

4

AGRICULTURA

COPRESIDENTES, EDITORES Y EXPERTOS

Copresidentes de la Reunión de expertos sobre emisiones procedentes de la agricultura

Arvin Mosier (EE.UU.) y Carolien Kroeze (Países Bajos)

EDITORES REVISORES

Taka Hiraishi (Japón) y Wang Minxing (China)

Grupo conjunto de expertos: Caracterización de la población de ganado y emisiones de CH₄ procedentes de la fermentación entérica en el ganado doméstico

COPRESIDENTES

Michael Gibbs (EE.UU.) y Luis Ruiz-Suárez (México)

AUTORES DE LOS DOCUMENTOS DE ANTECEDENTES

Michael Gibbs (EE.UU.), Don Johnson (EE.UU.), Keith Lassey (Nueva Zelandia), M. Ulyatt (Nueva Zelandia), Paul Jun (EE.UU.), Kathryn Gaffney (EE.UU.) y David Conneely (EE.UU.)

COLABORADORES

David Beever (Reino Unido), Guillermo Berra (Argentina), Budg Bujidmaa (Mongolia), Ian Galbally (Australia), Hongmin Dong (China), Robert Hoppaus (IPCC/OCDE), Jean Koch (Israel), Cecilia Ramos-Mane (Uruguay), Michael Strogies (Alemania) y Pravee Vijchulata (Tailandia)

Grupo de expertos: Emisiones de CH₄ procedentes del manejo del estiércol

COPRESIDENTES

Grietje Zeeman (Países Bajos) y Bart Mupeta (Zimbabwe)

AUTORES DE LOS DOCUMENTOS DE ANTECEDENTES

Kathryn Gaffney (EE.UU.), Sybren Gerbens (Países Bajos), Michael Gibbs (EE.UU.), Paul Jun (EE.UU.) y Grietje Zeeman (Países Bajos)

COLABORADORES

Sybren Gerbens (Países Bajos), Lowry Harper (EE.UU.), Paul Jun (EE.UU.), Erik Lyck (Dinamarca), Thomas Martinsen (IPCC/OCDE) y Kenneth Olsen (Canadá)

Grupo de expertos: Emisiones de N₂O procedentes de los sistemas de manejo del estiércol

COPRESIDENTES

Oene Oenema (Países Bajos) y Lambert Gnapelet (República Centroafricana)

AUTORES DE LOS DOCUMENTOS DE ANTECEDENTES

Oene Oenema (Países Bajos) y Otto Heinemeyer (Alemania)

COLABORADORES

John van Aardenne (Países Bajos), Barbara Amon (Austria), Andre van Amstel (Países Bajos), Karin Groenestein (Países Bajos) y Otto Heinemeyer (Alemania)

Grupo conjunto de expertos: Emisiones de CH₄ y N₂O procedentes de la quema de sabanas y de residuos agrícolas**COPRESIDENTES**

Wei Min Hao (EE.UU.) y Joseph Kwasi Adu (Ghana)

AUTOR DEL DOCUMENTO DE ANTECEDENTES

Wei Min Hao (EE.UU.)

COLABORADORES

Kay Abel (Australia), Jean Brennan (EE.UU.) y Yahaiya Mohamed (Comoras)

Grupo de expertos: Emisiones directas de N₂O procedentes de los suelos agrícolas**COPRESIDENTES**

Keith Smith (Reino Unido) y Bernard Siska (Eslovaquia)

AUTORES DE LOS DOCUMENTOS DE ANTECEDENTES

Lex Bouwman (Países Bajos), Barbara Braatz (EE.UU.) y Keith Smith (Reino Unido)

COLABORADORES

Sue Armstrong-Brown (Reino Unido), Lex Bouwman (Países Bajos), Barbara Braatz (EE.UU.), Martti Esala (Finlandia), Jean Claude Germon (Francia), Niels Kilde (Dinamarca), Katarina Mareckova (IPCC/OCDE), Paul Ruysenaars (Países Bajos), Haruo Tsuruta (Japón) y Tom Wirth (EE.UU.)

Grupo de expertos: Emisiones indirectas de N₂O procedentes del nitrógeno utilizado en la agricultura**COPRESIDENTES**

Cindy Nevison (EE.UU.) y Michael Gytarsky (Federación de Rusia)

AUTOR DEL DOCUMENTO DE ANTECEDENTES

Cindy Nevison (EE.UU.)

COLABORADORES

Jochen Harnish (Alemania), Steve Jarvis (Reino Unido), Carolien Kroeze (Países Bajos), Riitta Pipatti (Finlandia), Erik Rasmussen (Dinamarca), Kristin Rypdal (Noruega), Martin Schmid (Suiza), Jeff Smith (EE.UU.) y Kiyoto Tanabe (Japón)

Grupo de expertos: Emisiones de CH₄ procedentes de la producción de arroz**COPRESIDENTES**

Ron Sass (EE.UU.) y Kazuyuki Yagi (Japón)

AUTOR DEL DOCUMENTO DE ANTECEDENTES

Ron Sass (EE.UU.)

COLABORADORES

Hugo Denier van der Gon (Países Bajos), Bill Irving (EE.UU.), Leon Janssen (Países Bajos) y Rhoda Lantin (Filipinas)

ÍNDICE

4 AGRICULTURA

4.1	CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN DE GANADO	4.8
4.1.1	Aspectos metodológicos.....	4.8
4.1.2	Presentación de informes y documentación	4.24
4.1.3	Garantía de la calidad/control de calidad de los inventarios (GC/CC).....	4.24
4.2	EMISIONES DE CH ₄ PROCEDENTES DE LA FERMENTACIÓN ENTÉRICA EN EL GANADO DOMÉSTICO	4.26
4.2.1	Aspectos metodológicos.....	4.26
4.2.2	Presentación de informes y documentación	4.31
4.2.3	Garantía de la calidad/control de calidad de los inventarios (GC/CC).....	4.32
4.3	EMISIONES DE CH ₄ PROCEDENTES DEL MANEJO DEL ESTIÉRCOL.....	4.33
4.3.1	Aspectos metodológicos.....	4.33
4.3.2	Presentación de informes y documentación	4.42
4.3.3	Garantía de la calidad/control de calidad de los inventarios (GC/CC).....	4.42
4.4	EMISIONES DE N ₂ O PROCEDENTES DEL MANEJO DEL ESTIÉRCOL	4.44
4.4.1	Aspectos metodológicos.....	4.44
4.4.2	Presentación de informes y documentación	4.53
4.4.3	Garantía de la calidad/control de calidad de los inventarios (GC/CC).....	4.53
4.5	EMISIONES DE CH ₄ Y N ₂ O PROCEDENTES DE LA QUEMA DE SABANAS	4.54
4.6	EMISIONES DE CH ₄ Y N ₂ O PROCEDENTES DE LA QUEMA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS ..	4.56
4.7	EMISIONES DIRECTAS DE N ₂ O PROCEDENTES DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS	4.58
4.7.1	Aspectos metodológicos.....	4.58
4.7.2	Presentación de informes y documentación	4.72
4.7.3	Garantía de la calidad/control de calidad de los inventarios (GC/CC).....	4.73
4.8	EMISIONES INDIRECTAS DE N ₂ O PROCEDENTES DEL NITRÓGENO UTILIZADO EN LA AGRICULTURA	4.74
4.8.1	Aspectos metodológicos.....	4.74
4.8.2	Presentación de informes y documentación	4.84
4.8.3	Garantía de la calidad/control de calidad de los inventarios (GC/CC).....	4.85
4.9	EMISIONES DE CH ₄ PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ARROZ	4.87
4.9.1	Aspectos metodológicos.....	4.87
4.9.2	Presentación de informes y documentación	4.93
4.9.3	Garantía de la calidad/control de calidad de los inventarios (GC/CC).....	4.94
APÉNDICE 4A.1	EMISIONES DE CH ₄ Y N ₂ O PROCEDENTES DE LA QUEMA DE SABANAS: BASES PARA UN FUTURO DESARROLLO METODOLÓGICO	4.95
4A.1.1	Aspectos metodológicos.....	4.95
4A.1.2	Presentación de informes y documentación	4.99

4A.1.3	Garantía de la calidad/control de calidad de los inventarios (GC/CC).....	4.99
APÉNDICE 4A.2	EMISIONES DE CH ₄ Y N ₂ O PROCEDENTES DE LA QUEMA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS: BASES PARA UN FUTURO DESARROLLO METODOLÓGICO	4.100
4A.2.1	Aspectos metodológicos.....	4.100
4A.2.2	Presentación de informes y documentación	4.101
4A.2.3	Garantía de la calidad/control de calidad de los inventarios (GC/CC).....	4.101
APÉNDICE 4A.3	EMISIONES DE CH ₄ PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ARROZ: MEDICIONES, PRESENTACIÓN DE INFORMES Y PROCEDIMIENTOS DE GC/CC DE LOS DATOS OBTENIDOS EN EL TERRENO.....	4.102
REFERENCIAS	4.104

Figuras

Figura 4.1	Árbol de decisiones para la caracterización de la población de ganado	4.10
Figura 4.2	Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH ₄ procedentes de la fermentación entérica	4.27
Figura 4.3	Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH ₄ procedentes del manejo del estiércol	4.36
Figura 4.4	Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de N ₂ O procedentes del manejo del estiércol	4.46
Figura 4.5	Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH ₄ y N ₂ O procedentes de la quema de sabanas	4.55
Figura 4.6	Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH ₄ y N ₂ O procedentes de la quema de residuos agrícolas	4.57
Figura 4.7	Árbol de decisiones aplicable a las emisiones directas de N ₂ O procedentes de los suelos agrícolas	4.61
Figura 4.8	Árbol de decisiones aplicable a las emisiones indirectas de N ₂ O procedentes del nitrógeno utilizado en la agricultura	4.77
Figura 4.9	Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH ₄ procedentes de la producción de arroz	4.90

Cuadros

Cuadro 4.1	Categorías representativas de ganado vacuno y búfalos.....	4.12
Cuadro 4.2	Categorías representativas de ganado ovino.....	4.13
Cuadro 4.3	Resumen de las ecuaciones utilizadas para estimar la absorción de energía bruta en el ganado vacuno, los búfalos y el ganado ovino.....	4.16
Cuadro 4.4	Coefficientes para el cálculo de EN_m	4.17
Cuadro 4.5	Coefficientes de actividad correspondientes a las condiciones de alimentación del animal	4.17
Cuadro 4.6	Valores constantes para el cálculo de EN_c en el ganado ovino	4.18
Cuadro 4.7	Valores constantes para el cálculo de EN_p en la ecuación 4.8.....	4.21
Cuadro 4.8	Tasas de conversión del CH_4 para el ganado vacuno y los búfalos (Y_m)	4.29
Cuadro 4.9	Tasas de conversión del CH_4 para el ganado ovino (Y_m)	4.30
Cuadro 4.10	Valores de FCM para los sistemas de manejo del estiércol definidos en las <i>Directrices del IPCC</i>	4.40
Cuadro 4.11	Valores de FCM para sistemas de manejo del estiércol no especificados en las <i>Directrices del IPCC</i>	4.41
Cuadro 4.12	Factores de emisión por defecto del N_2O procedente del manejo del estiércol.....	4.48
Cuadro 4.13	Factores de emisión por defecto del N_2O procedente de sistemas de manejo del estiércol no especificados en las <i>Directrices del IPCC</i> (Dictamen del Grupo de expertos)	4.49
Cuadro 4.14	Factores de ajuste por defecto para el cuadro 4-20 de las <i>Directrices del IPCC</i> , (Manual de Referencia) para la estimación de las tasas de excreción de N en animales jóvenes	4.50
Cuadro 4.15	Valores por defecto de la fracción de nitrógeno presente en los alimentos ingeridos por los animales y retenida por las distintas especies/categorías de animales	4.51
Cuadro 4.16	Estadísticas seleccionadas sobre residuos de cosechas	4.64
Cuadro 4.17	Actualización de los factores de emisión por defecto para la estimación de las emisiones directas de N_2O procedentes de los suelos agrícolas	4.67
Cuadro 4.18	Factores de emisión por defecto para la estimación de las emisiones indirectas de N_2O procedentes del N usado en la agricultura	4.81
Cuadro 4.19	Datos necesarios para estimar las emisiones indirectas de N_2O	4.83
Cuadro 4.20	Factores de escala por defecto del IPCC para las emisiones de CH_4 procedentes de los ecosistemas arroceros y los regímenes de manejo del agua en campos anegados continuamente.....	4.91
Cuadro 4.21	Cuadro de respuesta a distintas dosis de fertilizantes orgánicos no fermentados.....	4.92
Cuadro 4.22	Factor de emisión por defecto, factores de escala por defecto y rangos de las emisiones de CH_4 procedentes de arrozales.....	4.93
Cuadro 4.A1	Cantidad de biomasa aérea quemada.....	4.96
Cuadro 4.A2	Eficiencia de la combustión y factor de emisión de CH_4 correspondiente	4.97
Cuadro 4.A3	Factores de emisión de N_2O en distintos ecosistemas de sabanas	4.98

4 AGRICULTURA

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN DE GANADO

4.1.1 Aspectos metodológicos

Todos los métodos de estimación de las emisiones de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) procedentes de categorías de fuentes relacionadas con el ganado requieren información tal como la definición de subcategorías de ganado, poblaciones anuales y estimaciones de la ingestión de alimentos. Para asegurar que esas definiciones y datos se apliquen de manera uniforme a todas las categorías de fuentes, se debe hacer una “caracterización” única de cada especie. La caracterización coordinada de la población de ganado garantiza la coherencia entre las siguientes categorías de fuentes:

- Sección 4.2 - Emisiones de CH₄ procedentes de la fermentación entérica en el ganado doméstico;
- Sección 4.3 - Emisiones de CH₄ procedentes del manejo del estiércol;
- Sección 4.4 - Emisiones de N₂O procedentes del manejo del estiércol;
- Sección 4.7 - Emisiones directas de N₂O procedentes de los suelos agrícolas;
- Sección 4.8 - Emisiones indirectas de N₂O procedentes del nitrógeno utilizado en la agricultura.

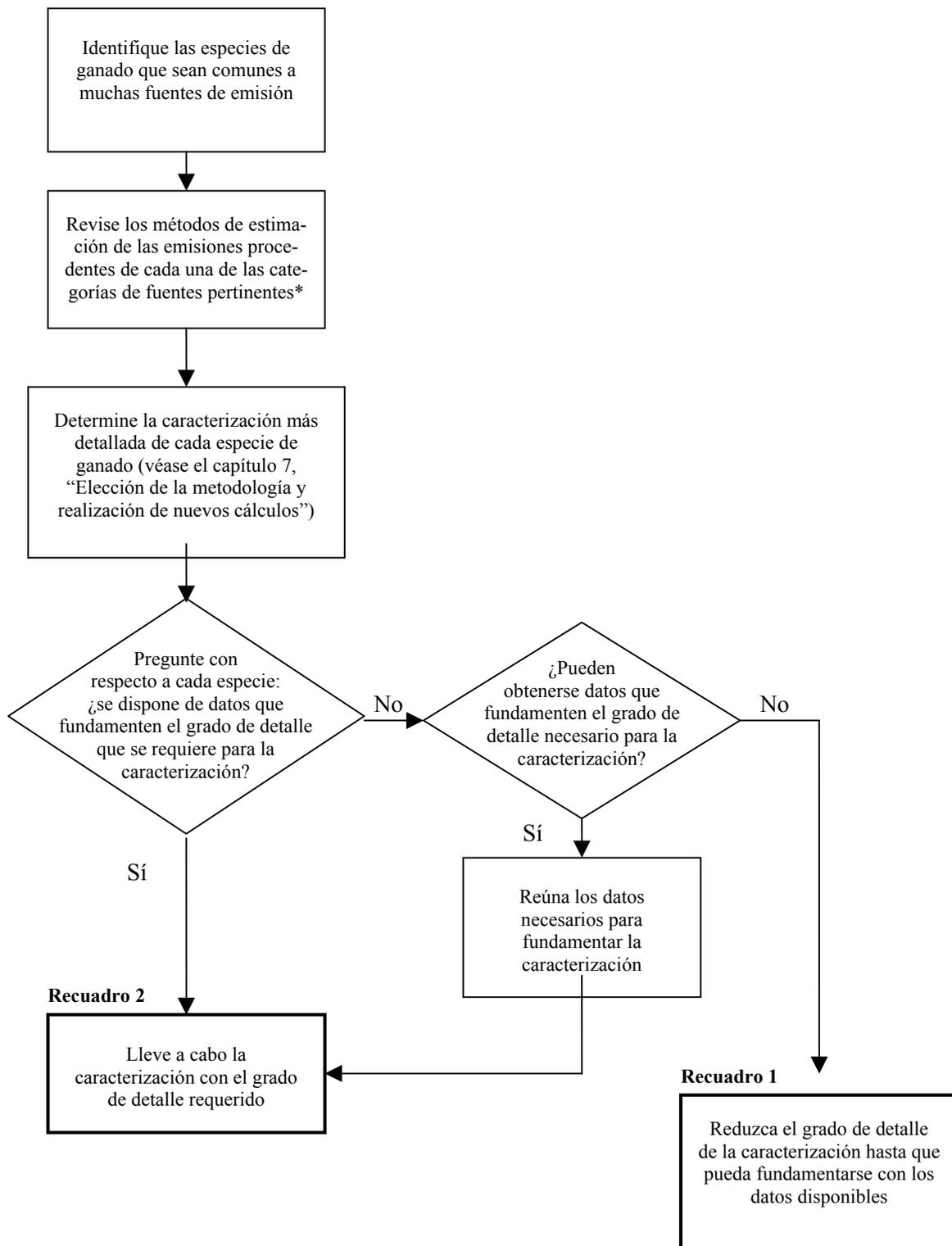
4.1.1.1 DETERMINACIÓN DEL GRADO DE DETALLE DE LA CARACTERIZACIÓN

Es una *buena práctica* determinar el método apropiado para estimar las emisiones procedentes de cada categoría de fuentes, y luego basar la caracterización en el mayor grado de detalle que resulte necesario para cada especie de ganado. La caracterización que en definitiva se haga del ganado estará sujeta a múltiples reiteraciones a medida que se evalúen las necesidades de cada categoría de fuentes durante el proceso de estimación de las emisiones (véase la figura 4.1, “Árbol de decisiones para la caracterización de la población de ganado”). Los pasos que deberán seguirse son los siguientes:

- **Identificar las especies comprendidas en varias categorías de fuentes de emisión.** En primer lugar se deberán enumerar las especies de ganado que generen emisiones comprendidas en varias categorías de fuentes. Esas especies son generalmente el ganado vacuno, los búfalos, las ovejas, las cabras, los cerdos, los caballos, los camellos, las mulas y asnos y las aves de corral.
- **Revisar el método de estimación de las emisiones aplicable a cada una de las categorías de fuentes pertinentes.** Para las categorías de fuentes de fermentación entérica, las emisiones de CH₄ y N₂O procedentes del manejo del estiércol y las emisiones directas e indirectas de N₂O, se deberá identificar el método de estimación de las emisiones aplicable a la especie de que se trate dentro de esa categoría de fuentes. Por ejemplo, se deberán examinar las emisiones de fermentación entérica procedentes del ganado vacuno, los búfalos y las ovejas para determinar si dichas emisiones son suficientemente importantes como para justificar la aplicación del método de nivel 2 a la estimación de las emisiones procedentes de cada una de esas especies. De manera similar, se deberán examinar las emisiones de metano procedentes del manejo del estiércol del ganado vacuno, los búfalos, los cerdos y las aves de corral, para determinar si corresponde aplicar el método de nivel 2 a los efectos de estimar esas emisiones. Para evaluar estos aspectos se pueden utilizar las estimaciones de los inventarios ya existentes. Si no se hubiera elaborado ningún inventario hasta ese momento, se deberán estimar las emisiones por el método de nivel 1 como forma de obtener unas estimaciones iniciales para realizar esta evaluación. En el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”, se brinda orientación sobre los aspectos generales de los distintos métodos que pueden elegirse.
- **Determinar la caracterización más detallada que sea necesaria para cada especie de ganado.** Sobre la base de la evaluación de cada una de las especies comprendidas en cada categoría de fuentes, se deberá determinar la caracterización más detallada que será necesario realizar para respaldar las estimaciones de las

emisiones procedentes de cada especie. Por lo general, cuando las estimaciones de las emisiones procedentes de la fermentación entérica y el manejo del estiércol se hacen por métodos de nivel 1, se puede utilizar la caracterización “básica” para todas las categorías de fuentes pertinentes. Cuando se aplican métodos de nivel 2, ya sea con respecto a la fermentación entérica o al manejo del estiércol, se deberá utilizar una caracterización “minuciosa” para estimar las emisiones procedentes de todas las fuentes pertinentes.

Figura 4.1 Árbol de decisiones para la caracterización de la población de ganado



* Estas fuentes comprenden: el CH₄ procedente de la fermentación entérica, el CH₄ procedente del manejo del estiércol, el N₂O procedente del manejo del estiércol, las emisiones directas de N₂O procedentes de los suelos agrícolas y las emisiones indirectas de N₂O procedentes del nitrógeno utilizado en la agricultura.

CARACTERIZACIÓN BÁSICA

A los efectos de realizar una caracterización “básica” del ganado, es una *buena práctica* reunir los siguientes datos para fundamentar las estimaciones de las emisiones:

Especies y categorías de ganado: Se deberá preparar una lista completa de todas las poblaciones importantes de ganado a las que se hayan asignado factores de emisión por defecto en las *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996 (Directrices del IPCC)* (es decir, vacas lecheras, otro tipo de ganado vacuno, búfalos, ovejas, cabras, camellos, caballos, mulas y asnos, cerdos y aves de corral)¹. Cuando se disponga de los datos necesarios, se podrá (y se deberá) utilizar categorías más detalladas.

