Nyenzi, B., Emmanuel, S., Buendia, L., Hoppaus, R., Martinsen, T., Meijer, J., Miwa, K. & Tanabe, K. (2000). 'Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. Hayama: Intergovernmental Panel on Climate Change.' (IPCC). ISBN 4-88788-000-6.
- Sutkus, D.J., Baughcum, S.L., DuBois, D.P.,(2001) 'Scheduled civil aircraft emission inventories for 1999: database development and Analysis.' NASA/CR—2001-211216, National Aeronautics and Space Administration, Glenn Research Center, USA, October 2001.
- Sutkus, D.J., Baughcum, S.L., DuBois, D.P., (2003). 'Commercial aircraft emission scenario for 2020: Database Development and Analysis.' NASA/CR—2003-212331, National Aeronautics and Space Administration, Glenn Research Center, USA May 2003
- US Department of Transportation, Bureau of Transportation Statistics, National Transportation Statistics (2002). (BTS 02-08), Table 4-20: Energy Intensity of Passenger Modes (Btu per passenger-mile), page 281, http://www.bts.gov/publications/national_transportation_statistics/2002/pdf/entire.pdf.
- USEPA (2005). 'Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2003 U.S'. Environmental Protection Agency, Washington, U.S.A.
- Wiesen, P., Kleffmann, J., Kortenbach, R. and Becker, K.H (1994). 'Nitrous oxide and methane emissions from aero engines.' *Geophys. Res. Lett.* 21:18 2027-2030.