Población anual: Siempre que sea posible, los organismos encargados de los inventarios deberán usar datos sobre la población extraídos de las estadísticas nacionales oficiales o de fuentes industriales. Cuando no se disponga de datos nacionales, se podrán utilizar los de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Los nacimientos o las faenas estacionales pueden determinar un aumento o una reducción en el tamaño de la población en distintas épocas del año, imponiendo la necesidad de hacer los ajustes correspondientes en las cifras de población. Es importante documentar exhaustivamente el método utilizado para estimar la población anual, sobre todo si es necesario introducir ajustes en los datos originales.

Producción lechera: Es preciso establecer el promedio anual de producción de leche de las vacas lecheras. Los datos sobre la producción de leche se utilizan para estimar el factor de emisión correspondiente a la fermentación entérica por el método de nivel 1. Es preferible contar con fuentes de datos específicas del país, pero también se pueden utilizar los datos de la FAO.

Clima: En algunos países de gran extensión, la explotación ganadera puede tener lugar en regiones con climas diferentes. En esos casos se deberá estimar el porcentaje de animales de cada categoría de ganado que se encuentran en cada una de las regiones climáticas. En el cuadro 4-1 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC* se definen tres regiones climáticas en función de su temperatura anual media: fría (<15°C), templada (15°C - 25°C) y cálida (>25°C). Los datos sobre la población de ganado se pueden desglosar por región sobre la base de mapas climáticos nacionales.

CARACTERIZACIÓN MINUCIOSA

La caracterización “minuciosa” del ganado proporciona información detallada sobre:

- definiciones de subcategorías de ganado;
- la población de ganado desglosada por subcategorías;
- la estimación de la ingestión de alimentos del animal representativo de cada subcategoría.

Es necesario definir subcategorías de la población de ganado para crear subgrupos relativamente homogéneos de animales. Al dividir la población en estas subcategorías, se podrán reflejar las variaciones propias de cada país en lo que respecta a la estructura de edades y el rendimiento de los animales dentro del total de la población de ganado.

Las estimaciones de la ingestión de alimentos realizadas sobre la base de la caracterización “minuciosa” del ganado se utilizan para estimar por el método de nivel 2 las emisiones procedentes de la fermentación entérica en el ganado vacuno, los búfalos y las ovejas. Además, estas mismas estimaciones de la ingestión de alimentos se deben usar para armonizar las tasas estimadas de excreción de estiércol y nitrógeno que se utilizan para estimar las emisiones de CH₄ y N₂O procedentes del manejo del estiércol y de las emisiones directas e indirectas de N₂O.

Definición de subcategorías de ganado: Es una *buena práctica* clasificar las poblaciones de ganado vacuno y búfalos en un mínimo de tres subcategorías principales por cada especie:

- Ganado vacuno: vacas lecheras adultas, vacas no lecheras adultas y ganado joven.
- Búfalos: búfalas lecheras adultas (únicamente), búfalos no lecheros adultos y búfalos jóvenes.

Dependiendo del grado de detalle que se utilice en la aplicación del método de estimación de las emisiones, estas categorías principales pueden a su vez clasificarse en otras subcategorías de acuerdo con las características de los

¹ En las *Directrices del IPCC* se aplica el término “ganado lechero” para hacer referencia a vacas que hayan parido por lo menos una vez y que se conserven para la producción de leche. Por razones de *buena práctica* se ha sustituido la expresión “ganado lechero” por “vacas lecheras”, a efectos de evitar posibles confusiones con otro tipo de ganado vinculado a la industria lechera (p.ej., vaquillas de reposición para lechería). El término “otro tipo de ganado” se aplica a todo aquel ganado que no esté comprendido en otras categorías ya definidas.

animales o de su alimentación. En el cuadro 4.1, “Categorías representativas de ganado vacuno y búfalos”, pueden verse las subcategorías más comunes de esas especies, si bien en algunos países se podrían crear otras subcategorías.

En el caso del ganado ovino, el rebaño nacional puede dividirse en categorías de acuerdo con el tipo de animal y la clase de manejo, como puede verse en el cuadro 4.2, “Categorías representativas de ganado ovino”. Se pueden hacer subdivisiones similares a las utilizadas para el ganado vacuno y los búfalos para desglosar aún más la población ovina y crear subcategorías con características relativamente homogéneas.

Al finalizar la estimación de las emisiones de metano procedentes del manejo del estiércol de los cerdos por el método de nivel 2, es preferible clasificar la población porcina en las siguientes subcategorías: cerdas adultas, cerdos adultos y cerdos en crecimiento. Las cerdas pueden clasificarse a su vez en cerdas con cría y en proceso de gestación, mientras que los cerdos en crecimiento pueden subdividirse en lechones (etapa de lactancia), cerdos en crecimiento (etapa posterior al destete) y cerdos en finalización (etapa final del crecimiento). Sin embargo, debe tenerse presente que esta subdivisión solo será necesaria cuando se disponga de datos detallados sobre el uso que se da al sistema de manejo del estiércol en esta especie o categoría de animales.

En países de muy extenso territorio, o en los que existen marcadas diferencias regionales, puede ser útil delimitar las regiones y luego definir categorías dentro de esas regiones. Por lo general, la subdivisiones regionales se definen en función de las diferencias que existen entre los sistemas de alimentación y la dieta.

CUADRO 4.1	
CATEGORÍAS REPRESENTATIVAS DE GANADO VACUNO Y BÚFALOS	
Categorías principales	Subcategorías
Vacas lecheras adultas o búfalas lecheras adultas	<ul style="list-style-type: none"> • Vacas o búfalas lecheras de alto rendimiento que hayan parido por lo menos una vez y se utilicen principalmente para la producción lechera; • Vacas o búfalas lecheras de bajo rendimiento que hayan parido por lo menos una vez y se utilicen principalmente para la producción lechera.
Otros animales vacunos adultos o búfalos adultos no lecheros	<p>Hembras:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vacas destinadas principalmente a la producción de carne; • Vacas utilizadas con más de un fin productivo: para producción de leche, para producción de carne, como animales de tiro. <p>Machos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toros utilizados principalmente con fines de reproducción; • Bueyes usados principalmente como animales de tiro; • Novillos destinados principalmente a la producción de carne.
Vacunos o búfalos jóvenes	<ul style="list-style-type: none"> • Terneros en la etapa anterior al destete; • Vacunos o búfalos en crecimiento; • Vacunos o búfalos alimentados principalmente con granos en corrales de engorde.

Fuente: *Directrices del IPCC*, Manual de Referencia, cuadro 4-7.

CUADRO 4.2	
CATEGORÍAS REPRESENTATIVAS DE GANADO OVINO	
Categorías principales	Subcategorías
Ovejas adultas	<ul style="list-style-type: none"> • Ovejas de cría, destinadas principalmente a la producción de carne o lana, o de ambas cosas; • Ovejas de ordeño, cuyo principal destino es la producción de leche con fines comerciales.
Otros ovinos adultos (>1 año)	<ul style="list-style-type: none"> • No se recomiendan subdivisiones adicionales
Ovinos jóvenes	<ul style="list-style-type: none"> • Machos enteros; • Machos castrados; • Hembras.
Fuente: Lassey y Ulyatt (1999).	

Población de ganado desglosada por subcategoría: Se deberá estimar la población anual media de cada subcategoría de ganado, expresada en cantidad de cabezas por año, aunque en algunos casos se podrán utilizar períodos inferiores a un año. Cualquiera sea la duración del período elegido, es importante garantizar la coherencia temporal entre los datos de actividad y el factor de emisión. Se exhorta a los organismos encargados de los inventarios a que, en la medida de lo posible, usen sus propios datos sobre la población de ganado, extraídos de las estadísticas nacionales oficiales o de fuentes industriales, aunque, si es necesario, podrán usarse los datos de la FAO. Los nacimientos y las faenas estacionales pueden determinar un aumento o una reducción en el tamaño de la población en distintas épocas del año, imponiendo la necesidad de hacer los ajustes correspondientes en las cifras de población. Es importante documentar exhaustivamente el método utilizado para estimar la población anual media, sobre todo si es necesario introducir ajustes en los datos originales.

Estimaciones de la ingestión de alimentos: Se considera que la ingestión de alimentos en un animal representativo de cada subcategoría constituye un elemento de juicio que permite fundamentar las estimaciones de las emisiones calculadas por el método de nivel 2. La ingestión de alimentos se mide generalmente en unidades de energía (p.ej., megajulios (MJ) por día) o de materia seca (p.ej., kilogramos (kg) por día). En las *Directrices del IPCC* se incluyen las ecuaciones y los datos detallados necesarios para estimar la ingestión de alimentos, a fin de facilitar la aplicación del método de nivel 2 para la estimación de las emisiones procedentes de la fermentación entérica. La *orientación sobre las buenas prácticas* que se presenta a continuación constituye una actualización de las *Directrices del IPCC* en lo referente al ganado vacuno y los búfalos, que permite aplicar las ecuaciones a una gama más amplia de especies o categorías de animales y condiciones de manejo. Se expone además una caracterización minuciosa como base para la aplicación del método de nivel 2 al ganado ovino, reconociendo que para algunos países este tipo de ganado representa una fuente importante de emisiones. En el caso de otras especies, la ingestión de alimentos puede estimarse utilizando métodos similares específicos de cada país y apropiados para cada especie. En el resto de esta sección se presentan los datos necesarios y las ecuaciones utilizadas para estimar la ingestión de alimentos en el ganado vacuno, los búfalos y el ganado ovino. En todas las estimaciones de la ingestión de alimentos, es una *buen práctica*:

- reunir datos que describan el rendimiento del animal representativo de cada categoría;
- estimar la ingestión de alimentos a partir de los datos sobre el rendimiento de los animales de cada subcategoría.

En algunos casos, las ecuaciones deberán aplicarse teniendo en cuenta las estaciones, por ejemplo, las condiciones en las que el ganado aumenta de peso en una estación del año y pierde peso en otra.

Para estimar la ingestión de alimentos correspondiente a cada subcategoría de animales se requieren los siguientes datos sobre el rendimiento:

- *Peso (W), kg:* Deberán obtenerse datos sobre el peso en pie de cada subcategoría de animales, basados en la medición del peso de animales vivos. Puesto que no es realista pretender realizar un censo completo del peso en pie, estos datos podrán obtenerse de estudios de investigación, dictámenes de expertos o bases de datos estadísticos. Se deberán comprobar estos datos del peso en pie para garantizar que sean representativos de las condiciones imperantes en el país. La comparación de los datos del peso en pie con los del peso en matadero es una forma útil de determinar si el peso en pie es un dato representativo de las condiciones del país. Sin embargo, los datos del peso en matadero no deberán utilizarse en sustitución de los del peso en pie. Cabe señalar además que la relación entre el peso en pie y el peso en matadero varía de un país a otro. En el

caso del ganado vacuno, los búfalos y los ovinos adultos, es necesario saber el peso anual medio de cada categoría de animales (p.ej., vacas adultas para carne). Con respecto a los ovinos jóvenes, se deberá conocer su peso en el momento del nacimiento, al destete, al año de edad y en el momento de la faena, siempre que la faena se realice antes del primer año de edad.

- *Aumento medio (o pérdida media) de peso por día (WG), kg/d (ganado vacuno y búfalos)*: Por lo general, los datos compilados sobre el aumento medio de peso se refieren a animales confinados en corrales de engorde y a animales jóvenes en crecimiento. Generalmente se presume que los animales adultos no registran un aumento neto o una pérdida neta de peso al cabo de todo un año. Sin embargo, puede ser conveniente reunir datos sobre el aumento y la pérdida de peso netos de los animales adultos en el caso de países con estaciones lluviosas y secas o temperaturas extremas. Los animales adultos pierden peso durante la estación seca y cuando hay temperaturas extremas, y suben de peso durante la estación lluviosa. En esas circunstancias, la ingestión de alimentos deberá estimarse en forma separada para la estación lluviosa y la estación seca, así como para la estación cálida y la estación fría.
- *Peso adulto (MW), kg (ganado vacuno y búfalos)*: El peso adulto es el peso corporal potencial que podría alcanzar un animal adulto si llegara a tener un 28% de grasa corporal (NRC 1996). El peso adulto varía según la raza del animal. El peso corporal adulto puede ser similar a los valores del “peso de referencia” o del “peso corporal final reducido” que se utiliza en distintos países. Los productores y especialistas en materia de ganado son los que generalmente pueden proporcionar estimaciones del peso adulto
- *Promedio de horas diarias de labor*: Se deberá determinar el número medio de horas por día que trabajan los animales de tiro.
- *Condiciones de alimentación*: Se deberán determinar las condiciones de alimentación que representen con mayor exactitud la subcategoría de animales de que se trate, utilizando las definiciones que se indican a continuación. Si las condiciones de alimentación no se ajustan exactamente a alguna de esas definiciones, se deberán describir en detalle. Esta información detallada puede ser necesaria para calcular las emisiones procedentes de la fermentación entérica, ya que tal vez se requiera una interpolación entre las distintas condiciones de alimentación para poder asignar el coeficiente más apropiado. En el caso del ganado vacuno y los búfalos, las condiciones de alimentación son las siguientes:
 - i) *En confinamiento o a resguardo* – los animales se encuentran confinados a un espacio reducido (p.ej., amarrados, en un corral, en un establo), y por lo tanto gastan muy poca energía para obtener su alimento;
 - ii) *En praderas* – los animales se encuentran confinados en áreas con suficiente forraje, lo que les exige un gasto modesto de energía para la obtención de su alimento;
 - iii) *Pastoreo en zonas extensas* – los animales pastorean en zonas de gran extensión o en terreno accidentado, y gastan por ende una gran cantidad de energía para obtener su alimento.

En el caso del ganado ovino, las condiciones de alimentación son:

 - i) *Ovejas a resguardo* – los animales se encuentran confinados en el último trimestre de su preñez (50 días);
 - ii) *Pastoreo en praderas llanas* – los animales recorren hasta 1.000 metros por día y gastan muy poca energía para la obtención de su alimento;
 - iii) *Pastoreo en praderas accidentadas* – los animales recorren hasta 5.000 metros por día y gastan una gran cantidad de energía para obtener su alimento;
 - iv) *Corderos en engorde a resguardo* – se alberga a los animales para su engorde.
- *Producción media de leche por día, kg/d*: Estos datos corresponden a ovejas de ordeño, a vacas y búfalas lecheras, y a otras vacas o búfalas no lecheras que estén amamantando terneros. La producción media por día deberá calcularse dividiendo la producción anual total por 365, o declararse como la producción media por día junto con los días de lactancia por año, o estimarse dividiendo la producción estacional por el número de días por estación. (Nota: si se utilizan datos relativos a la producción estacional, deberá establecerse el factor de emisión correspondiente a esa estación).
- *Contenido graso, %*: Se deberá determinar el contenido graso medio de la leche producida por todas las vacas y búfalas que estén amamantando terneros.
- *Porcentaje de hembras que paren por año*: Este dato se obtendrá solamente respecto del ganado vacuno, los búfalos y el ganado ovino adultos.

- **Digestibilidad de los alimentos (ED):** Por digestibilidad de los alimentos se entiende la proporción de energía existente en los alimentos que no se excreta en las heces. Por lo general, la digestibilidad de los alimentos se expresa en términos porcentuales (%). Los rangos habituales de la digestibilidad de los alimentos son de 50% a 60% para los subproductos de los cultivos y las tierras de pastoreo, de 60% a 75% para las praderas de buena calidad, los forrajes bien conservados y las dietas basadas en forrajes con suplemento de granos, y de 75% a 85% para las dietas basadas en granos en corrales de engorde. Los datos sobre la digestibilidad deben basarse en valores obtenidos mediante mediciones de los alimentos o forrajes de mayor consumo, teniendo en cuenta las variaciones estacionales. Si bien se considera que un censo completo de la digestibilidad no sería realista, por lo menos deberían consultarse los estudios de investigación sobre el tema. Al establecer los datos de digestibilidad también deberán registrarse, cuando se disponga de ellos, los datos sobre otras características conexas de los alimentos, como los valores de medición de la Fibra Detergente Neutra (FDN), la Fibra Detergente Ácida (FDA) y la proteína cruda. La FDN y la FDA son características de los alimentos que se miden en el laboratorio y se utilizan para indicar el valor nutritivo de los alimentos para animales rumiantes. La concentración de proteína cruda en los alimentos puede usarse para estimar la excreción de nitrógeno.
- **Producción anual media de lana por oveja (Kg/año):** Se deberá determinar la cantidad, expresada en kilogramos, de lana producida (después de secarla pero antes de lavarla), para estimar la cantidad de energía atribuida a dicha producción.

Lo primero que debe hacerse a efectos de reunir estos datos es analizar las estadísticas nacionales, las fuentes de la industria, los estudios de investigación y las estadísticas de la FAO. Cuando no se disponga de datos publicados por estas fuentes, se podrá entrevistar a especialistas industriales y académicos de importancia clave. En la sección 6.2.5 del capítulo 6, “La cuantificación de las incertidumbres en la práctica”, se describe la forma de obtener el dictamen de expertos sobre los rangos de incertidumbre. Cuando no se disponga de datos y estadísticas ya publicados, se podrán utilizar protocolos similares para obtener la información necesaria para la caracterización del ganado.

Los datos sobre el rendimiento de los animales se usan para estimar la ingestión de energía bruta (EB), que es la cantidad de energía (MJ/día) que necesita un animal para actividades como el crecimiento, la lactancia y la preñez. El uso de métodos específicos de un país constituye una *buena práctica* para aquellos organismos encargados de los inventarios que dispongan de métodos nacionales específicos bien documentados y reconocidos para estimar la ingestión de EB sobre la base de los datos de rendimiento animal. Todas las funciones metabólicas enumeradas en el cuadro 4.3, “Resumen de las ecuaciones utilizadas para estimar la absorción de energía bruta en el ganado vacuno, los búfalos y el ganado ovino”, deberán incluirse en la estimación de la absorción de EB. Si no se dispone de métodos nacionales específicos, la EB deberá calcularse mediante las ecuaciones indicadas en el cuadro 4.3. Como puede verse en el cuadro, se utilizan ecuaciones separadas para estimar las necesidades de energía neta de los ovinos, en comparación con el ganado vacuno y los búfalos. Las ecuaciones utilizadas para calcular la EB son:

Mantenimiento: EN_m es la energía neta necesaria para el mantenimiento, es decir, la cantidad de energía que requiere el animal para mantener su equilibrio cuando no se produce aumento ni pérdida de tejido corporal (Jurgen, 1988).

ECUACIÓN 4.1

ENERGÍA NETA PARA MANTENIMIENTO

$$EN_m = Cf_i \cdot (\text{Peso})^{0,75}$$

donde:

EN_m = energía neta necesaria para el mantenimiento del animal, en MJ/día

Cf_i = coeficiente que varía para cada categoría de animales, como se describe en el cuadro 4.4 (“Coeficientes para el cálculo de la EN_m ”)

Peso = peso en pie del animal, en kg

Actividad: EN_a es la energía neta necesaria para la actividad, es decir, la energía que requiere el animal para obtener su alimento. Anteriormente, en las *Directrices del IPCC*, la energía neta para la actividad se expresaba como EN_{feed} (“feed” significa alimento). Esa expresión se sustituyó por EN_a , puesto que la energía neta se refiere a la cantidad de energía que gasta el animal para obtener su alimento, y se basa en sus condiciones de alimentación más que en las características de los propios alimentos. Como se describe en el cuadro 4.3, la ecuación para estimar la EN_a en el ganado vacuno y los búfalos es diferente a la que se aplica al ganado ovino.

ECUACIÓN 4.2a**ENERGÍA NETA PARA ACTIVIDAD (GANADO VACUNO Y BÚFALOS)**

$$EN_a = C_a \cdot EN_m$$

donde:

EN_a = energía neta necesaria para la actividad del animal, en MJ/día

C_a = coeficiente correspondiente a las condiciones de alimentación del animal (cuadro 4.5, “Coeficientes de actividad”)

EN_m = energía neta que requiere el animal para su mantenimiento (ecuación 4.1), en MJ/día

ECUACIÓN 4.2b**ENERGÍA NETA PARA ACTIVIDAD (GANADO OVINO)**

$$EN_a = C_a \cdot (\text{peso})$$

donde:

EN_a = energía neta necesaria para la actividad del animal, en MJ/día

C_a = coeficiente correspondiente a las condiciones de alimentación del animal (cuadro 4.5)

peso = peso en pie del animal, en kg

En las ecuaciones 4.2a y 4.2b, el coeficiente C_a corresponde a las condiciones de alimentación representativas de una categoría de animales, como se describió anteriormente. Los valores de C_a se indican en el cuadro 4.5. Si algunas condiciones de alimentación no se ajustan exactamente a alguna de las definiciones suministradas o se registran únicamente durante parte del año, la EN_a deberá ponderarse teniendo en cuenta dichas circunstancias.

CUADRO 4.3		
RESUMEN DE LAS ECUACIONES UTILIZADAS PARA ESTIMAR LA ABSORCIÓN DE ENERGÍA BRUTA EN EL GANADO VACUNO, LOS BÚFALOS Y EL GANADO OVINO		
Funciones metabólicas y otras estimaciones	Ecuaciones para el ganado vacuno y los búfalos	Ecuaciones para el ganado ovino
Mantenimiento (EN_m)	Ecuación 4.1	Ecuación 4.1
Actividad (EN_a)	Ecuación 4.2 ^a	Ecuación 4.2b
Crecimiento (EN_c)	Ecuación 4.3 ^a	Ecuación 4.3b
Pérdida de peso ($EN_{\text{movilizada}}$)	Ecuaciones 4.4 ^a y 4.4b	NA
Lactancia (EN_l)*	Ecuación 4.5 ^a	Ecuaciones 4.5b y 4.5c
Potencia de tiro (EN_t)	Ecuación 4.6	NA
Producción de lana (EN_{lana})	NA	Ecuación 4.7
Preñez (EN_p)*	Ecuación 4.8	Ecuación 4.8
{ EN_{ma}/ED }	Ecuación 4.9	Ecuación 4.9
{ EN_{ga}/ED }	Ecuación 4.10	Ecuación 4.10
Energía bruta	Ecuación 4.11	Ecuación 4.11
Fuente: Las ecuaciones aplicables al ganado vacuno se basan en el NRC (1996) y las del ganado ovino en el AFRC (1993).		
NA significa “no se aplica”.		
* Se aplica solamente a la proporción de hembras que dan cría.		

CUADRO 4.4		
COEFICIENTES PARA EL CÁLCULO DE EN_m		
Categoría de animales	C_f	Observaciones
Ganado vacuno/búfalos (fuera del período de lactancia)	0,322	
Ganado vacuno/búfalos (en período de lactancia)	0,335	El NRC (1989) prevé una mayor necesidad de energía para mantenimiento durante el período de lactancia
Ganado ovino (corderos de hasta 1 año de edad)	0,236	15% más alto en machos enteros
Ganado ovino (mayores de 1 año)	0,217	15% más alto en machos enteros
Fuente: NRC (1984) y AFRC (1993).		

CUADRO 4.5		
COEFICIENTES DE ACTIVIDAD CORRESPONDIENTES A LAS CONDICIONES DE ALIMENTACIÓN DEL ANIMAL		
Condiciones de alimentación	Definición	C_a
GANADO VACUNO Y BÚFALOS		
En confinamiento	Los animales se encuentran confinados a un espacio reducido (p.ej., amarrados, en un corral, en un establo), y por lo tanto gastan muy poca energía, o ninguna, para obtener su alimento.	0
En praderas	Los animales se encuentran confinados en áreas con suficiente forraje, lo que les exige un gasto modesto de energía para la obtención de su alimento.	0,17
Pastoreo en áreas extensas	Los animales pastorean en zonas muy extensas o en terreno accidentado, por lo que gastan una gran cantidad de energía para obtener su alimento.	0,36
OVINOS		
Ovejas a resguardo	Los animales se encuentran confinados en el último trimestre de su preñez (50 días).	0,0090
Pastoreo en praderas llanas	Los animales recorren hasta 1.000 metros por día y gastan muy poca energía para la obtención de su alimento.	0,0107
Pastoreo en praderas accidentadas	Los animales recorren hasta 5.000 metros por día y gastan una gran cantidad de energía para obtener su alimento.	0,024
Corderos en engorde a resguardo	Se alberga a los animales para su engorde.	0,0067
Fuente: Directrices del IPCC.		

Crecimiento: EN_c es la energía neta necesaria para el crecimiento (es decir, para el aumento de peso). La ecuación utilizada actualmente para el cálculo de la EN_c , basada en el NRC (NRC, 1996), difiere de la ecuación correspondiente a la EN_c que figura en las *Directrices del IPCC*. La principal diferencia consiste en que la actual ecuación para la EN_c del ganado vacuno y los búfalos (expresada en la ecuación 4.3a) incluye un factor de escala de peso para animales adultos. Cuando se desee caracterizar una categoría de animales que muestre una pérdida de peso neto durante un cierto período de tiempo (p.ej. el ganado vacuno durante la estación seca), no se deberá utilizar la ecuación 4.3a, sino aplicar directamente las ecuaciones 4.4a o 4.4b. En el caso de los ovinos, la EN_c se estima mediante la ecuación 4.3b.

ECUACIÓN 4.3a**ENERGÍA NETA PARA CRECIMIENTO (GANADO VACUNO Y BÚFALOS)**

$$EN_c = 4,18 \cdot \{0,0635 \cdot [0,891 \cdot (PP \cdot 0,96) \cdot (478/(C \cdot PC))]^{0,75} \cdot (AP \cdot 0,92)^{1,097}\}$$

donde:

EN_c = energía neta necesaria para el crecimiento, en MJ/día

PP = peso en pie del animal, en kg

C = coeficiente con un valor de 0,8 para hembras, 1,0 para animales castrados y 1,2 para toros (NRC, 1996)

PC = peso corporal de un animal adulto, en kg

AP = aumento de peso por día, en kg/día

ECUACIÓN 4.3b**ENERGÍA NETA PARA CRECIMIENTO (OVINOS)**

$$EN_c = \{AP_{\text{cordero}} \cdot [a + 0,5b (PC_i + PC_f)]\} / (365 \text{ días/año})$$

donde:

EN_c = energía neta necesaria para el crecimiento, en MJ/día

AP_{cordero} = el correspondiente aumento de peso ($PC_f - PC_i$), en kg

PC_i = peso corporal al momento del destete, en kg

PC_f = peso corporal al primer año de edad o en matadero (peso en pie), siempre que la faena se realice antes del primer año de edad, en kg

Cabe señalar que el destete de los corderos se produce a lo largo de varias semanas, a medida que complementan su dieta láctea con las pasturas o con el pienso que se les proporciona. Deberá considerarse que el destete es el período durante el cual los corderos dependen de la leche para obtener la mitad de la energía que necesitan.

La ecuación utilizada para calcular la EN_c de los ovinos incluye dos valores constantes que varían según la especie o la categoría de animales, como se indica en el cuadro 4.6, “Valores constantes para el cálculo de EN_c en el ganado ovino”:

CUADRO 4.6		
VALORES CONSTANTES PARA EL CÁLCULO DE EN_c EN EL GANADO OVINO		
Especie/categoría de animales	A	b
Machos enteros	2,5	0,35
Animales castrados	4,4	0,32
Hembras	2,1	0,45
Fuente: AFRC (1993).		

Pérdida de peso en el ganado vacuno y los búfalos: Cuando un animal pierde peso, el valor de la $EN_{\text{movilizada}}$ representa la energía inherente a la pérdida de peso que el animal podría utilizar para su mantenimiento. En general, al preparar un inventario no se observa la pérdida de peso, porque los datos se obtienen normalmente para describir el cambio de peso en un año determinado, y el ganado vacuno y los búfalos adultos no suelen mostrar cambios de peso de un año para el otro. Sin embargo, los animales a veces pierden peso durante una parte del año y aumentan de peso durante otra. Por ejemplo, en algunos países los animales pierden peso durante la estación seca y suben de peso durante la estación lluviosa. Además, una vaca lechera de alto rendimiento suele perder peso al comienzo del período de lactancia, cuando los tejidos corporales se dedican a suministrar la energía necesaria para producir leche. Generalmente el peso se recupera más adelante, en el transcurso del año.

Las ecuaciones 4.4a y 4.4b se utilizan para estimar la $EN_{\text{movilizada}}$ en las vacas lecheras de alto rendimiento en período de lactancia y en otro tipo de ganado vacuno y búfalos. Por lo general, estas ecuaciones se utilizan solamente para estimar la ingestión de alimentos durante las épocas del año en que se observa una pérdida de peso.

En el caso de las vacas lecheras en período de lactancia, por cada kilogramo de peso perdido se movilizan aproximadamente 19,7 MJ de EN. Por lo tanto, la $EN_{\text{movilizada}}$ se calcula como se indica a continuación (NRC, 1989):

<p>ECUACIÓN 4.4a</p> <p>ENERGÍA NETA DEBIDA A PÉRDIDA DE PESO (VACAS LECHERAS EN PERÍODO DE LACTANCIA)</p> $EN_{\text{movilizada}} = 19,7 \cdot \text{Pérdida de peso}$

donde:

$EN_{\text{movilizada}}$ = energía neta debida a la pérdida de peso (movilizada), en MJ/día

Pérdida de peso = peso que pierde el animal por día, en kg/día

Cabe señalar que en la ecuación 4.4a, la pérdida de peso se toma como un valor negativo, por lo que la $EN_{\text{movilizada}}$ se expresa también como una cifra negativa.

En el caso de los búfalos y otro tipo de ganado vacuno, la cantidad de energía movilizada por la pérdida de peso se calcula: 1) insertando la cantidad de peso perdido (kg/día) como valor positivo en la ecuación 4.3a y expresándola como AP para el cálculo de la EN_c , y 2) calculando la $EN_{\text{movilizada}}$ mediante la multiplicación de ese valor de EN_c por el factor de signo negativo 0,8 (NRC, 1996).

<p>ECUACIÓN 4.4b</p> <p>ENERGÍA NETA DEBIDA A PÉRDIDA DE PESO (BÚFALOS Y OTRO TIPO DE GANADO VACUNO)</p> $EN_{\text{movilizada}} = EN_g \cdot (-0.8)$
--

donde:

$EN_{\text{movilizada}}$ = energía neta debido a la pérdida de peso (movilizada), en MJ/día

EN_c = energía neta necesaria para el crecimiento, en MJ/día

El resultado de la ecuación 4.4b también es un valor negativo.

Lactancia: EN_l es la energía neta necesaria para la secreción de leche. En el ganado vacuno y los búfalos, la energía neta que necesita el animal para segregar leche se expresa como una función de la cantidad de leche producida y su contenido graso expresado como porcentaje (p.ej. 4%) (NRC, 1989):

<p>ECUACIÓN 4.5a</p> <p>ENERGÍA NETA NECESARIA PARA LA LACTANCIA (GANADO VACUNO Y BÚFALOS)</p> $EN_l = \text{kg de leche por día} \cdot (1,47 + 0,40 \cdot \text{Grasa})$

donde:

EN_l = energía neta necesaria para la lactancia, en MJ/día

Grasa = contenido de grasa de la leche, en %

En el caso del ganado ovino se presentan dos métodos para estimar la energía neta necesaria para la secreción de leche (EN_l). El primer método (ecuación 4.5b) se utiliza cuando se sabe la cantidad de leche producida, mientras que el segundo método (ecuación 4.5c) se aplica cuando se ignora esa cantidad. En general se sabe la cantidad de leche que producen las ovejas destinadas a la producción lechera con fines comerciales, pero no sucede lo mismo con las ovejas que amamantan a sus corderos hasta el destete. A partir de una cantidad conocida de producción de leche, la producción anual total se divide por 365 días para estimar el promedio de producción diaria en kg/día (ecuación 4.5b). Cuando no se conocen las cifras de producción de leche, el AFRC (1990) indica que, cuando la oveja pare una sola cría, su rendimiento de leche es aproximadamente igual a cinco veces el aumento

de peso del cordero. En consecuencia, se puede estimar la producción anual total de leche en cinco veces el aumento de peso del cordero antes del destete. La producción media de leche por día se estima dividiendo la cifra resultante por 365 días, como se indica en la ecuación 4.5c.

$$\text{ECUACIÓN 4.5b}$$

$$\text{ENERGÍA NETA PARA LA LACTANCIA EN OVEJAS (PRODUCCIÓN CONOCIDA DE LECHE)}$$

$$EN_l = \text{kg de leche/día} \cdot VE_{\text{leche}}$$

donde:

EN_l = energía neta necesaria para la lactancia, en MJ/día

VE_{leche} = valor energético de la leche. Puede usarse un valor por defecto de 4,6 MJ/kg (AFRC, 1993)

$$\text{ECUACIÓN 4.5c}$$

$$\text{ENERGÍA NETA PARA LA LACTANCIA EN OVEJAS (PRODUCCIÓN DESCONOCIDA DE LECHE)}$$

$$EN_l = ((5 \cdot AP_{\text{cordero}})/365 \text{ días/año}) \cdot VE_{\text{leche}}$$

donde:

EN_l = energía neta para la lactancia, en MJ/día

AP_{cordero} = aumento de peso del cordero entre el nacimiento y el destete, en kg/día

VE_{leche} = valor energético de la leche. Puede usarse un valor por defecto de 4.6 MJ/kg (AFRC, 1993)

En las ecuaciones 4.5b y 4.5c se presume que se ha hecho la caracterización para un año completo (365 días). Si se caracteriza para un período más breve (p.ej. una estación lluviosa), el número de días debe ajustarse según corresponda.

Labor: EN_t es la energía neta que necesita el animal para trabajar. Se utiliza para estimar la energía requerida para la potencia de tiro del ganado vacuno y los búfalos. Las necesidades de energía para suministrar esta potencia de tiro han sido resumidas por diversos autores (p.ej. Lawrence, 1985; Bamualim y Kartiarso, 1985, e Ibrahim, 1985). La intensidad de la labor realizada por el animal influye en sus necesidades de energía, por lo que se ha estimado un rango amplio de necesidades energéticas. Los valores propuestos por Bamualim y Kartiarso indican que, por cada hora de labor habitual de los animales de tiro, se requiere aproximadamente el 10% de las necesidades diarias de EN_m . Este valor se aplica como se indica a continuación:

$$\text{ECUACIÓN 4.6}$$

$$\text{ENERGÍA NETA PARA LABOR (GANADO VACUNO Y BÚFALOS)}$$

$$EN_t = 0,10 \cdot EN_m \cdot \text{horas de labor por día}$$

donde:

EN_t = energía neta que necesita el animal para trabajar, en MJ/día

EN_m = energía neta requerida por el animal para su mantenimiento (ecuación 4.1), en MJ/día

Producción de lana: EN_{lana} es la energía neta que necesitan las ovejas para producir lana durante un año. El valor EN_{lana} se calcula de la siguiente manera:

$$\text{ECUACIÓN 4.7}$$

$$\text{ENERGÍA NETA PARA LA PRODUCCIÓN DE LANA (OVEJAS)}$$

$$EN_{\text{lana}} = (VE_{\text{lana}} \cdot \text{producción anual de lana por oveja, en kg/año})/(365 \text{ días/año})$$

donde:

EN_{lana} = energía neta requerida para la producción de lana, en MJ/día

VE_{lana} = valor energético de cada kg de lana producida (pesada después del secado y antes del lavado)

El AFRC establece para el VE_{lana} un valor de 24 MJ/kg. En una producción típica de lana de aproximadamente 4 kg por oveja por año, normalmente la demanda de energía será bastante reducida.

Preñez: EN_p representa la energía requerida durante la preñez. En el caso del ganado vacuno y los búfalos, se calcula que la necesidad total de energía para la preñez, considerando un período medio de gestación de 281 días en el año, equivale al 10% de la EN_m . Con respecto a las ovejas, la EN_p requerida se estima de manera análoga, para un período de gestación de 147 días, aunque el porcentaje varía según el número de corderos nacidos en cada parto (cuadro 4.7, “Valores constantes para el cálculo de EN_p en la ecuación 4.8). En la ecuación 4.8 puede verse cómo se aplican estas estimaciones.

ECUACIÓN 4.8

ENERGÍA NETA PARA LA PREÑEZ (GANADO VACUNO, BÚFALOS Y OVEJAS)

$$EN_p = C_{\text{preñez}} \cdot EN_m$$

donde:

EN_p = energía neta necesaria para la preñez, en MJ/día

$C_{\text{preñez}}$ = coeficiente de preñez (véase el cuadro 4.7)

EN_m = energía neta requerida por el animal para su mantenimiento (ecuación 4.1), en MJ/día

Al utilizar la EN_p para calcular la EB del ganado vacuno y las ovejas, la estimación de la EN_p debe ponderarse en función de la cantidad de hembras adultas que efectivamente pasan por un período de gestación en el curso de un año. Por ejemplo, si el 80% de las hembras adultas de una categoría de animales dan cría en el curso de un año, entonces se utilizará el 80% del valor de la EN_p en la ecuación relativa a la EB que figura más abajo.

CUADRO 4.7	
VALORES CONSTANTES PARA EL CÁLCULO DE EN_p EN LA ECUACIÓN 4.8	
Categoría de animales	$C_{\text{preñez}}$
Ganado vacuno y búfalos	0,10
Ovejas	
Una sola cría	0,077
Dos crías (mellizos)	0,126
Tres o más crías (trillizos, etc.)	0,150
Fuente: Estimación para el ganado vacuno y los búfalos elaborada a partir de datos del NRC (1996). Las estimaciones para las ovejas se hicieron sobre la base de datos del AFRC (1993).	

A fin de determinar el coeficiente adecuado para el ganado ovino, es necesario saber el número de ovejas que tienen uno, dos o tres corderos por parto, para estimar un valor medio de $C_{\text{preñez}}$. Si no se dispone de esos datos, el coeficiente podrá calcularse de la siguiente manera:

- Si el número de corderos nacidos en un año, dividido por el número de ovejas preñadas en un año, es menor o igual a 1,0, se podrá utilizar el coeficiente correspondiente a los nacimientos de una sola cría.
- Si el número de corderos nacidos en un año, dividido por el número de ovejas preñadas en un año, es superior a 1,0 y menor de 2,0, el coeficiente se calculará de la siguiente manera:

$$C_{\text{preñez}} = [(0,126 \cdot \text{fracción de partos de mellizos}) + (0,077 \cdot \text{fracción de partos de una sola cría})]$$

donde:

$$\text{fracción de partos de mellizos} = [(\text{corderos nacidos}) / (\text{ovejas preñadas})] - 1$$

$$\text{fracción de partos de una sola cría} = 1 - \text{fracción de partos de mellizos}$$

- Si el número de corderos nacidos en un año, dividido por el número de ovejas preñadas en un año, es superior a 2, deberá recurrirse al dictamen de expertos en cuanto a la forma de estimar la EN_p .

EN_{ma}/ED: para el ganado vacuno, los búfalos y el ganado ovino, la relación EN_{ma}/ED entre la energía neta disponible en una dieta de mantenimiento y la energía digestible (o asimilable) consumida, se estima mediante la siguiente ecuación:

ECUACIÓN 4.9

RELACIÓN ENTRE LA ENERGÍA NETA DISPONIBLE EN UNA DIETA DE MANTENIMIENTO Y LA ENERGÍA DIGESTIBLE CONSUMIDA

$$EN_{ma}/ED = 1,123 - (4,092 \cdot 10^{-3} \cdot ED) + [1,126 \cdot 10^{-5} \cdot (ED)^2] - (25,4/ED)$$

donde:

EN_{ma}/ED = relación entre la energía neta disponible en una dieta de mantenimiento y la energía digestible consumida

ED = energía digestible expresada como porcentaje de la energía bruta

EN_{cre}/ED: Para el ganado vacuno, los búfalos y el ganado ovino, la relación EN_{cre}/ED entre la energía neta disponible para el crecimiento (incluida la producción de lana) en una dieta, y la energía digestible consumida, se estima utilizando la ecuación siguiente:

ECUACIÓN 4.10

RELACIÓN ENTRE LA ENERGÍA NETA DISPONIBLE PARA EL CRECIMIENTO EN UNA DIETA Y LA ENERGÍA DIGESTIBLE CONSUMIDA

$$EN_{cre}/ED = 1,164 - (5,160 \cdot 10^{-3} \cdot ED) + (1,308 \cdot 10^{-5} \cdot (ED)^2) - (37,4/ED)$$

donde:

EN_{cre}/ED = relación entre la energía neta disponible para el crecimiento en una dieta, y la energía digestible consumida

ED = energía digestible expresada como porcentaje de la energía bruta

Energía bruta, EB: Como se indica en la ecuación 4.11, la EB se calcula sobre la base de las estimaciones de la energía neta y las características de los alimentos. La ecuación 4.11 es similar a la ecuación 4.13 de las *Directrices del IPCC*, con la diferencia de que corrige un error tipográfico y cambia los subíndices de algunos términos para distinguir entre la energía neta disponible en los alimentos que permite satisfacer una necesidad de energía neta (es decir, EN_{cre}), y las necesidades de energía neta del animal (es decir, EN_c). Es una *buena práctica* utilizar la ecuación corregida, que figura como ecuación 4.11 más abajo. Si bien las *Directrices del IPCC* no proponen una ecuación específica para el ganado ovino, la ecuación 4.11 representa una *buena práctica* para el cálculo de las necesidades de EB de los ovinos, utilizando los resultados de las ecuaciones presentadas *supra*.

Al aplicar la ecuación 4.11, solamente se utilizan los términos correspondientes a cada categoría de animales (véase el cuadro 4.3).

ECUACIÓN 4.11

ENERGÍA BRUTA PARA EL GANADO VACUNO, LOS BÚFALOS Y EL GANADO OVINO

$$EB = \{[(EN_m + EN_{movilizada} + EN_a + EN_l + EN_t + EN_p)/(EN_{ma}/ED)] + [(EN_c + EN_{lana}) / (EN_{cre}/ED)]\} / (ED/100)$$

donde:

EB = energía bruta, en MJ/día

EN_m = energía neta requerida por el animal para su mantenimiento (ecuación 4.1), en MJ/día

EN_{movilizada} = energía neta debida a pérdida de peso (movilizada) (ecuaciones 4.4a y 4.4b), en MJ/día

EN_a = energía neta necesaria para la actividad del animal (ecuaciones 4.2a y 4.2b), en MJ/día

EN_l = energía neta necesaria para la secreción de leche (ecuaciones 4.5a, 4.5b y 4.5c), en MJ/día

EN_t = energía neta requerida para la labor (ecuación 4.6), en MJ/día

EN_p = energía neta necesaria para la preñez (ecuación 4.8), en MJ/día

EN_{ma}/ED = relación entre la energía neta para mantenimiento presente en una dieta, y la energía digestible consumida (ecuación 4.9)

EN_c = energía neta necesaria para el crecimiento (ecuaciones 4.3a y 4.3b), en MJ/día

EN_{lana} = energía neta requerida para la producción anual de lana (ecuación 4.7), en MJ/día

EN_{cre}/ED = relación entre la energía neta disponible para el crecimiento en una dieta, y la energía digestible consumida (ecuación 4.10)

ED = energía digestible expresada como porcentaje de la energía bruta

Una vez calculados los valores de EB para cada subcategoría de animales, también deberá calcularse la ingestión de alimentos en unidades de kilogramo de materia seca por día (kg/día), y compararse con el peso del animal representativo de la subcategoría. Para convertir las unidades de energía bruta (EB) en ingestión de materia seca, se deberá dividir dichas unidades por la densidad de energía existente en el alimento. Cuando no se disponga de información específica sobre un determinado alimento, se podrá usar el valor por defecto de 18,45 MJ/kg. La ingestión diaria de materia seca resultante debería ser del orden de 1% a 3% del peso corporal del animal.

CARACTERIZACIÓN DE LOS ANIMALES EN AUSENCIA DE MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES

En algunos países puede haber animales domesticados para los que no existen actualmente métodos de estimación de las emisiones de nivel 1 o nivel 2 (p.ej., llamas, alpacas, wapitis, emúes y avestruces). Una *buen práctica* para estimar las emisiones de estos animales consiste en evaluar primeramente si sus emisiones pueden tener la suficiente importancia como para justificar su caracterización y la determinación de factores de emisión para países específicos. En el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”, se brinda orientación para evaluar la importancia de las distintas categorías de fuentes de emisiones dentro del inventario nacional. Se pueden aplicar criterios similares para evaluar la importancia de ciertas subcategorías de fuentes (es decir, especies) dentro de una categoría de fuentes, como la fermentación entérica. Si se determina que las emisiones procedentes de una subespecie en particular son considerables, entonces deberán establecerse factores de emisión específicos del país, así como una caracterización que los fundamente. La caracterización utilizada como base para la estimación por el método de nivel 2 de las emisiones procedentes de la fermentación entérica del ganado vacuno constituye un ejemplo de la forma de cálculo de un factor de emisión. Los datos y los métodos utilizados para caracterizar a los animales deberán documentarse debidamente.

Como no se dispone de métodos de estimación de las emisiones procedentes de estos animales, los factores de emisión aproximados que se basan en “cálculos del orden de magnitud” resultan apropiados para evaluar la importancia de sus emisiones. Una forma de determinar factores de emisión aproximados consiste en utilizar el factor de emisión de nivel 1 respecto de un animal que tenga un aparato digestivo similar y calcular el factor de emisión en forma proporcional a la relación entre los pesos de los animales elevados a la potencia 0,75. Los factores de emisión de nivel 1 pueden clasificarse de acuerdo con el tipo de aparato digestivo de la siguiente manera:

- Rumiantes: ganado vacuno, búfalos, ovejas, cabras, camellos
- Herbívoros no rumiantes: caballos, mulas y asnos
- Aves de corral: pollos, patos, pavos
- Animales monogástricos, excluidas las aves de corral: cerdos

Por ejemplo, un factor aproximado de las emisiones de metano procedentes de la fermentación entérica de las alpacas podría estimarse a partir del factor de emisión correspondiente a las ovejas (que son también animales rumiantes) como se indica a continuación:

Factor de emisión aproximado = $[(\text{peso de la alpaca})^{0,75} / (\text{peso de la oveja})^{0,75}] \bullet$ factor de emisión de las ovejas

De manera similar, se podría estimar un factor aproximado de las emisiones de metano procedentes del estiércol de los avestruces utilizando el factor de emisión de nivel 1 correspondiente a los pollos. Los factores de emisión aproximados que se establecen por este método sólo pueden utilizarse para evaluar la importancia de las emisiones procedentes de los animales, y no se consideran lo suficientemente exactos para estimar las emisiones como parte de un inventario nacional.

4.1.1.2 DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Para determinar una serie temporal coherente puede ser necesario estimar las características de poblaciones anteriores de ganado. Las estadísticas nacionales suelen proporcionar datos sobre la población de ganado, la producción de leche y la producción de carne que abarcan toda la serie temporal. Los demás atributos fundamentales, que quizás no sea tan fácil obtener mediante una revisión de los datos registrados sobre producciones anteriores, no cambian tan rápidamente, por lo que una estimación retrospectiva sobre la base de las tendencias actuales (p.ej., las tendencias en cuanto al peso en pie) debería ser fiable. Sin embargo, cabe destacar que algunos países están experimentando cambios rápidos en sus poblaciones de ganado como consecuencia de la reestructuración de sus economías y las nuevas condiciones del mercado. En tales circunstancias se justifica realizar estudios más profundos para garantizar que la serie temporal sea adecuada. En el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”, se da una orientación general sobre las *buenas prácticas* tendientes a garantizar que la serie temporal utilizada sea coherente.

4.1.1.3 EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Cada uno de los datos utilizados para la caracterización del ganado está asociado a una incertidumbre que depende de la forma en que fueron obtenidos dichos datos. Es preciso identificar a los factores que contribuyen en mayor medida a la fragilidad de las estimaciones sobre la ingestión de alimentos, para centrar los esfuerzos en la estimación de las incertidumbres que rodean a esos factores. La incertidumbre de estos factores deberá luego propagarse hasta las estimaciones finales de la ingestión de alimentos, a efectos de estimar la incertidumbre total de la estimación de la ingestión de alimentos.

La incertidumbre en los datos sobre la población de ganado es mayor de lo que normalmente se admite. Es muy probable que existan sesgos sistemáticos (positivos y negativos) en la información sobre la población de ganado que se proporciona a los encuestadores de los censos nacionales. La migración de ganado dentro de un país, o de un país a otro, puede determinar que algunos animales se contabilicen por partida doble, o que no se contabilicen. Es posible que las variaciones estacionales en las poblaciones no queden debidamente reflejadas en los datos de los censos anuales. Los datos sobre la población deben examinarse con la cooperación de los organismos nacionales de estadística, teniendo en cuenta estos factores.

4.1.2 Presentación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información necesaria para preparar las estimaciones del inventario nacional de emisiones, como se describe en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”. Los cuadros actuales de notificación de información del IPCC no prevén un mecanismo que permita consignar datos detallados sobre las características del ganado. Es una *buena práctica* incluir cuadros adicionales con información detallada sobre la caracterización del ganado. Esas características detalladas del ganado podrían indicarse en un cuadro resumido, como puede verse por ejemplo en los cuadros A-1 (pág. 4.31) y A-2 (págs. 4.32 a 4.33) de la sección 4 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC*. Las fuentes de los datos contenidos en el cuadro resumido deberán identificarse y citarse claramente.

4.1.3 Garantía de la calidad/control de calidad de los inventarios (GC/CC)

Es una *buena práctica* llevar a cabo controles de calidad, como se describe en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, y hacer revisar por expertos las estimaciones de las emisiones. También puede ser pertinente adoptar medidas adicionales de control de calidad, como se describe en los procedimientos de nivel 2, en el capítulo 8, y aplicar otros procedimientos de garantía de la calidad, sobre todo si se utilizan métodos de niveles más altos para determinar las emisiones procedentes de esta fuente. El examen general del procesamiento, el manejo y la presentación de los datos podría complementarse con los procedimientos que se analizan a continuación y que son específicos de cada fuente:

Examen de los datos de actividad

- El organismo encargado del inventario deberá comprobar la coherencia de los datos de caracterización del ganado que se usen para estimar las emisiones procedentes de cada una de las categorías de fuentes que corresponda. Con medidas corrientes de CC se deberá comprobar que exista coherencia en los datos utilizados en todas las categorías de fuentes.
- Si cuenta con los datos necesarios, el organismo encargado del inventario deberá calcular los cambios registrados en la población total en el transcurso del tiempo, usando para ello las cifras de población, las tasas de natalidad y mortalidad, las tasas de faena y el volumen de importaciones y exportaciones, a fin de garantizar la coherencia. El organismo encargado del inventario deberá realizar este cálculo de año en año (p.ej., de 1990 a 1991, de 1991 a 1992, y así sucesivamente), así como de una estación a otra dentro de un mismo año. El análisis entre estaciones resulta particularmente importante en los países que tienen variaciones estacionales en sus condiciones de producción, que determinan cambios importantes en las poblaciones de ganado durante el año.
- El organismo encargado del inventario deberá comparar la producción total (p.ej., de carne, leche y lana) correspondiente a las distintas categorías y subcategorías de animales, con las estadísticas sobre la producción total, para asegurar que sean congruentes entre sí.
- Deberán examinarse las estimaciones de la ingestión de alimentos elaboradas como base de las estimaciones de las emisiones procedentes de la fermentación entérica calculadas por el método de nivel 2 para comprobar que sean razonables. En el caso de los rumiantes, la ingestión de alimentos en unidades de materia seca (kg/día) deberá ser del orden de 1% a 3% del peso de los animales.
- El organismo encargado del inventario deberá revisar los procedimientos de GC/CC asociados a las fuentes secundarias de datos (p.ej., los organismos nacionales de agricultura y alimentación, las asociaciones comerciales agrícolas y las instituciones de investigación agrícola). Muchos de los organismos que preparan los datos relacionados con el ganado tienen sus propios procedimientos para evaluar la calidad de los datos, con independencia del uso final que pueda darse a dichos datos. Si los procedimientos de GC/CC abarcan las actividades mínimas enumeradas en el plan de GC/CC, deberá hacerse referencia a las medidas de CC adoptadas por la institución de estadística. Si dichas medidas son insuficientes, se deberá someter los datos secundarios a controles de calidad independientes y evaluar nuevamente la incertidumbre de las estimaciones de las emisiones realizadas sobre la base de esos datos o reconsiderar la forma en que serán utilizados.
- El organismo encargado del inventario deberá cotejar los datos de actividad con los datos provenientes de otras fuentes de referencia disponibles. Por ejemplo, los datos específicos de un país deberán compararse con las estadísticas de la FAO en materia de población de ganado y producción lechera. Deberá investigarse cualquier discrepancia importante que se detecte.

Revisión externa

- El organismo encargado del inventario deberá hacer revisar los datos de caracterización del ganado por especialistas en la materia, con la participación de expertos y especialistas agrícolas.

4.2 EMISIONES DE CH₄ PROCEDENTES DE LA FERMENTACIÓN ENTÉRICA EN EL GANADO DOMÉSTICO

4.2.1 Aspectos metodológicos

El ganado se produce en todo el mundo y constituye una fuente importante de emisiones de metano a nivel mundial. La cantidad de metano entérico que se emite depende principalmente del número de animales, el tipo de aparato digestivo y la clase y la cantidad de alimentos que consumen. El ganado vacuno, los búfalos y el ganado ovino son las mayores fuentes de emisión de metano entérico.

4.2.1.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

A los efectos de estimar las emisiones de CH₄ procedentes de la fermentación entérica, las *Directrices del IPCC* recomiendan multiplicar el número de animales de cada categoría por un factor de emisión apropiado. A continuación se suman las emisiones de todas las categorías de animales para obtener el total. A fin de mantener la coherencia de los datos básicos, es una *buena práctica* utilizar la caracterización de una única población de ganado como marco para estimar las emisiones de CH₄ procedentes de la fermentación entérica, así como las emisiones de CH₄ y N₂O procedentes del manejo del estiércol. En la sección 4.1, “Caracterización de la población de ganado”, se ofrece orientación en cuanto a la forma de elaborar esa caracterización.

En las *Directrices del IPCC* se describen dos métodos de carácter general para estimar las emisiones procedentes de la fermentación entérica (véase la figura 4.2, “Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH₄ procedentes de la fermentación entérica”):

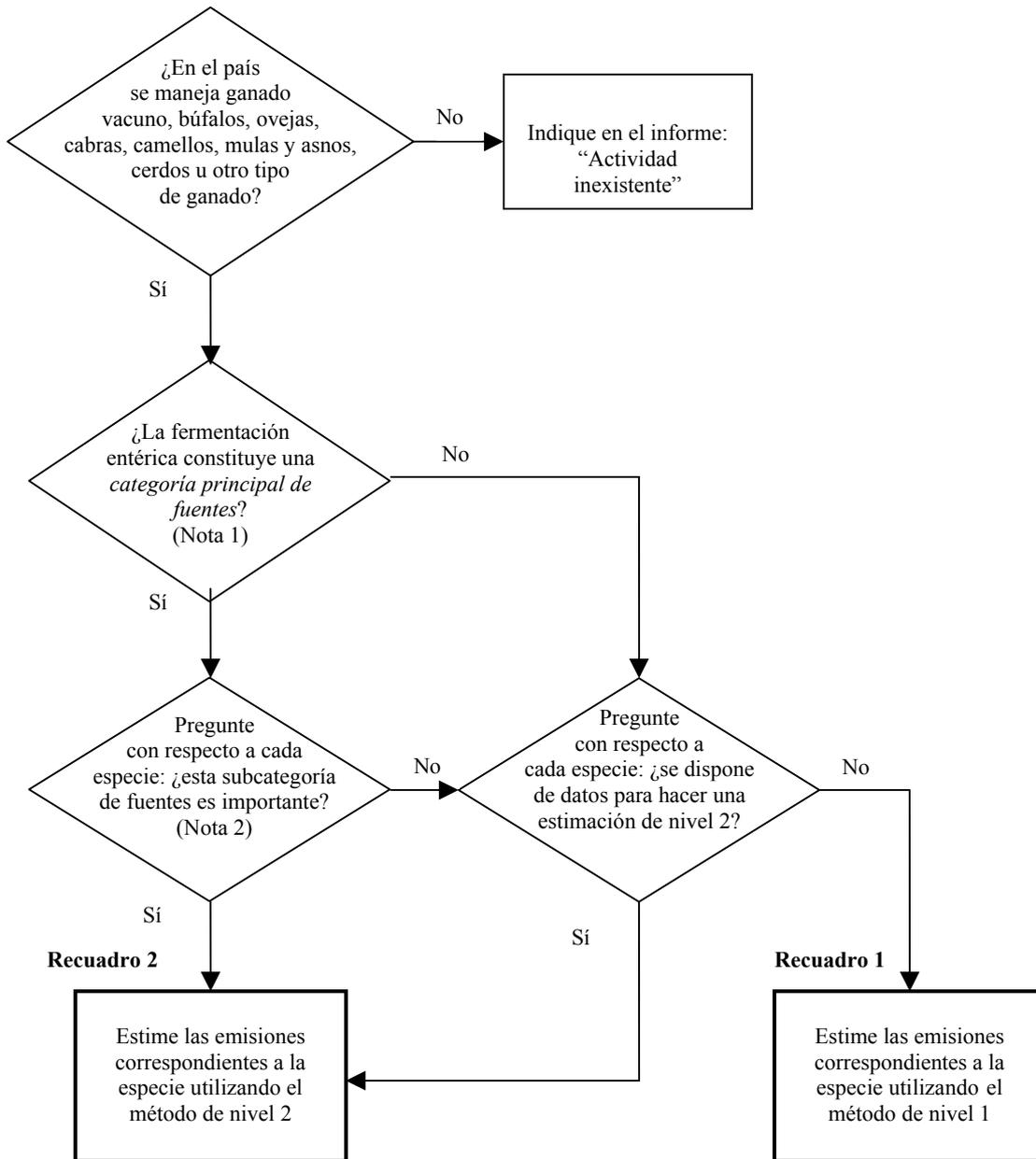
- El método de nivel 1 es un método simplificado que se basa en factores de emisión por defecto extraídos de estudios anteriores. Este método de nivel 1 probablemente sea suficiente para muchos países y puede utilizarse para estimar las emisiones de los siguientes animales: vacas lecheras, otro tipo de ganado vacuno, búfalos, ovejas, cabras, camellos, caballos, mulas, asnos y cerdos.
- El método de nivel 2 es un método más complejo, para el cual se requieren datos detallados y específicos de cada país sobre las necesidades de nutrientes, la ingestión de alimentos y las tasas de conversión del CH₄ aplicables a determinados tipos de alimentos, que más tarde se utilizan para calcular los factores de emisión correspondientes a las categorías de ganado definidas para cada país. El método de nivel 2 se utiliza cuando la fermentación entérica constituye una categoría principal de fuentes (de acuerdo con la definición que se da de éstas en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”) en el caso de las categorías de animales que representan una parte importante de las emisiones totales del país².

I. Método de nivel 1

Cuando se aplica el método de nivel 1, se deben utilizar los datos sobre las categorías de ganado y la producción de leche para seleccionar factores de emisión por defecto. En los cuadros 4.3 y 4.4 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC* se indican factores de emisión por defecto para cada categoría de ganado. Como puede verse en la ecuación 4.12, el factor de emisión se multiplica por el número de animales para determinar las emisiones totales procedentes de cada categoría de ganado. Las emisiones totales de esta categoría de fuentes equivalen a la suma de todas las categorías de ganado, como se describe en la ecuación 4.13. Es una *buena práctica* revisar los factores de emisión de nivel 1 para comprobar que las características básicas del animal, como el peso, la tasa de crecimiento y la producción de leche, utilizadas para el cálculo de dichos factores, sean similares a las condiciones imperantes en el país. En las *Directrices del IPCC* figura información detallada sobre el ganado vacuno y los búfalos. Estos datos deben ser revisados por especialistas nacionales en ganadería, y si se detectan diferencias significativas en las características básicas, los factores de emisión deberán ajustarse en la medida que corresponda.

² Se exhorta a los países que tengan grandes poblaciones de especies animales domesticadas para las que el IPCC no provea factores de emisión por defecto (como llamas y alpacas), a que diseñen métodos nacionales similares al método de nivel 2, sobre la base de investigaciones ampliamente documentadas (si se llegara a determinar que las emisiones procedentes de esos animales alcanzan un volumen significativo). Para más información, véase la sección 4.1, bajo el título “Caracterización de los animales en ausencia de métodos de estimación de las emisiones”.

Figura 4.2 Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH₄ procedentes de la fermentación entérica



Nota 1: Una *categoría principal de fuentes* es una categoría que tiene prioridad en el sistema del inventario nacional porque su estimación influye en gran medida en el inventario total de gases de efecto invernadero directo de un país en lo que se refiere al nivel absoluto de emisiones, la tendencia de las emisiones, o ambas cosas. (Véase la sección 7.2, “Determinación de las principales categorías de fuentes”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”).

Nota 2: Como regla general, una subcategoría de fuentes es importante cuando representa entre el 25% y el 30% de las emisiones procedentes de la categoría de fuentes.

ECUACIÓN 4.12**EMISIONES PROCEDENTES DE UNA CATEGORÍA DE GANADO**

$$\text{Emisiones} = \text{FE} \cdot \text{población} / (10^6 \text{ kg/Gg})$$

donde:

Emisiones = emisiones de metano procedentes de la fermentación entérica, en Gg de CH₄/año

FE = factor de emisión correspondiente a una población específica, en kg/cabeza/año

Población = número de animales, en cabezas

ECUACIÓN 4.13**EMISIONES TOTALES PROCEDENTES DEL GANADO**

$$\text{Emisiones totales de CH}_4 = \sum_i E_i$$

donde:

Emisiones totales = emisiones totales de metano procedentes de la fermentación entérica, en Gg de CH₄/año

índice i = suma de todas las categorías y subcategorías de ganado

E_i = emisiones correspondientes a la cantidad i de categorías y subcategorías de ganado

Método de nivel 2

En el método de nivel 2 también se utiliza la ecuación 4.12 para calcular las emisiones, pero aplicándola a categorías de población de ganado más desglosadas y usando factores de emisión calculados, en lugar de valores por defecto. La ecuación 4.13 deberá utilizarse para sumar las emisiones procedentes de las categorías desglosadas de especies de ganado correspondientes a todas las especies de ganado, a fin de obtener las emisiones totales de un país. Los aspectos fundamentales del método de nivel 2 son la determinación de factores de emisión y la reunión de datos de actividad detallados. La determinación de los factores de emisión se describe en la sección siguiente. Los aspectos relacionados con la reunión de datos de actividad se analizan en la sección 4.1, “Caracterización de la población de ganado”.

4.2.1.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Cuando se aplica el método de nivel 1, se deben tomar los factores de emisión por defecto establecidos en los cuadros 4-3 y 4-4 de las *Directrices del IPCC*, a menos que se disponga de factores documentados específicos del país de que se trate. En cambio, cuando se usan métodos de nivel 2, es necesario determinar factores de emisión específicos del país y de sus especies o categorías de animales. Como se describe en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”, se exhorta a los organismos encargados de los inventarios a que determinen cuáles son las subcategorías de fuentes importantes, ya que es probable que algunas especies representen la mayor parte de las emisiones procedentes de la fermentación entérica. Se considera una *buen práctica* determinar factores de emisión desglosados para las subcategorías que revisten mayor importancia en términos de sus emisiones.

Cuando se aplica el método de nivel 2, los factores de emisión correspondientes a categoría de animales se estiman utilizando los datos detallados obtenidos mediante la caracterización del ganado, como se describe en la sección relativa a la caracterización de la población de ganado (véase la sección 4.1). En las *Directrices del IPCC* se analiza la forma de determinar factores de emisión para el ganado vacuno. A continuación se describen las *buenas prácticas* en lo que respecta a la determinación de esos factores. Cuando no se disponga de datos sobre los búfalos, se podrá aplicar a esa especie el mismo método utilizado para el ganado vacuno, habida cuenta de la similitud entre ambas especies bovinas. Más abajo se describen además las *buenas prácticas* aplicables a la determinación de los factores de emisión del ganado ovino, ya que ésta es una especie animal de importancia en muchos países.

Se deberá determinar un factor de emisión para cada categoría de animales utilizando la ecuación 4.14:

ECUACIÓN 4.14

DETERMINACIÓN DE FACTORES DE EMISIÓN

$$FE = (EB \cdot Y_m \cdot 365 \text{ días/año}) / (55,65 \text{ MJ/kg CH}_4)$$

donde:

FE = factor de emisión, en kg de CH₄/cabeza/año

EB = absorción de energía bruta, en MJ/cabeza/día

Y_m = tasa de conversión del metano, que es la fracción de energía bruta presente en los alimentos que se convierte en metano

Esta ecuación parte del supuesto de que se están determinando factores de emisión para una categoría de animales durante un año entero (365 días). Si bien en general se utiliza un factor de emisión correspondiente a un año entero, en algunas circunstancias se puede definir la categoría de animales para un período más breve (p.ej. para la estación lluviosa del año o para un período de engorde en corral de 150 días). En ese caso, el factor de emisión se estimaría para el período específico (p.ej., la estación lluviosa), y los 365 días se sustituirían por el número de días de duración de ese período. La definición del período al que se aplica el factor de emisión se describe como parte de la caracterización del ganado.

El valor de la energía bruta (EB) absorbida por cada categoría de animales se toma de la caracterización del ganado que figura en la sección 4.1.

Obtención de la tasa de conversión del metano (Y_m)

La medida en que la energía presente en los alimentos se convierte en CH₄ depende de varios factores de dichos alimentos y del propio animal, que interactúan entre sí. Si no es posible obtener las tasas de conversión del CH₄ de investigaciones realizadas sobre el país de que se trate, se podrán utilizar los valores indicados en el cuadro 4.8, “Tasas de conversión del CH₄ para el ganado vacuno y los búfalos”, para esas dos subcategorías de ganado. Estas estimaciones generales constituyen una guía aproximada que se basa en las características generales de los alimentos y las prácticas de producción propias de muchos países desarrollados y en desarrollo. Cuando se disponga de alimentos de buena calidad (es decir, de gran digestibilidad y alto valor energético), se deberán usar los valores inferiores. Cuando la alimentación disponible sea de menor calidad, será mejor utilizar los valores superiores. Se parte de la base de una tasa de conversión del CH₄ igual a cero para todos los animales jóvenes que sólo consumen leche (como corderos y terneros lactantes).

Debido a la importancia que reviste la tasa Y_m en la generación de emisiones, hay importantes investigaciones en curso que apuntan a mejorar la estimación de su valor para diferentes animales y combinaciones de alimentos. Dicha mejora es sumamente necesaria en el caso de los animales que se alimentan en praderas tropicales, habida cuenta de la escasez de datos disponibles. Por ejemplo, en un estudio reciente (Kurihara y otros, 1999) se observó la existencia de valores de Y_m fuera de los rangos indicados en el cuadro 4.8.

CUADRO 4.8		
TASAS DE CONVERSIÓN DEL CH₄ PARA EL GANADO VACUNO Y LOS BÚFALOS (Y_m)		
Países	Tipo de ganado	Y_m^b
Países desarrollados	Ganado vacuno alimentado en corral de engorde ^a	0,04 ± 0,005
	Resto del ganado vacuno	0,06 ± 0,005
Países en desarrollo	Vacas lecheras (vacunos y búfalos) y sus crías	0,06 ± 0,005
	Otro ganado vacuno y búfalos alimentados fundamentalmente con residuos y subproductos agrícolas de baja calidad	0,07 ± 0,005
	Otro ganado vacuno o búfalos en África – en pastoreo	0,07 ± 0,005
	Otro ganado vacuno o búfalos en países en desarrollo con excepción de África – en pastoreo	0,06 ± 0,005
^a Cuando la dieta contiene 90% o más de concentrados. ^b Los signos ± representan el rango de valor. Fuente: Directrices del IPCC.		

El valor Y_m correspondiente al ganado ovino puede no ser el mismo que el del ganado vacuno. Lassey y otros (1997) sugieren que el valor Y_m para corderos de 8 meses de edad es inferior (0,045) al de las vacas lecheras en período de lactancia (0,062) con una alimentación prácticamente idéntica en pasturas de alta calidad. Los ovinos no deben considerarse meramente un ganado de escaso tamaño en lo que respecta a su desempeño alimentario, ya que su comportamiento (selección de alimentos) es diferente, y también puede serlo la microbiología de su rumen. Al utilizar el cuadro 4.9, “Tasas de conversión del CH_4 para el ganado ovino”, los valores de Y_m se seleccionan de acuerdo con la calidad de la alimentación (medida en términos de su digestibilidad) y la edad de las ovejas. Estos valores se basan en datos publicados por Lassey y otros (1997) y Judd y otros (1999), y en datos no publicados obtenidos por el mismo grupo de investigación [K.R. Lassey y M.J. Ulyatt, comunicación personal]. Se puede adoptar la mediana de cada rango, inclusive el de 0,07 para ovejas adultas en todo tipo de praderas. Estos valores son congruentes con las mediciones realizadas por otros investigadores (Murray y otros, 1998; Leuning y otros, 1999), pero es posible que no abarquen toda la gama de praderas existentes.

CUADRO 4.9 TASAS DE CONVERSIÓN DEL CH_4 PARA EL GANADO OVINO (Y_m)		
Categoría	Dietas de digestibilidad inferior al 65%	Dietas de digestibilidad superior al 65%
Corderos (<1 año de edad)	0,06 ± 0,005	0,05 ± 0,005
Ovejas adultas	0,07	0,07
Nota: Los signos± representan el rango de valor. Fuente: Lassey y otros (1997); Lassey y Ulyatt (1999).		

4.2.1.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Los datos de actividad deben obtenerse siguiendo la orientación que se proporciona en la sección relativa a la caracterización de la población de ganado (véase la sección 4.1). Este criterio garantizará la coherencia con las demás categorías de fuentes conexas.

4.2.1.4 EXHAUSTIVIDAD

Es probable que se conozca la totalidad de las principales categorías de animales existentes en el país. En consecuencia, debería ser posible lograr una cobertura exhaustiva. En caso de que se incluyan en el inventario animales respecto de los cuales no se disponga de datos por defecto ni directrices, la estimación de las emisiones deberá prepararse aplicando los mismos principios generales que se expusieron al analizar la forma de cálculo de los factores de emisión de nivel 2.

4.2.1.5 DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Los aspectos clave relacionados con la determinación de una serie temporal coherente se analizan en la sección relativa a la caracterización de la población de ganado (sección 4.1). Se debe tener la precaución de utilizar un conjunto coherente de estimaciones de las tasas de conversión del CH_4 a través del tiempo. En algunos casos puede haber motivos para modificar esos valores de las tasas de conversión del metano en el transcurso del tiempo. Esas modificaciones pueden ser el resultado de la aplicación de medidas expresas de mitigación de los gases de efecto invernadero, o de cambios en las prácticas agrícolas, como las relativas a las condiciones de alimentación o a otros aspectos de gestión no relacionados con los gases de efecto invernadero. Cualquiera sea el origen del cambio, los datos y las tasas de conversión del metano que se utilicen para estimar las emisiones deberán reflejar las modificaciones introducidas en los datos y los métodos, y los resultados deberán documentarse rigurosamente. Si las tasas de conversión del metano a lo largo de una serie temporal se ven afectadas por un cambio en las prácticas agrícolas y/o por la aplicación de medidas de mitigación de los gases de efecto invernadero, se recomienda al organismo encargado del inventario que se asegure de que los datos consignados en el inventario reflejen dichas prácticas, y que en el texto del inventario se explique detalladamente de qué manera los cambios en las prácticas agrícolas y/o la aplicación de medidas de mitigación han afectado la serie temporal de las tasas de conversión del metano. En la sección 7.3.2.2. del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”, se da una orientación general sobre las *buenas prácticas* en lo que respecta a la determinación de una serie temporal coherente.

4.2.1.6 EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

A continuación se describen los principales aspectos de incertidumbre con respecto a los métodos de nivel 1 y nivel 2.

Método de nivel 1

Habida cuenta de que los factores de emisión calculados por el método de nivel 1 no se basan en datos específicos de un país, es posible que no representen con exactitud las características del ganado de ese país, y en consecuencia pueden ser muy inciertos. Es poco probable que los factores de emisión estimados por el método de nivel 1 se conozcan con una exactitud mayor de $\pm 30\%$, y su grado de incertidumbre puede alcanzar a $\pm 50\%$.

Existirá una incertidumbre adicional vinculada a la caracterización de la población de ganado (véase la sección 4.1), que podrá minimizarse si se aplica el criterio de *buena práctica* relacionado con los datos del censo agrícola que se describe en la sección relativa a la caracterización de la población de ganado.

Método de nivel 2

La incertidumbre de las estimaciones calculadas por el método de nivel 2 dependerá de la exactitud de la caracterización del ganado (p.ej., la homogeneidad de las categorías de ganado), y también de la medida en que los métodos utilizados para definir los coeficientes de las distintas relaciones que forman parte del criterio de la energía neta, correspondan a las circunstancias nacionales. La prioridad a efectos de reducir la incertidumbre general consistirá a menudo en mejorar la caracterización del ganado. La incertidumbre de las estimaciones de los factores de emisión obtenidas por el método de nivel 2 será probablemente del orden de $\pm 20\%$. Se exhorta a los organismos encargados de los inventarios que aplican el método de nivel 2 a que realicen un análisis de las incertidumbres que reflejan su situación particular y, a falta de dicho análisis, deberá suponerse que la incertidumbre en el método de nivel 2 es similar a la del método de nivel 1.

4.2.2 Presentación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información necesaria para preparar las estimaciones del inventario nacional de emisiones, como se describe en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”. Para lograr una mayor transparencia, las estimaciones de las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes deberán declararse junto con los datos de actividad y los factores de emisión utilizados para determinar dichas estimaciones.

Deberá documentarse la siguiente información:

- Todos los datos de actividad, con inclusión de:
 - i) los datos sobre la población animal, desglosados por categoría y región.
- La documentación correspondiente a los datos de actividad, con inclusión de:
 - ii) las fuentes de todos los datos de actividad utilizados en los cálculos (es decir, la cita completa de la base de datos estadísticos de la que se extrajeron los datos);
 - iii) la información y los supuestos utilizados para determinar los datos de actividad, en los casos en que dichos datos no se hayan obtenido directamente de bases de datos;
 - iv) la frecuencia de la reunión de datos, y estimaciones de su exactitud y precisión.
- Si se aplica el método de nivel 1, todos los factores de emisión por defecto usados en las estimaciones de las emisiones procedentes de categorías específicas de animales.
- Si se utiliza el método de nivel 2:
 - i) los valores de Y_m ;
 - ii) los valores de EB estimados o extraídos de otros estudios;
 - iii) la documentación de los datos utilizados, incluidas sus referencias.

En los inventarios en que se utilicen factores específicos de un país o una región en particular, o en los que se apliquen métodos nuevos (distintos de los descritos en las *Directrices del IPCC*), deberán documentarse los fundamentos científicos de dichos factores de emisión y métodos. La documentación deberá contener definiciones de los parámetros de entrada, incluida una descripción del proceso que tuvo como resultado esos factores de emisión y métodos, así como de las fuentes y la magnitud de las incertidumbres.

4.2.3 Garantía de la calidad/control de calidad de los inventarios (GC/CC)

Es una *buena práctica* llevar a cabo controles de calidad, como se describe en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de calidad y control de calidad”, y hacer revisar por expertos las estimaciones de las emisiones. También puede ser pertinente adoptar medidas adicionales de control de calidad, como se describe en los procedimientos de nivel 2, en el capítulo 8, y aplicar otros procedimientos de garantía de la calidad, sobre todo si se utilizan métodos de niveles más altos para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes. Además de la orientación que se proporciona en el capítulo 8, a continuación se describen algunos procedimientos que son específicamente aplicables a esta categoría de fuentes.

Revisión de los factores de emisión

- Cuando se utilice el método de nivel 2, el organismo encargado del inventario deberá cotejar los factores específicos del país con los factores por defecto del IPCC. Toda diferencia significativa entre los factores específicos del país y los factores por defecto deberá explicarse y documentarse.

Revisión externa

- Si se usa el método de nivel 2, el organismo encargado del inventario deberá llevar a cabo un examen por especialistas en la materia, entre ellos expertos de la industria y de instituciones académicas y especialistas en extensión.
- Es importante conservar como documentación interna los resultados de este examen.

4.3 EMISIONES DE CH₄ PROCEDENTES DEL MANEJO DEL ESTIÉRCOL

4.3.1 Aspectos metodológicos

El estiércol del ganado está compuesto principalmente de materia orgánica. Cuando esa materia orgánica se descompone en un medio anaeróbico, las bacterias metanogénicas producen metano (CH₄). Estas condiciones se dan a menudo cuando se manejan grandes cantidades de animales en espacios limitados (como tambos, granjas porcinas y de aves de corral, y corrales para engorde de ganado de carne, donde el estiércol suele almacenarse en grandes pilas o se vierte en tanques de almacenamiento o estanques anaeróbicos).

4.3.1.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Para estimar las emisiones de CH₄ procedentes de los sistemas de manejo del estiércol, en primer lugar se debe dividir la población de animales en las especies y categorías aplicables que reflejen las diversas cantidades de estiércol que produce cada animal y la forma de manejo del estiércol. En la sección relativa a la caracterización de la población de ganado (véase la sección 4.1) figura información detallada en cuanto a la forma de caracterizar la población de ganado para esta fuente.

Como se describe en las *Directrices del IPCC*, los cuatro pasos principales para estimar las emisiones de CH₄ procedentes del estiércol del ganado son:

- i) reunir datos de la población según lo indicado en la sección relativa a la caracterización de la población de ganado;
- ii) usar los factores de emisión por defecto del IPCC, o establecer factores de emisión sobre la base de las características del estiércol (B_o, SV, FCM) para cada población de ganado (especie, categoría o subcategoría) y sistema de manejo del estiércol que corresponda;
- iii) multiplicar cada factor de emisión por la población de ganado que se haya definido, para obtener la estimación de las emisiones de CH₄ procedentes de esa población en particular;
- iv) sumar las emisiones de toda la población de ganado definida, para determinar las emisiones nacionales.

En los informes, las estimaciones de las emisiones deberán indicarse en gigagramos (Gg). Como los factores de emisión deben indicarse en kilogramos por cabeza por año, las emisiones se dividirán por 10⁶. La ecuación 4.15 describe la forma de calcular las emisiones respecto de una población definida:

<p>ECUACIÓN 4.15</p> <p>EMISIONES DE CH₄ PROCEDENTES DEL MANEJO DEL ESTIÉRCOL</p> <p>Emisiones de CH₄ (mm) = Factor de emisión • Población / (10⁶ kg/Gg)</p>

donde:

Emisiones de CH₄(mm) = emisiones de CH₄ procedentes del manejo del estiércol para una población definida, en Gg/año

Factor de emisión = factor de emisión correspondiente a la población de ganado definida, en kg/cabeza/año

Población = el número de cabezas que integra la población de ganado definida

En las *Directrices del IPCC* se prevén dos niveles de estimación de las emisiones de CH₄ procedentes del estiércol del ganado. El método de nivel 1 es un método simplificado para el cual sólo es necesario contar con datos sobre la población de ganado desglosados por especie o categoría de animales y por región climática (fría, templada, cálida) a los efectos de estimar las emisiones.

El método de nivel 2 es un método detallado de estimación de las emisiones de CH₄ procedentes de los sistemas de manejo del estiércol, y se recomienda su uso a los países en los que una determinada especie o categoría de ganado representa una proporción importante de las emisiones. Para aplicar este método es necesario tener

información detallada sobre las características de los animales y la forma de manejo del estiércol. Con esta información se pueden determinar factores de emisión que respondan específicamente a las condiciones del país.

El método que se seleccione dependerá de la disponibilidad de datos y de las circunstancias naturales. A los efectos de estimar las emisiones de CH₄ procedentes de los sistemas de manejo del estiércol, es una *buena práctica* hacer todo lo posible para utilizar el método de nivel 2, inclusive calcular los factores de emisión utilizando factores específicos del país. El método de nivel 1 deberá usarse solamente cuando se hayan agotado todos los medios posibles de aplicar el método de nivel 2. El proceso para determinar el nivel que deberá aplicarse se describe en el árbol de decisiones (véase la figura 4.3).

4.3.1.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

El medio ideal para determinar los factores de emisión es realizar mediciones no invasivas o no perturbadoras de las emisiones en los propios sistemas de producción (corral de engorde, pradera). Los resultados de estas mediciones realizadas en el terreno pueden usarse para diseñar modelos que permitan estimar los factores de emisión. Sin embargo, es difícil llevar a cabo este tipo de mediciones, que además requieren un volumen importante de recursos, una formación especializada y equipos que pueden no estar disponibles. Por ello, si bien se recomienda este método para lograr una mayor exactitud, no se exige necesariamente como criterio de *buena práctica*, dependiendo de las circunstancias nacionales.

Cuando se aplica el método de nivel 1, se usan factores de emisión por defecto. Estos factores de emisión por defecto se indican en el cuadro 4-6 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC* para cada uno de los subgrupos de población recomendados³.

Si no se dispone de datos de medición específicos de una región o un país, los factores de emisión de nivel 2 deberán determinarse utilizando el método descrito en las *Directrices del IPCC*. Ese proceso comienza con la identificación de los sólidos volátiles excretados por los animales (SV, en kg) y la determinación de la capacidad máxima de producción de CH₄ del estiércol (B₀, en m³/kg de SV). Además, para cada sistema de manejo del estiércol debe obtenerse un factor de conversión del CH₄ (FCM) que refleje la influencia del clima en la producción de CH₄.

Dado que las emisiones pueden variar en forma significativa de una región a otra y entre distintas especies o categorías de animales, las estimaciones de las emisiones deben reflejar en la mayor medida posible la diversidad y la gama de poblaciones de animales y prácticas de manejo del estiércol que existen en las distintas regiones de un mismo país. Ello puede determinar la necesidad de hacer estimaciones separadas para cada región. Los factores de emisión deben actualizarse periódicamente, para reflejar los cambios ocurridos en las prácticas de manejo del estiércol, las características de los animales y las tecnologías. Estas actualizaciones deben basarse en los datos más fiables y comprobados científicamente de que se disponga. Es aconsejable realizar una vigilancia frecuente para verificar los parámetros fundamentales del modelo, pero ello no siempre es posible.

Tasas de excreción de SV: La mejor forma de obtener las tasas medias de excreción diaria de SV es utilizar datos extraídos de publicaciones específicas del país de que se trate. Si no es posible obtenerlas de esa manera, las tasas de excreción de SV específicas del país pueden estimarse a partir de los niveles de ingestión de alimentos. En el caso del ganado vacuno y los búfalos, la ingestión de alimentos puede estimarse utilizando el método de caracterización “minuciosa” que se describe en la sección relativa a la caracterización de la población de ganado (véase la sección 4.1). Esto también garantizará la coherencia de los datos básicos necesarios para estimar las emisiones. En el caso de los cerdos, puede ser necesario contar con datos específicos del país sobre la producción porcina para poder estimar la ingestión de alimentos. Una vez estimada la ingestión de alimentos, la tasa de excreción de SV se determina de la siguiente manera:

ECUACIÓN 4.16

TASAS DE EXCRECIÓN DE SÓLIDOS VOLÁTILES

$$SV = EB \cdot (1 \text{ kg-dm}/18,45 \text{ MJ}) \cdot (1 - ED/100) \cdot (1 - CENIZAS/100)$$

donde:

SV = excreción de sólidos volátiles por día sobre la base del peso de la materia seca, en kg-dm/día

³ Sin embargo, cabe señalar que hay un error en el cuadro 4-6 de las *Directrices del IPCC*. El error está en el factor de emisión por defecto del CH₄ procedente del ganado vacuno no lechero en las regiones templadas de América Latina. El valor respectivo debe ser 1 en lugar de 2, tal como se indica correctamente en el apéndice B de las *Directrices del IPCC*, Vol.3. 3.

EB = Estimación de la ingestión media de alimentos por día, en MJ/día

ED = Energía digestible presente en los alimentos, en porcentaje (p.ej. 60%)

CENIZAS = contenido de cenizas del estiércol, en porcentaje (p.ej. 8%)

Nota: El valor 18,45 representa la densidad de energía de los alimentos expresada en MJ por kg de materia seca. Este valor se mantiene relativamente constante en una amplia gama de forrajes y alimentos a base de granos consumidos por el ganado.

El valor de ED que se aplique para el ganado vacuno debe ser el valor utilizado en el método de caracterización “minuciosa” descrito en la sección relativa a la caracterización de la población de ganado (véase la sección 4.1). El contenido de cenizas del estiércol del ganado vacuno y de los búfalos es en general de aproximadamente 8% (IPCC, 1996). En el caso de los cerdos, los valores de digestibilidad por defecto son de 75% y 50% para los países desarrollados y los países en desarrollo respectivamente. En cuanto al contenido de cenizas, se pueden usar valores de 2% para los países desarrollados y de 4% para los países en desarrollo (IPCC, 1996).

Si no es posible determinar valores SV específicos para el país, se pueden usar las tasas de producción de SV por defecto que figuran en el Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC* (cuadros B1 a B7). Estos factores por defecto se calcularon a partir de datos relativos a los valores medios de ingestión y digestibilidad de los alimentos, y se considera que son razonablemente fiables.

Valores B₀: El método preferido para obtener los valores de medición de B₀ es utilizar datos de publicaciones específicas del país, medidas con un método normalizado. Es importante uniformar la forma de medición de B₀, incluido el sistema de muestreo. Si no se dispone de valores de medición de B₀ específicos de un país, se puede recurrir a los valores por defecto que figuran en el apéndice B del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC*⁴.

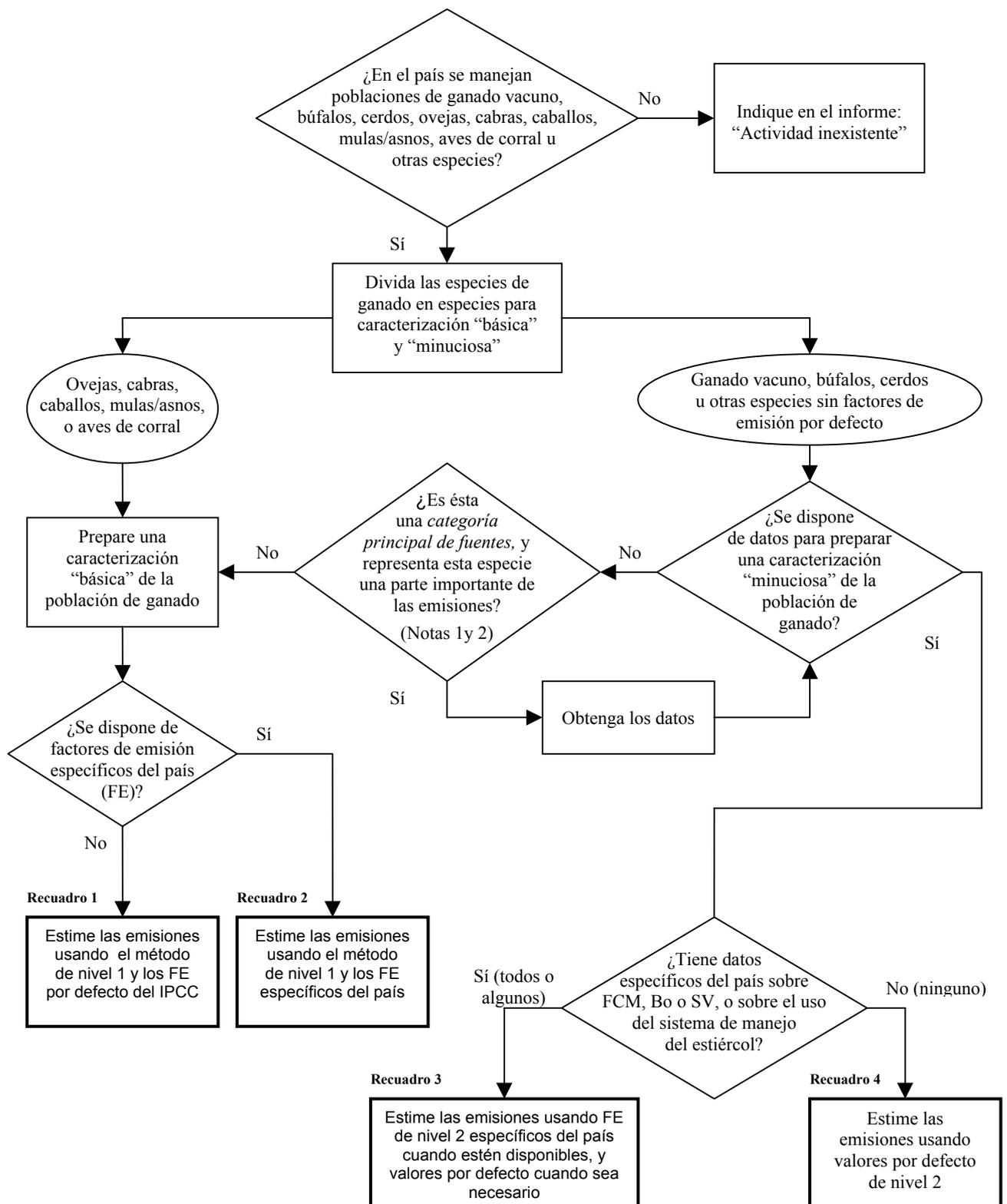
Valores FCM: En las *Directrices del IPCC* se indican valores por defecto del FCM para distintos sistemas de manejo del estiércol y zonas climáticas. Sin embargo, estos valores por defecto no siempre contemplan el gran potencial de variación dentro de las categorías definidas de sistemas de manejo. Por lo tanto, siempre que sea posible se deberán determinar valores de FCM específicos de cada país, que reflejen los sistemas de manejo específicos que se utilizan en determinados países o regiones. Esto reviste particular importancia en los países que tienen grandes poblaciones de animales o múltiples zonas climáticas. En esos casos, y en la medida de lo posible, deberán realizarse mediciones en el terreno para cada región climática, a fin de reemplazar los valores por defecto del FCM originados en el laboratorio. Las mediciones deben incluir los siguientes factores:

- determinación del momento en que debe realizarse el almacenamiento o la aplicación;
- duración del almacenamiento;
- características del estiércol;
- determinación de la cantidad de estiércol que queda en las instalaciones de almacenamiento (*inoculum* metanogénico);
- distribución del tiempo y la temperatura entre el almacenamiento interior y exterior;
- fluctuación diaria de la temperatura;
- variación estacional de la temperatura.

Si no se dispone de mediciones del FCM específicas de un país, se usarán los valores por defecto del FCM que figuran en el Manual de Referencia (cuadro 4-8) de las *Directrices del IPCC*. Algunos de estos valores por defecto han sido modificados, como puede verse en el cuadro 4.10, “Valores de FCM para los sistemas de manejo del estiércol definidos en las *Directrices del IPCC*” (las modificaciones están en letra cursiva). Estas modificaciones en el cuadro 4.10 presentan un método para subdividir los sistemas de digestores y estanques anaeróbicos, a fin de dar cuenta de la recuperación, la quema en antorcha y el uso del biogás. Esta subdivisión es importante como forma de reflejar las medidas normativas que fomentan la recuperación de CH₄ de estos sistemas. En el cuadro 4.11, “Valores de FCM para sistemas de manejo del estiércol no especificados en las *Directrices del IPCC*”, se presentan valores del FCM para otros sistemas de manejo del estiércol que se usan actualmente en varios países, y que no están previstos expresamente en las *Directrices del IPCC*. En los países donde se usan estos sistemas, se promueve el desglose en estas categorías. Los valores por defecto del FCM que se indican en el cuadro 4.11 se podrán utilizar cuando no se disponga de valores específicos del país.

⁴ Cuando se seleccionan valores por defecto de B₀, y si las prácticas de producción en el país en desarrollo son similares a las de los países desarrollados, debe elegirse el valor aplicado en los países desarrollados.

Figura 4.3 Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH₄ procedentes del manejo del estiércol



Nota 1: Una *categoría principal de fuentes* es una categoría que tiene prioridad en el sistema del inventario nacional porque su estimación influye en gran medida en el inventario total de gases de efecto invernadero directo de un país en lo que se refiere al nivel absoluto de emisiones, la tendencia de las emisiones, o ambas cosas. (Véase la sección 7.2, "Determinación de las principales categorías de fuentes", del capítulo 7, "Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos").

Nota 2: Como regla general, una subcategoría de fuentes es importante cuando representa entre el 25% y el 30% de las emisiones procedentes de la categoría de fuentes.

Ecuación para determinar el factor de emisión: La ecuación 4.17 muestra la forma de calcular el factor de emisión de CH₄ procedente del manejo del estiércol:

ECUACIÓN 4.17

FACTOR DE EMISIÓN PROCEDENTE DEL MANEJO DEL ESTIÉRCOL

$$FE_i = SV_i \cdot 365 \text{ días/año} \cdot B_{o_i} \cdot 0,67 \text{ kg/m}^3 \cdot \sum_{(jk)} FCM_{jk} \cdot SM_{ijk}$$

donde:

FE_i = factor de emisión anual de la población de ganado definida i , en kg

SV_i = excreción diaria de SV de un animal dentro de la población definida i , en kg

B_{o_i} = capacidad máxima de producción de CH₄ del estiércol de un animal dentro de la población definida i , en m³/kg de SV

FCM_{jk} = factores de conversión del CH₄ para cada sistema j de manejo del estiércol, por zona climática k

SM_{ijk} = fracción del estiércol de la especie o categoría de animales i , tratado con el sistema de manejo j , en la zona climática k

4.3.1.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Existen dos tipos principales de datos de actividad para estimar las emisiones de CH₄ procedentes del manejo del estiércol: 1) datos sobre la población de animales, y 2) datos sobre el uso que se da al sistema de manejo del estiércol.

Los datos sobre la población de animales deben obtenerse por el método descrito en la sección relativa a la caracterización de la población de ganado (véase la sección 4.1). Como se señaló en dicha sección, el método que recomiendan las *buenas prácticas* para caracterizar a las poblaciones de ganado consiste en realizar una caracterización única que suministre los datos de actividad correspondientes a todas las fuentes de emisiones, sobre la base de los datos relativos a la población de ganado. Sin embargo, es importante señalar que el grado de desglose de los datos sobre la población de ganado que se requiere para estimar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes puede diferir del que se aplica a otras fuentes, como la fermentación entérica. Por ejemplo, para algunas especies o categorías de la población de ganado, como el ganado vacuno, la caracterización “minuciosa” que se requiere para estimar la fermentación entérica por el método de nivel 2 podría agregarse a categorías más amplias que sean suficientes para esa categoría de fuentes.

Se exhorta a los organismos encargados de los inventarios en países con diversos regímenes climáticos a que obtengan datos sobre la población respecto de cada una de las principales zonas climáticas. Ello permitirá obtener resultados más exactos, ya que las emisiones de CH₄ procedentes de los sistemas de manejo del estiércol pueden variar considerablemente según el clima. Lo ideal sería que el desglose regional pudiera obtenerse de estadísticas nacionales ya publicadas. En caso de que no se disponga de datos regionales, se deberá consultar a expertos con respecto a las modalidades de producción regional (p.ej., de leche, carne y lana) o la distribución de las tierras, elementos éstos que pueden proporcionar la información necesaria para estimar la distribución regional de los animales.

La mejor forma de obtener datos sobre la distribución de los sistemas de manejo del estiércol es consultar las estadísticas nacionales que se publican periódicamente. Si no se cuenta con dichas estadísticas, la alternativa que se recomienda es llevar a cabo un estudio independiente del uso que se da a los sistemas de manejo del estiércol. Si no se dispone de los recursos necesarios para dicho estudio, se deberá consultar a expertos para obtener un dictamen acerca de la distribución de los sistemas. En la sección 6.2.5 del capítulo 6, “La cuantificación de las incertidumbres en la práctica”, se describe la forma de obtener el dictamen de expertos sobre los rangos de incertidumbre. Se pueden utilizar protocolos similares para obtener datos con respecto a la distribución de los sistemas de manejo del estiércol.

A los efectos de realizar un análisis de las emisiones regionales, es importante utilizar datos regionales, tanto sobre la población como sobre el uso que se da a los sistemas de manejo del estiércol. Además, es preciso obtener información sobre las diferencias climáticas existentes entre distintas regiones de un mismo país, de forma tal que se puedan aplicar los valores de FCM apropiados. Si no se dispone de todos estos datos a nivel regional, el análisis regional no será más exacto que un estudio de las emisiones a nivel nacional.

4.3.1.4 EXHAUSTIVIDAD

Un inventario completo incluirá las estimaciones de las emisiones procedentes de todas las fuentes de estiércol de la población de animales domesticados de un país, sin perjuicio del nivel del método que se aplique. Las categorías de población animal que enumera el IPCC están claramente diferenciadas, y los datos sobre la población se obtienen generalmente de referencias nacionales o de la FAO. Por lo tanto, los organismos encargados de los inventarios deberían estar en condiciones de realizar una estimación de las emisiones que abarque todas las especies de población animal requeridas.

4.3.1.5 DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

La determinación de una serie temporal coherente para la aplicación del método de nivel 1 exige obtener y compilar datos sobre la población animal y el manejo del estiércol durante el período de tiempo de que se trate. En el método de nivel 1, las dificultades surgen cuando:

- No existen datos sobre la población animal para la totalidad del período;
- Los datos sobre la población animal correspondientes a todo el período no están desglosados en las especies o categorías de animales recomendadas por el IPCC;
- Los cambios que se producen con el transcurso del tiempo en las prácticas de manejo del estiércol afectan las emisiones de CH₄.

Los datos sobre la población de animales pueden obtenerse reuniendo datos históricos agregados de la FAO y utilizando los datos actuales para clasificar dichos datos históricos por grupos de animales. Si a lo largo del tiempo han ocurrido cambios significativos en las prácticas de manejo del estiércol, el método de nivel 1 no permitirá obtener una serie temporal exacta de las emisiones, por lo que se deberá considerar la posibilidad de aplicar el método de nivel 2.

Además de los problemas antes descritos que se plantean con los datos en el método de nivel 1, para determinar una serie temporal para el método de nivel 2 es necesario obtener y compilar datos sobre los sistemas de manejo del estiércol específicos del país. En el método de nivel 2, las dificultades surgen cuando:

- No se dispone de datos sobre los sistemas de manejo del estiércol para un determinado período de la serie temporal;
- Los datos sobre los sistemas de manejo del estiércol no están desglosados en los sistemas recomendados por el IPCC;
- No se aplicó el método de nivel 2 a lo largo de toda la serie temporal.

La falta de datos fiables sobre los sistemas de manejo del estiércol puede subsanarse mediante la extrapolación a todo el país de las tendencias de los sistemas de manejo del estiércol correspondientes a una zona o región de muestra, siempre que las condiciones climáticas sean similares (es decir, la temperatura y las precipitaciones). Si se han producido cambios en el método de estimación de las emisiones, se deberá obtener los datos históricos necesarios para aplicar el método actual y utilizarlos para calcular nuevamente las emisiones correspondientes a dicho período. Si no se dispone de esos datos, puede resultar apropiado crear una tendencia con datos recientes, y usar esa tendencia para hacer una estimación retrospectiva de las prácticas de manejo para la serie temporal. Se puede recurrir, entre otras fuentes, a publicaciones y expertos industriales y universitarios para determinar las tendencias relativas a la población animal y las características del estiércol. En el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”, se brinda orientación sobre la forma de encarar estas cuestiones. En la sección 4.1 se sugieren algunos criterios para abordar los aspectos relacionados con la población animal.

4.3.1.6 EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Ante la probable ausencia de datos empíricos, será necesario recurrir al dictamen de expertos para evaluar las incertidumbres de esta fuente. En el capítulo 6, “La cuantificación de las incertidumbres en la práctica”, se proporciona asesoramiento en cuanto a la forma de obtener dictámenes de expertos y combinarlos con otras incertidumbres.

Los expertos pueden determinar la incertidumbre mediante la evaluación de los distintos componentes de la estimación de las emisiones. Las principales fuentes de incertidumbre son la exactitud de los factores de emisión, la distribución de los sistemas de manejo del estiércol y los datos de actividad. Los valores por defecto (ya sea en el método de nivel 1 o en el de nivel 2) pueden tener un alto grado de incertidumbre para un país en particular, ya que quizás no reflejen las condiciones que verdaderamente imperan en ese país. Las incertidumbres pueden reducirse mediante la creación y la aplicación de un modelo que relacione los valores de FCM y B_0 con distintos factores específicos de un país o una región.

CUADRO 4.10
VALORES DE FCM PARA LOS SISTEMAS DE MANEJO DEL ESTIÉRCOL DEFINIDOS EN LAS DIRECTRICES DEL IPCC (LAS MODIFICACIONES SE INDICAN EN LETRA CURSIVA)

SISTEMA	DEFINICIÓN	VALORES DEL FCM POR CLIMA			OBSERVACIONES
		Frío	Templado	Cálido	
Praderas y pastizales	El estiércol de animales en pastoreo en pastizales y prados se deja como está, y no se maneja.	1%	1,5%	2%	
Recolección y depósito diarios	<i>Las heces y la orina se recogen por medios tales como el raspado. El residuo obtenido se esparce en los campos.</i>	0,1%	0,5%	1%	
Almacenamiento en estado sólido	<i>Las heces y la orina se excretan en confinamiento. Los sólidos (con o sin residuos del lecho de paja) se recogen y almacenan en masa durante un período prolongado (meses) antes de ser vertidos, con o sin sus residuos líquidos, en un sistema de pozos.</i>	1%	1,5%	2%	
Manejo en parcelas secas	En climas secos, los animales pueden mantenerse en corrales de engorde no pavimentados, donde el estiércol se deja secar hasta que se retira periódicamente. Una vez recogido, el estiércol puede ser esparcido en los campos.	1%	1,5%	5%	
Manejo en estado líquido/lechoso	<i>Las heces y la orina se recogen y se transportan en estado líquido a tanques de almacenamiento. Los líquidos pueden almacenarse por largo tiempo (meses). Se les puede añadir agua para facilitar su manipulación.</i>	39%	45%	72%	Cuando los tanques de depósito de estiércol en estado lechoso se usan para almacenamiento de pienso/digestores, el valor del FCM debe calcularse de acuerdo con la fórmula 1.
Estanques anaeróbicos	Se caracteriza por sistemas de descarga de agua que se sirven de ésta para transportar el estiércol a los estanques. El estiércol permanece en el estanque por períodos de 30 a más de 200 días. El agua del estanque puede reciclarse como agua de descarga o destinarse al riego y la fertilización de los campos.	0-100%	0-100%	0-100%	Debe subdividirse en diferentes categorías, tomando en cuenta el porcentaje de recuperación de biogás y la quema del biogás en antorcha. Se calcula utilizando la fórmula 1.
Almacenamiento en pozos debajo del lugar de confinamiento de los animales	<i>Almacenamiento combinado de heces y orina debajo del lugar de confinamiento de los animales:</i> <1 mes >1 mes	0 39%	0 45%	30% 72%	Cuando los pozos se usan como digestores o tanques de almacenamiento, el valor de los FCM debe calcularse de acuerdo con la fórmula 1. Téngase presente que para determinar las condiciones climáticas se debe utilizar la temperatura ambiente, no la del establo.
Digestor anaeróbico	<i>Las heces y la orina en estado líquido/lechoso se recogen y digieren anaeróbicamente. El CH4 puede quemarse en antorcha o ventearse.</i>	0-100%	0-100%	0-100%	Debe subdividirse en diferentes categorías, considerando el volumen de recuperación de biogás, su quema en antorcha y el almacenamiento posterior a la digestión.
Quema como combustible	<i>Las heces y la orina se excretan en los campos. Las tortas de estiércol secas por el sol se queman como combustible.</i>	10%	10%	10%	

Fuente: *Directrices del IPCC* y Dictamen del Grupo de expertos (véase “Copresidentes, Editores y Expertos; Emisiones de CH₄ procedentes del manejo del estiércol”).

Fórmula 1:

$$FCM = \left[\{CH_4_{\text{prod}} - CH_4_{\text{usado}} - CH_4_{\text{quemado}} + FCM_{\text{almacenado}} * (B_0 - CH_4_{\text{prod}})\} / B_0 \right] * 100\%$$

donde:

CH₄_{prod} = producción de metano en digestor, (l CH₄/gSV agregado).

CH₄_{usado} = volumen de metano usado para generar energía, (l CH₄/gSV agregado)

CH₄_{quemado} = volumen de metano quemado en antorcha, (l CH₄/gSV agregado)

FCM_{almacenado} = CH₄ emitido durante el almacenamiento del estiércol digerido (%)

Cuando se incluye un almacenamiento hermético a prueba de fugas de gas: FCM_{almacenado} = 0 ; de lo contrario FCM_{almacenado} = valor de FCM para almacenamiento en estado líquido

Nota: Cuando el depósito del estiércol digerido se tapa con un sistema hermético a prueba de fugas de gas, se debe incluir también el gas producido durante el almacenamiento.

CUADRO 4.11
VALORES DE FCM PARA SISTEMAS DE MANEJO DEL ESTIÉRCOL NO ESPECIFICADOS EN LAS DIRECTRICES DEL IPCC (DICTAMEN DEL GRUPO DE EXPERTOS)

Sistemas adicionales	Definición	VALORES DEL FCM POR CLIMA			Observaciones
		Frío	Templado	Cálido	
Ganado vacuno y cerdos Lecho de paja profundo	Las heces y la orina del ganado vacuno se excretan en el suelo del lugar de confinamiento. Los residuos acumulados se retiran tras un período prolongado. <1 mes >1 mes	0 39%	0 45%	30% 72%	Los FCM son similares a los del estado líquido/lechoso, y dependen de la temperatura.
Descomposición orgánica (compostaje) – manejo intensivo	Las heces y la orina se recogen y se colocan en un recipiente o túnel, donde se someten a aireación forzada.	0,5%	0,5%	0,5%	Los FCM son inferiores a la mitad de los del almacenamiento en estado sólido, y no dependen de la temperatura.
Descomposición orgánica (compostaje) – manejo extensivo	Las heces y la orina se recogen, se apilan y se dan vuelta periódicamente para que se aireen.	0,5%	1%	1,5%	Los FCM son ligeramente inferiores a los del almacenamiento en estado sólido. Menor dependencia de la temperatura.
Estiércol de aves de corral con cama	El estiércol se excreta sobre el suelo con cama. Las aves pisan los residuos.	1,5%	1,5%	1,5%	Los FCM son similares a los del almacenamiento en estado sólido, pero con temperaturas cálidas generalmente constantes.
Estiércol de aves de corral sin cama	El estiércol se excreta sobre el suelo sin cama. Las aves no pisan los residuos.	1,5%	1,5%	1,5%	Los FCM son similares a los de las parcelas secas en un clima cálido.
Tratamiento aeróbico	Las heces y la orina se recogen en estado líquido. Los residuos se someten a aireación forzada, o se tratan en sistemas de estanques aeróbicos o pantanos para permitir la nitrificación o desnitrificación.	0,1%	0,1%	0,1%	Los FCM están cercanos al cero. El tratamiento aeróbico produce grandes acumulaciones de fango residual que debe ser retirado y tiene valores elevados de SV. Es importante identificar el proceso siguiente de manejo del fango residual y estimar las emisiones procedentes de dicho proceso, en caso de que sean significativas.

Fuente: Dictamen del Grupo de expertos (véase “Copresidentes, Editores y Expertos; Emisiones de CH₄ procedentes del manejo del estiércol”).

4.3.2 Presentación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información necesaria para preparar las estimaciones del inventario nacional de emisiones, como se describe en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”. Para lograr una mayor transparencia, las estimaciones de las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes deberán declararse junto con los datos de actividad y los factores de emisión utilizados para determinar dichas estimaciones.

Deberá documentarse la siguiente información:

- Todos los datos de actividad, con inclusión de:
 - i) los datos sobre la población animal desglosados por especie o categoría, y por región si corresponde;
 - ii) las condiciones climáticas en las regiones, si corresponde;⁵
 - iii) los datos sobre los sistemas de manejo del estiércol, por especie o categoría de animales y por región, si corresponde.
- La documentación correspondiente a los datos de actividad, con inclusión de:
 - i) las fuentes de todos los datos de actividad usados en los cálculos (es decir, la cita completa de la base de datos estadísticos de la que se extrajeron los datos) y, cuando dichos datos no se hayan obtenido directamente de bases de datos, la información y los supuestos utilizados para determinar los datos de actividad;
 - ii) la frecuencia de la reunión de datos, y estimaciones de su exactitud y precisión
- Si se aplica el método de nivel 1, todos los factores de emisión por defecto usados en la estimación de las emisiones procedentes de la especie o categoría de la población de animales de que se trate.
- Si se utiliza el método de nivel 2:
 - i) los valores de SV y B₀ para todos los tipos de poblaciones de animales incluidos en el inventario, ya se trate de valores específicos de un país o de una región o de valores por defecto del IPCC;
 - ii) los valores del FCM correspondientes a todos los sistemas de manejo del estiércol utilizados, ya sean valores específicos del país o valores por defecto del IPCC.
- La documentación de los factores de emisión, con inclusión de:
 - i) las referencias correspondientes a los factores de emisión utilizados (hayan sido los factores por defecto del IPCC u otros);
 - ii) los fundamentos científicos de dichos factores de emisión y métodos, incluidas las definiciones de los parámetros de entrada y la descripción del proceso que tuvo como resultado esos factores de emisión y métodos, así como una descripción de las fuentes y la magnitud de las incertidumbres (en los inventarios en los que se hayan utilizado factores de emisión específicos de un país o una región, o métodos nuevos distintos de los descritos en las *Directrices del IPCC*).

4.3.3 Garantía de la calidad/control de calidad de los inventarios (GC/CC)

Es una *buena práctica* llevar a cabo controles de calidad, como se describe en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, y hacer revisar por expertos las estimaciones de las emisiones. También puede ser pertinente adoptar medidas adicionales de control de calidad, como se describe en los procedimientos de nivel 2, en el capítulo 8, y aplicar otros procedimientos de garantía de la calidad, sobre todo si se utilizan métodos de niveles más altos para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes. Los procedimientos generales de GC/CC

⁵ P.ej. la temperatura media durante el almacenamiento del estiércol.

vinculados al procesamiento, el manejo y la presentación de los datos que se describen en el capítulo 8 podrían complementarse con los procedimientos que se analizan a continuación:

Examen de los datos de actividad

- El organismo encargado del inventario deberá revisar los métodos de reunión de datos para cerciorarse de que los datos hayan sido correctamente compilados y agregados. Los datos deberán cotejarse con los de años anteriores para comprobar que sean razonables. Los organismos encargados de los inventarios deberán documentar los métodos de reunión de datos, detectar los aspectos en los que podrían producirse sesgos y evaluar la representatividad de los datos.

Revisión de los factores de emisión

- Si se utilizan valores por defecto, el organismo encargado del inventario deberá revisar los valores de los factores de emisión por defecto disponibles y documentar los motivos en los que se basó la elección de los valores utilizados.
- Si se aplica el método de nivel 2 (es decir, si se usan factores de emisión específicos del país desglosados por tipo de animal y sistema de manejo del estiércol para el cálculo de las emisiones), el organismo encargado del inventario deberá cotejar los parámetros específicos del país (p.ej., las tasas de excreción de SV, los valores B_0 y los FCM) con los valores por defecto del IPCC. Toda diferencia significativa que se observe entre los parámetros específicos del país y los parámetros por defecto deberá explicarse y documentarse.
- Si se aplica el método de nivel 1 (utilizando los factores de emisión por defecto del IPCC), el organismo encargado del inventario deberá evaluar hasta qué punto las tasas de excreción de SV y los valores B_0 son representativos de la población animal definida y las características del estiércol correspondientes al país de que se trata.
- Deberán usarse todos los datos específicos del país de que se disponga para verificar los componentes por defecto pertinentes.
- El organismo encargado del inventario deberá revisar el método utilizado para determinar los valores de SV y B_0 específicos del país o de la región, particularmente a la luz de los procedimientos normalizados descritos anteriormente. También deberá revisarse en detalle la descripción de las ecuaciones usadas para estimar los factores de emisión, incluidas las cifras utilizadas en cada cálculo y la fuente de todos los datos obtenidos.

Revisión externa

- Cuando se aplique el método de nivel 2, el organismo encargado del inventario deberá hacer revisar por especialistas en la materia los supuestos utilizados en relación con las prácticas de manejo del estiércol, con la participación de personas que tengan un conocimiento específico de las disciplinas vinculadas a los parámetros utilizados en el cálculo de los factores (como las prácticas de manejo del estiércol y la nutrición animal).
- Si se aplica el método de nivel 2, el organismo encargado del inventario deberá justificar adecuadamente la elección de los factores de emisión específicos del país mediante la presentación de documentación revisada por especialistas en la materia.

4.4 EMISIONES DE N₂O PROCEDENTES DEL MANEJO DEL ESTIÉRCOL

4.4.1 Aspectos metodológicos

En esta sección se estima el óxido nitroso (N₂O) producido durante el almacenamiento y tratamiento del estiércol antes de su depósito en los campos. El término “estiércol” se usa en esta parte del informe de manera colectiva, incluyendo tanto las heces como la orina (es decir, los sólidos y los líquidos) producidos por el ganado. La emisión de N₂O procedente del estiércol durante su almacenamiento y tratamiento depende del contenido de nitrógeno y carbono del estiércol, así como de la duración del almacenamiento y el tipo de tratamiento. La expresión “manejo del estiércol”⁶ se utiliza como denominación colectiva de todas las formas de almacenamiento y tratamiento del estiércol. En este capítulo se describen las *buenas prácticas* en lo relativo a la estimación de las emisiones de N₂O procedentes de los sistemas de manejo del estiércol (SME) por el método establecido en las *Directrices del IPCC*. En el caso de los animales cuyo estiércol no se somete a ningún tipo de manejo (es decir, animales que pastan en praderas o pastizales, que se alimentan con forraje o en potreros, o que se mantienen en corrales cerca de las casas), el estiércol no se almacena ni se trata, sino que se deposita directamente en los campos. Las Directrices del IPCC se refieren a este sistema de “manejo del estiércol” como “praderas y pastizales”. Las emisiones de N₂O generadas por el estiércol en el sistema de “praderas y pastizales” proceden directa o indirectamente del suelo, y por lo tanto deben declararse dentro de la categoría de “suelos agrícolas” del IPCC. Sin embargo, como el método de estimación de las emisiones de N₂O de praderas y pastizales es igual al que se aplica a otros sistemas de manejo del estiércol, se ha decidido analizar el sistema de praderas y pastizales en esta sección del informe de *orientación sobre las buenas prácticas*.

4.4.1.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

De acuerdo con el método previsto en las *Directrices del IPCC* para la estimación de las emisiones de N₂O procedentes del manejo del estiércol, se debe multiplicar el volumen total de excreción de N (de todas las especies o categorías de animales) en cada tipo de sistema de manejo del estiércol, por un factor de emisión correspondiente a ese tipo de manejo. A continuación se suman las emisiones de todos los sistemas de manejo del estiércol. El grado de detalle que se aplique al método de *buenas prácticas* para la estimación de las emisiones de N₂O procedentes de los sistemas de manejo del estiércol dependerá de las circunstancias nacionales. El árbol de decisiones de la figura 4.4, “Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de N₂O procedentes del manejo del estiércol”, describe una *buenas prácticas* para la adaptación de los métodos previstos en las *Directrices del IPCC* a las circunstancias específicas de un país.

Para estimar las emisiones procedentes de los sistemas de manejo del estiércol, en primer lugar se debe dividir la población de animales en especies/categorías que reflejen las distintas cantidades de estiércol producidas por cada animal, así como el sistema de manejo de dicho estiércol. En la sección 4.1 se da información detallada sobre la forma de caracterizar a la población de ganado para esta fuente.

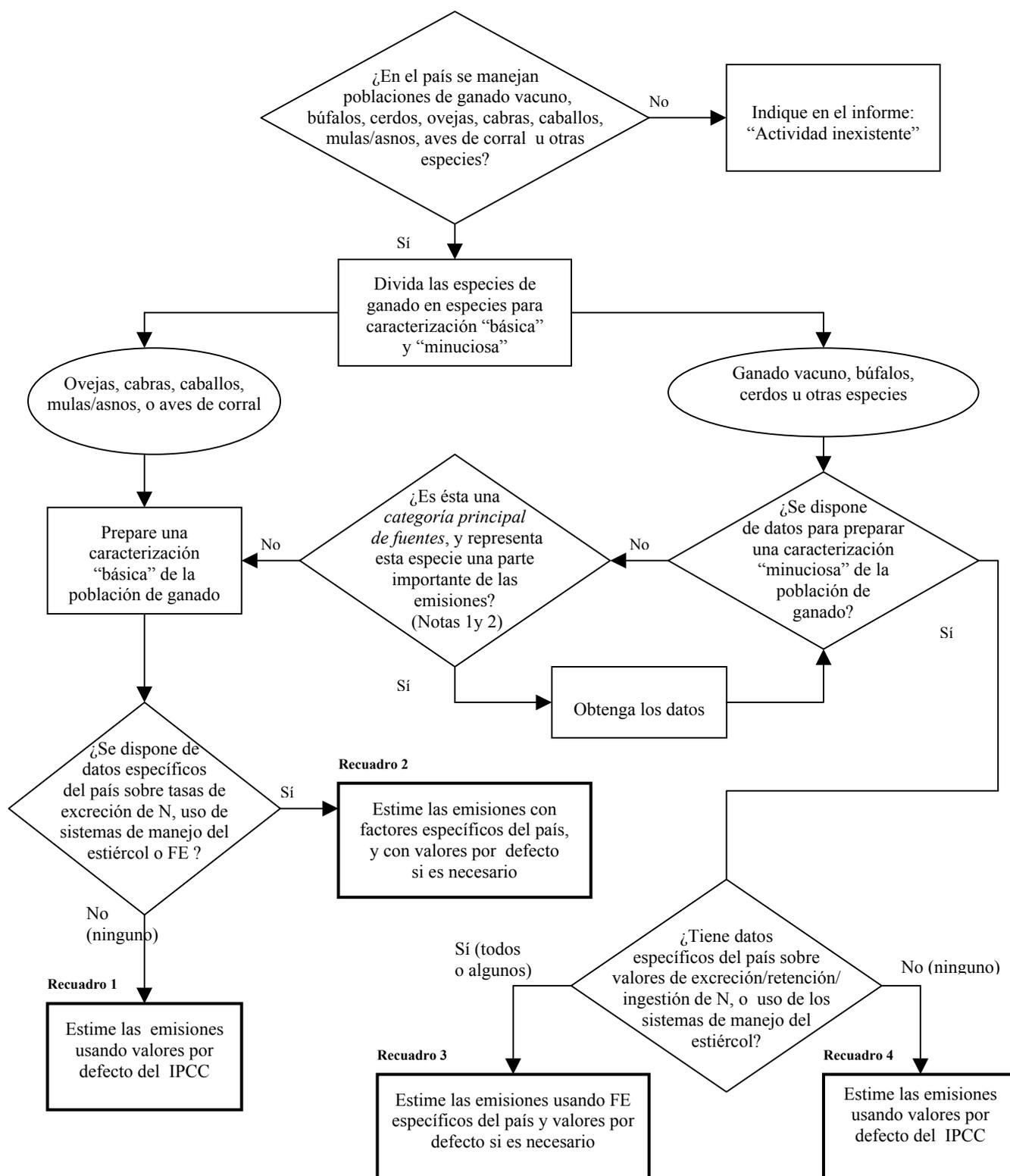
Es necesario seguir los cinco pasos siguientes para estimar las emisiones de N₂O procedentes de los sistemas de manejo del estiércol:

- i) reunir datos sobre la población a partir de la caracterización de la población de ganado;
- ii) determinar la tasa anual media de excreción de nitrógeno por cabeza (N_{ex(T)}) para cada especie o categoría T de ganado que se haya definido;
- iii) determinar la fracción de la excreción anual total correspondiente a cada especie o categoría T de ganado que se maneja en cada sistema S de manejo del estiércol (SM_(T,S));
- iv) determinar los factores de emisión de N₂O para cada sistema S de manejo del estiércol (FE_{3(S)});

⁶ En las Directrices del IPCC se utiliza tanto la expresión “manejo del estiércol” como “manejo de residuos animales” para hacer referencia al estiércol animal que produce óxido nitroso. En el presente informe de orientación se usa la expresión “manejo del estiércol” para mantener la uniformidad con la sección 4.3, “Emisiones de CH₄ procedentes del manejo del estiércol”.

- v) para cada sistema tipo S de manejo del estiércol, multiplicar su factor de emisión ($FE_{3(S)}$) por la cantidad total de excreción de nitrógeno (de todas las especies/categorías de animales) en dicho sistema, a los efectos de estimar las emisiones de N_2O procedentes de ese sistema particular de manejo del estiércol. A continuación sumar las cifras correspondientes a todos los sistemas de manejo del estiércol.

Figura 4.4 Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de N₂O procedentes del manejo del estiércol



Nota 1: Una *categoría principal de fuentes* es una categoría que tiene prioridad en el sistema del inventario nacional porque su estimación influye en gran medida en el inventario total de gases de efecto invernadero directo de un país en lo que se refiere al nivel absoluto de emisiones, la tendencia de las emisiones, o ambas cosas. (Véase la sección 7.2, "Determinación de las principales categorías de fuentes", del capítulo 7, "Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos").

Nota 2: Como regla general, una subcategoría de fuentes es importante cuando representa entre el 25% y el 30% de las emisiones procedentes de la categoría de fuentes.

El cálculo de las emisiones de N₂O procedentes del manejo del estiércol se basa en la siguiente ecuación, de acuerdo con las *Directrices del IPCC*:

ECUACIÓN 4.18

EMISIONES DE N₂O PROCEDENTES DEL MANEJO DEL ESTIÉRCOL

$$(N_2O-N)_{(mm)} = \sum_{(S)} \{ [\sum_{(T)} (N_{(T)} \cdot Nex_{(T)} \cdot SM_{(T,S)})] \cdot FE_{3(S)} \}$$

donde:

$(N_2O-N)_{(mm)}$ = emisiones de N₂O-N procedentes del manejo del estiércol en el país (kg de N₂O-N/año)

$N_{(T)}$ = número de cabezas por especie o categoría T de ganado en el país

$Nex_{(T)}$ = excreción anual media de N por cabeza de cada especie o categoría T en el país (kg de N/animal/año)

$SM_{(T,S)}$ = fracción de la excreción total anual por cada especie o categoría T de ganado incluida en el sistema S de manejo del estiércol en el país

$FE_{3(S)}$ = factor de emisión de N₂O para el sistema S de manejo del estiércol en el país (kg de N₂O-N/kg de N en el sistema S de manejo del estiércol)

S = sistema de manejo del estiércol

T = especie o categoría de ganado

A los efectos del informe, la conversión de las emisiones de $(N_2O-N)_{(mm)}$ en emisiones de $N_2O_{(mm)}$ se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$N_2O_{(mm)} = (N_2O-N)_{(mm)} \cdot 44/28$$

4.4.1.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

La estimación más exacta se obtendrá utilizando factores de emisión específicos del país que estén ampliamente documentados en publicaciones revisadas por especialistas en la materia. Es una *buena práctica* utilizar factores de emisión específicos del país que reflejen la duración real del almacenamiento y el tipo de tratamiento a que se somete el estiércol animal en cada sistema de manejo empleado. Asimismo, una *buena práctica* para la obtención de factores de emisión específicos del país consiste en medir las emisiones (por unidad de N en el estiércol) procedentes de distintos sistemas de manejo, teniendo en cuenta las variaciones en la duración del almacenamiento y en los tipos de tratamiento. Al definir los tipos de tratamiento se deben tener en cuenta condiciones tales como la aireación y la temperatura. Si el organismo encargado del inventario utiliza factores de emisión específicos del país, se le exhorta a justificar la elección de esos valores con documentación revisada por especialistas en la materia. Cuando no se disponga de factores de emisión apropiados que sean específicos del país, se exhorta al organismo encargado del inventario a que utilice los factores de emisión por defecto. En el cuadro 4.12, “Factores de emisión por defecto del N₂O procedente del manejo del estiércol”, y en el cuadro 4.13, “Factores de emisión por defecto del N₂O procedente de sistemas de manejo del estiércol no especificados en las *Directrices del IPCC*”, se indican los factores de emisión que recomienda aplicar el IPCC como cuestión de *buena práctica*. Dichos cuadros contienen factores de emisión por defecto, así como descripciones de la forma de manejo del estiércol de algunos sistemas que no están incluidos en el cuadro 4-22 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC*.

CUADRO 4.12
FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO DEL N₂O PROCEDENTE DEL MANEJO DEL ESTIÉRCOL
(LOS SISTEMAS ADICIONALES Y LOS CAMBIOS INTRODUCIDOS EN LAS *DIRECTRICES DEL IPCC*
SE INDICAN EN LETRA CURSIVA)

Sistema	Descripción	FE₃ (kg de N₂O-N/ kg de nitrógeno excretado)	Rangos de incertidumbre de FE₃ [%]
Praderas y pastizales	<i>El ganado deposita el estiércol directamente en el suelo, es decir que no se aplica ningún tipo de manejo.</i>	0,02	-50%/ +100%
Recolección y depósito diarios	<i>Poco o ningún almacenamiento o tratamiento del estiércol antes de su aplicación a los suelos, por lo que se presume que las emisiones durante el almacenamiento y el tratamiento tienen un valor de cero.</i>	0,0	No se aplica
Almacenamiento en estado sólido ^a	Las heces y la orina (con o sin residuos del lecho de paja) se recogen pero se almacenan en masa durante un período prolongado (meses) antes de ser vertidos, con o sin sus residuos líquidos, en un sistema de pozos.	0,02	-50%/ +100%
Manejo en parcelas secas	En climas secos, los animales pueden mantenerse en corrales de engorde no pavimentados, donde el estiércol se deja secar hasta que se retira periódicamente. Una vez recogido, el estiércol puede ser esparcido en los campos.	0,02	-50%/ +100%
Estado líquido/lechoso	Estos sistemas se caracterizan por el almacenamiento combinado de heces y orina en tanques. Para facilitar su manipulación en estado líquido, se puede agregar agua a las heces y la orina.	0,001	-50%/ +100%
Estanques anaeróbicos	Se caracterizan por ser sistemas de descarga de agua que se sirven de ésta para transportar el estiércol a los estanques. El estiércol permanece en el estanque por períodos de 30 a más de 200 días. El agua del estanque puede reciclarse como agua de descarga o destinarse al riego y la fertilización de los campos.	0,001	-50%/ +100%
Pozos abiertos debajo del lugar de confinamiento de los animales	<i>Almacenamiento combinado de heces y orina debajo del lugar de confinamiento de los animales.</i>	0,001	-50%/ +100%
Digestor anaeróbico	<i>Las heces y la orina se digieren anaeróbicamente para producir gas CH₄ con fines energéticos.</i>	0,001	-50%/ +100%
Quema como combustible ^b	Las heces se recogen, se secan en tortas y se queman con fines de calefacción o para cocinar. <i>El N de la orina se deposita en las praderas y pastizales y debe incluirse en esa categoría.</i>	0,007 0,02	-50%/ +100%

^aDeben usarse datos cuantitativos para distinguir si el sistema se considera una forma de almacenamiento en estado sólido o líquido/lechoso. El límite entre seco y líquido puede establecerse en el 20% de contenido de materia seca.

^bLas emisiones vinculadas a la quema de las heces deben declararse dentro de la categoría “quema de combustibles” del IPCC cuando se usan como combustible, y dentro de la categoría “incineración de desechos” del IPCC cuando las heces se queman sin sistemas de recuperación de energía. Las emisiones directas e indirectas de N₂O asociadas a la orina depositada en suelos agrícolas se analizan en las secciones 4.7 y 4.8 respectivamente.

Fuente: *Directrices del IPCC* y Dictamen del Grupo de expertos (véase “Copresidentes, Editores y Expertos; Emisiones de N₂O procedentes del manejo del estiércol”).

CUADRO 4.13			
FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO DEL N₂O PROCEDENTE DE SISTEMAS DE MANEJO DEL ESTIÉRCOL NO ESPECIFICADOS EN LAS DIRECTRICES DEL IPCC (DICTAMEN DEL GRUPO DE EXPERTOS)			
Sistemas adicionales	Definición	FE₃ (kg de N₂O-N/kg de nitrógeno excretado)	Rangos de incertidumbre de FE₃ (%)
Ganado vacuno y cerdos Lecho de paja profundo	Las heces y la orina del ganado vacuno se excretan sobre el suelo del lugar de confinamiento. Los residuos acumulados se retiran tras un período prolongado.		
	<1 mes	0,005	-50%/+100%
	>1 mes	0,02	-50%/+100%
Descomposición orgánica (compostaje) – manejo intensivo	Las heces y la orina se recogen y se colocan en un recipiente o túnel, donde se someten a aireación forzada.	0,02	-50%/+100%
Descomposición orgánica (compostaje) – manejo extensivo	El estiércol y la orina se recogen, se apilan y se dan vuelta periódicamente para que se aireen.	0,02	-50%/+100%
Estiércol de aves de corral con cama	El estiércol se excreta sobre el suelo con cama. Las aves pisan los residuos.	0,02	-50%/+100%
Estiércol de aves de corral sin cama	El estiércol se excreta sobre el suelo sin cama. Las aves no pisan los residuos.	0,005	-50%/+100%
Tratamiento aeróbico	Las heces y la orina se recogen en estado líquido. Los residuos se someten a aireación forzada, o se tratan en sistemas de estanques aeróbicos o pantanos para permitir la nitrificación o desnitrificación.	0,02	-50%/+100%

Fuente: *Directrices del IPCC* y Dictamen del Grupo de expertos (véase “Copresidentes, Editores y Expertos; Emisiones de N₂O procedentes del manejo del estiércol”).

4.4.1.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Existen tres tipos principales de datos de actividad para estimar las emisiones de N₂O procedentes de los sistemas de manejo del estiércol: 1) datos sobre la población de ganado, 2) datos sobre la excreción de nitrógeno correspondientes a cada especie o categoría de animales y 3) datos sobre el uso que se da al sistema de manejo del estiércol.

Datos sobre la población de ganado (N_(T))

Los datos sobre la población de ganado deben obtenerse por el método descrito en la sección relativa a la caracterización de la población de ganado (véase la sección 4.1). Si se utilizan tasas de excreción de nitrógeno por defecto para estimar las emisiones de N₂O procedentes de los sistemas de manejo del estiércol, bastará con realizar una caracterización “básica” de la población de ganado. Para estimar las emisiones de N₂O procedentes del manejo del estiércol mediante el uso de tasas calculadas de excreción de nitrógeno, será necesario hacer una caracterización “minuciosa”. Como se señaló en la sección 4.1, una *buena práctica* a los efectos de caracterizar a las poblaciones de ganado consiste en realizar una caracterización única que suministre los datos de actividad correspondientes a todas las fuentes de emisiones que dependan de los datos relativos a la población de ganado.

Tasas anuales medias de excreción de nitrógeno (N_{ex(T)})

Deberán determinarse las tasas anuales exactas de excreción de nitrógeno de cada especie o categoría de animales definida en la caracterización de la población de ganado. Las tasas específicas del país podrán extraerse directamente de documentos o informes como los de la industria agrícola y la bibliografía científica, o de informaciones sobre la ingestión y la retención de nitrógeno por los animales (como se explica a continuación). En algunas situaciones puede ser apropiado utilizar tasas de excreción determinadas por otros países con ganado

de similares características. Si no es posible reunir o deducir datos específicos del país, o no es posible conseguir datos apropiados de otro país, se deberán usar las tasas de excreción por defecto del IPCC (véase el cuadro 4-20 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC*). A los efectos de adaptar los valores para los animales jóvenes, es una *buena práctica* multiplicar las tasas de excreción de N que figuran en el cuadro 4-20, por los factores de ajuste por defecto que se indican en el cuadro 4.14, “Factores de ajuste por defecto para el cuadro 4-20 de las *Directrices del IPCC*”. Al estimar el valor $N_{ex(T)}$ para aquellos animales cuyo estiércol se clasifica dentro del sistema de manejo del estiércol denominado *quema para combustible* (cuadro 4.12, “Factores de emisión por defecto del N_2O procedente del manejo del estiércol”), deberá tenerse presente que las heces se queman y la orina permanece en los campos. Como regla general, el 50% del nitrógeno excretado se encuentra en las heces y el 50% en la orina. Por lo tanto, estas proporciones de $N_{ex(T)}$ deberán multiplicarse por los factores de emisión correspondientes que figuran en el cuadro 4.12 para obtener las emisiones de N_2O-N procedentes de estas subcategorías de fuentes. Si las heces quemadas se utilizan como combustible, las emisiones deberán declararse dentro de la categoría *quema de combustibles* del IPCC, mientras que si la quema se realiza sin sistemas de recuperación de energía, las emisiones deberán declararse dentro de la categoría *incineración de desechos* del IPCC.

CUADRO 4.14		
FACTORES DE AJUSTE POR DEFECTO PARA EL CUADRO 4-20 DE LAS <i>DIRECTRICES DEL IPCC</i> (MANUAL DE REFERENCIA), PARA LA ESTIMACIÓN DE LAS TASAS DE EXCRECIÓN DE N EN ANIMALES JÓVENES ^a		
Especie/categoría de animales	Rango de edad (años)	Factor de ajuste
Ganado vacuno no lechero	0 - 1	0,3
Ganado vacuno no lechero	1 - 2	0,6
Ganado lechero	0 - 1	0,3
Ganado lechero	1 - 2	0,6
Aves de corral	0 - 0,25	0,5
Ganado ovino	0 - 1	0,5
Cerdos	0 - 0,5	0,5

^a El factor de ajuste es 1 cuando la edad de los animales supera el rango de edades indicado.

Nota: No se incluyen factores de ajuste para la categoría denominada *Otros animales* en el cuadro 4-20 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC*.

Fuente: Dictamen del Grupo de expertos (véase “Copresidentes, Editores y Expertos; Emisiones de N_2O procedentes del manejo del estiércol”).

La cantidad anual de N excretada por cada especie o categoría de animales depende de la ingestión total anual de N y la retención total anual de N del animal. Por lo tanto, las tasas de excreción de N pueden obtenerse a partir de los datos sobre la ingestión y la retención de N. La ingestión anual de N (es decir, la cantidad de N consumida por el animal anualmente) depende de la cantidad de alimento que el animal digiera, y del contenido de proteínas de dicho alimento. La ingestión total de alimentos depende del nivel de producción del animal (p.ej., tasa de crecimiento, producción de leche, potencia de tiro). La retención anual de N (es decir, la fracción de N ingerido que el animal retiene para la producción de carne, leche y lana) constituye una medida de la eficiencia del animal para producir proteína animal a partir de las proteínas de los alimentos. Para obtener datos sobre la ingestión y la retención de nitrógeno en determinadas especies/categorías de animales se puede recurrir a las estadísticas nacionales o a especialistas en nutrición animal. La ingestión de nitrógeno también puede calcularse sobre la base de los datos relativos a la ingestión de alimentos y proteína cruda que se mencionan en la sección relativa a la caracterización de la población de ganado (véase la sección 4.1). Los valores de retención de N por defecto se indican en el cuadro 4.15, “Valores por defecto de la fracción de nitrógeno presente en los alimentos ingeridos por los animales y retenida por las distintas especies/categorías de animales”. Las tasas de excreción anual de N correspondientes a cada especie o categoría de animales ($N_{ex(T)}$) se calculan de la siguiente manera:

<p>ECUACIÓN 4.19</p> <p>TASAS ANUALES DE EXCRECIÓN DE N</p> $N_{ex(T)} = N_{ingestión(T)} \cdot (1 - N_{retención(T)})$

donde:

$(N_{ex(T)})$ = tasas de excreción anual de N, en kg de N/animal-año

$N_{ingestión(T)}$ = ingestión anual de N por cabeza de cada especie o categoría T de animales, en kg de N/animal-año

$N_{retención(T)}$ = fracción de la ingestión anual de N que retiene la especie o categoría T de animales, en kg de N retenido/animal/año por kg de N ingerido/animal/año.

Cabe señalar que los datos de excreción anual de nitrógeno también se utilizan para el cálculo de las emisiones directas e indirectas de N_2O procedentes de los suelos agrícolas (véanse las secciones 4.7 y 4.8). Las mismas tasas de excreción de N y los mismos métodos de cálculo utilizados para estimar las emisiones de N_2O procedentes del manejo del estiércol deberán aplicarse para estimar las emisiones de N_2O procedentes de los suelos agrícolas.

Datos sobre el uso de los sistemas de manejo del estiércol ($SM_{(T,S)}$)

Los datos sobre el uso de los sistemas de manejo del estiércol que se empleen para estimar las emisiones de N_2O procedentes de dicho manejo deberán ser los mismos que los utilizados para estimar las emisiones de CH_4 procedentes del manejo del estiércol (véase la sección 4.3). Si no se dispone de datos específicos del país sobre el uso dado a los sistemas de manejo del estiércol, se podrán utilizar los valores por defecto establecidos en las *Directrices del IPCC*. Los valores por defecto del IPCC para el ganado vacuno lechero y no lechero, los búfalos y los cerdos deberán extraerse de los cuadros B-3 a B-6 del apéndice B de la sección 4.2 (ganado) del capítulo sobre Agricultura del Manual de Referencia. Los valores por defecto del IPCC para todas las demás especies/categorías de animales deberán extraerse del cuadro 4-21 del capítulo sobre Agricultura del Manual de Referencia.

CUADRO 4.15		
VALORES POR DEFECTO DE LA FRACCIÓN DE NITRÓGENO PRESENTE EN LOS ALIMENTOS INGERIDOS POR LOS ANIMALES Y RETENIDA POR LAS DISTINTAS ESPECIES/CATEGORÍAS DE ANIMALES (FRACCIÓN DEL N INGERIDO QUE RETIENE EL ANIMAL)		
Categoría de animales	$N_{retención(T)}$ (kg de N retenido/animal/año por kg de N ingerido/animal/año)	Rango de incertidumbre [%]
Ganado vacuno lechero	0,2	+/-50
Ganado vacuno no lechero	0,07	+/-50
Búfalos	0,07	+/-50
Ovejas	0,1	+/-50
Cabras	0,1	+/-50
Camellos	0,07	+/-50
Cerdos	0,3	+/-50
Caballos	0,07	+/-50
Aves de corral	0,3	+/-50

Fuente: Dictamen del Grupo de expertos (véase “Copresidentes, Editores y Expertos; emisiones de N_2O procedentes del manejo del estiércol”).

4.4.1.4 EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Factores de emisión

Existen grandes incertidumbres con respecto a los factores de emisión por defecto de esta categoría de fuentes (véanse los cuadros 4.12 y 4.13). La obtención de mediciones exactas y bien diseñadas sobre la base de tipos de estiércol y sistemas de manejo del estiércol claramente definidos puede contribuir a reducir esas incertidumbres.

Tales mediciones deben dar cuenta de la temperatura, las condiciones de humedad, la aireación, el contenido de N del estiércol, el carbono metabolizable, la duración del almacenamiento y otros aspectos del tratamiento.

Datos de actividad – Poblaciones de ganado

Véase la sección 4.1- “Caracterización de la población de ganado”.

Datos de actividad – Tasas de excreción de nitrógeno

Los rangos de incertidumbre en las tasas de excreción de N por defecto (véase el cuadro 4-20 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC*), que no se indican en las *Directrices del IPCC*, se estiman en aproximadamente $\pm 50\%$ (fuente: Dictamen del Grupo de expertos. Véase “Copresidentes, Editores y Expertos; Emisiones de N_2O procedentes del manejo del estiércol”). Los rangos de incertidumbre en los valores de retención de N por defecto que se indican en el presente informe también son de $\pm 50\%$ (véase el cuadro 4.15). Si los organismos encargados de los inventarios calculan las tasas de excreción de N a partir de estadísticas nacionales exactas sobre la ingestión y la retención de N, las incertidumbres vinculadas a las tasas de excreción de N pueden reducirse a $\pm 25\%$.

Datos de actividad – Forma de uso de los sistemas de manejo del estiércol

En algunos países, las incertidumbres vinculadas a los datos sobre la forma de uso de los sistemas de manejo del estiércol son considerables. Si bien se ha establecido un sistema de clasificación bien definido (véanse los cuadros 4.12 y 4.13), muchos organismos encargados de los inventarios solamente tienen, en el mejor de los casos, unos pocos datos cuantitativos sobre las cantidades de estiércol que se manejan mediante los diferentes sistemas, aparte de los consignados en el cuadro 4-21 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC*.

4.4.1.5 EXHAUSTIVIDAD

Un inventario completo debe incluir estimaciones de las emisiones de N_2O procedentes de todos los sistemas de manejo del estiércol de todas las especies/categorías de ganado. Se exhorta a los países a utilizar definiciones del manejo del estiércol que sean congruentes con las que figuran en los cuadros 4.12 y 4.13. Para más información con respecto a la exhaustividad de la caracterización del ganado, véase la sección 4.1.

4.4.1.6 DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

La determinación de una serie temporal coherente de estimaciones de las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes requiere, como mínimo, la recopilación de una serie histórica de estadísticas sobre la población pecuaria que tenga coherencia interna. En la sección 4.1 se brinda orientación sobre la forma de establecer dicha serie temporal. En la mayoría de los países, los otros dos conjuntos de datos necesarios para esta categoría de fuentes (es decir, las tasas de excreción de N y los datos sobre el uso de los sistemas de manejo del estiércol), así como los factores de emisión correspondientes a los sistemas de manejo del estiércol, se mantendrán constantes a lo largo de toda la serie temporal. Sin embargo, en algunos casos puede haber motivos para modificar esos valores en el transcurso del tiempo. Por ejemplo, los productores agropecuarios pueden alterar sus prácticas de alimentación del ganado, o todo el sector pecuario puede experimentar un cambio que determine que una fracción mayor del estiércol de una determinada especie o categoría de ganado se maneje en sistemas húmedos en lugar de sistemas secos, o un sistema particular de manejo del estiércol puede variar de tal forma que se justifique modificar el factor de emisión. Estos cambios en las prácticas pueden deberse a la aplicación de medidas expresas de mitigación de los gases de efecto invernadero, o a variaciones en las prácticas agrícolas que no guarden relación con dichos gases. Cualquiera sea el motivo del cambio, los datos y los factores de emisión que se utilicen para estimar las emisiones deben reflejar el cambio, y los datos, métodos y resultados deben documentarse rigurosamente. Si los datos de actividad a lo largo de una serie temporal se ven afectados por un cambio en las prácticas agrícolas o por la aplicación de medidas de mitigación de los gases de efecto invernadero (p.ej., si las tasas anuales de excreción de N disminuyen como consecuencia de la aplicación de medidas de política destinadas a reducir las emisiones de N_2O mediante la reducción de la ingestión anual de N), se exhorta al organismo encargado del inventario a asegurarse de que los datos de actividad reflejen dichas prácticas, y que en el texto del inventario se explique detalladamente de qué manera el cambio en las prácticas agrícolas o la aplicación de medidas de mitigación ha afectado la serie temporal de los datos de actividad o los factores de emisión.

4.4.2 Presentación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información necesaria para preparar las estimaciones del inventario nacional de emisiones, como se describe en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”. Cuando se utilicen factores de emisión, tasas de excreción de N o datos sobre el uso de los sistemas de manejo del estiércol específicos de un país, el origen o las referencias de dichos datos deberán documentarse claramente y consignarse junto con los resultados del inventario dentro de la categoría de fuentes del IPCC que corresponda.

Las emisiones de N₂O procedentes de distintos tipos de sistemas de manejo del estiércol deben consignarse en los informes con arreglo a las *Directrices del IPCC*. De acuerdo con dichas *Directrices*, las emisiones de N₂O procedentes de todos los tipos de sistemas de manejo del estiércol deben declararse bajo el rubro de manejo del estiércol, con dos excepciones:

- Las emisiones procedentes del manejo del estiércol en *praderas y pastizales* deben consignarse dentro de la categoría de fuentes *suelos agrícolas* del IPCC, debido a que el ganado deposita el estiércol directamente en los suelos.
- Las emisiones procedentes del sistema de manejo del estiércol denominado *quema como combustible* deben declararse dentro de la categoría *quema de combustibles* del IPCC cuando las heces se utilizan como combustible, y dentro de la categoría *incineración de desechos* cuando se queman sin sistemas de recuperación de energía. No obstante, cabe señalar que si el nitrógeno de la orina no se recoge para su quema, debe declararse como parte de las emisiones de N₂O procedentes de los animales alimentados en *praderas y pastizales*.

Debe tenerse presente que, una vez almacenado o tratado por cualquier sistema de manejo, prácticamente todo el estiércol será aplicado a la tierra. Las emisiones que se produzcan posteriormente como consecuencia de la aplicación del estiércol al suelo deberán declararse bajo el rubro *suelos agrícolas*. Los métodos de estimación de dichas emisiones se analizan en las secciones 4.7 y 4.8.

4.4.3 Garantía de la calidad/control de calidad de los inventarios (GC/CC)

Es una *buena práctica* llevar a cabo controles de calidad, como se describe en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, y someter las estimaciones sobre las emisiones al examen de expertos. También puede ser pertinente adoptar medidas adicionales de control de calidad, como se describe en los procedimientos de nivel 2, en el capítulo 8, y aplicar otros procedimientos de garantía de la calidad, sobre todo si se utilizan métodos de niveles más altos para determinar las emisiones procedentes de esta fuente. Los procedimientos generales de GC/CC vinculados al procesamiento, el manejo y la presentación de los datos que se describen en el capítulo 8 podrían complementarse con los procedimientos que se analizan a continuación:

Revisión de los factores de emisión

- Si se utilizan factores de emisión específicos del país, el organismo encargado del inventario deberá compararlos con los factores por defecto y señalar cualquier diferencia que se detecte. Se deberá explicar y documentar el proceso de obtención de los factores de emisión específicos del país, y se exhorta a los organismos encargados de los inventarios a asegurarse de que se apliquen los métodos recomendados por las buenas prácticas y de que los resultados sean revisados por especialistas en la materia.

Examen de los datos de actividad

- Si se utilizan datos específicos del país con respecto a los valores de $N_{ex(T)}$ y $SM_{(T,S)}$, el organismo encargado del inventario deberá compararlos con los valores por defecto del IPCC. Deberá documentarse cualquier diferencia significativa que se detecte, así como las fuentes de los datos y los métodos empleados para obtenerlos.

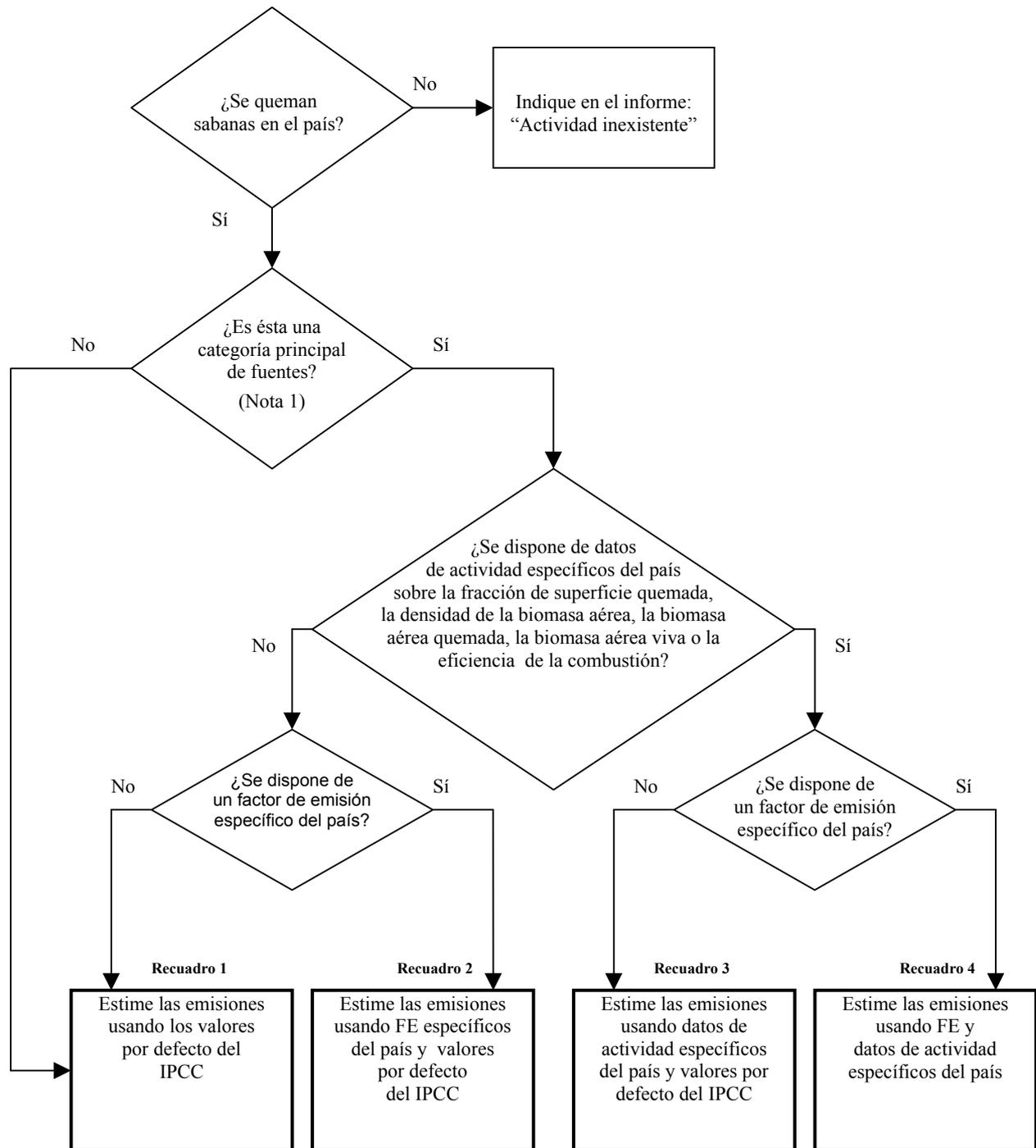
Revisión externa

- El organismo encargado del inventario deberá recurrir a especialistas en manejo del estiércol, nutrición animal y emisiones de gases de efecto invernadero para llevar a cabo un examen especializado de los métodos y datos utilizados.

4.5 EMISIONES DE CH₄ Y N₂O PROCEDENTES DE LA QUEMA DE SABANAS

Actualmente, la *buena práctica* en lo que respecta a esta categoría de fuentes consiste en aplicar las *Directrices del IPCC* siguiendo el criterio propuesto en el árbol de decisiones de la figura 4.5, “Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH₄ y N₂O procedentes de la quema de sabanas”. Como se indica en el apéndice 4A.1, al final del presente capítulo, existe la posibilidad de afinar aún más este método. En dicho apéndice se describen algunos detalles de un procedimiento que podría permitir modificar la metodología en el futuro. En el momento actual, la escasez de datos y la magnitud de las incertidumbres en muchos de los parámetros básicos no justifican adoptar el material analizado en el apéndice 4A.1 como una *buena práctica*.

Figura 4.5 Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH₄ y N₂O procedentes de la quema de sabanas

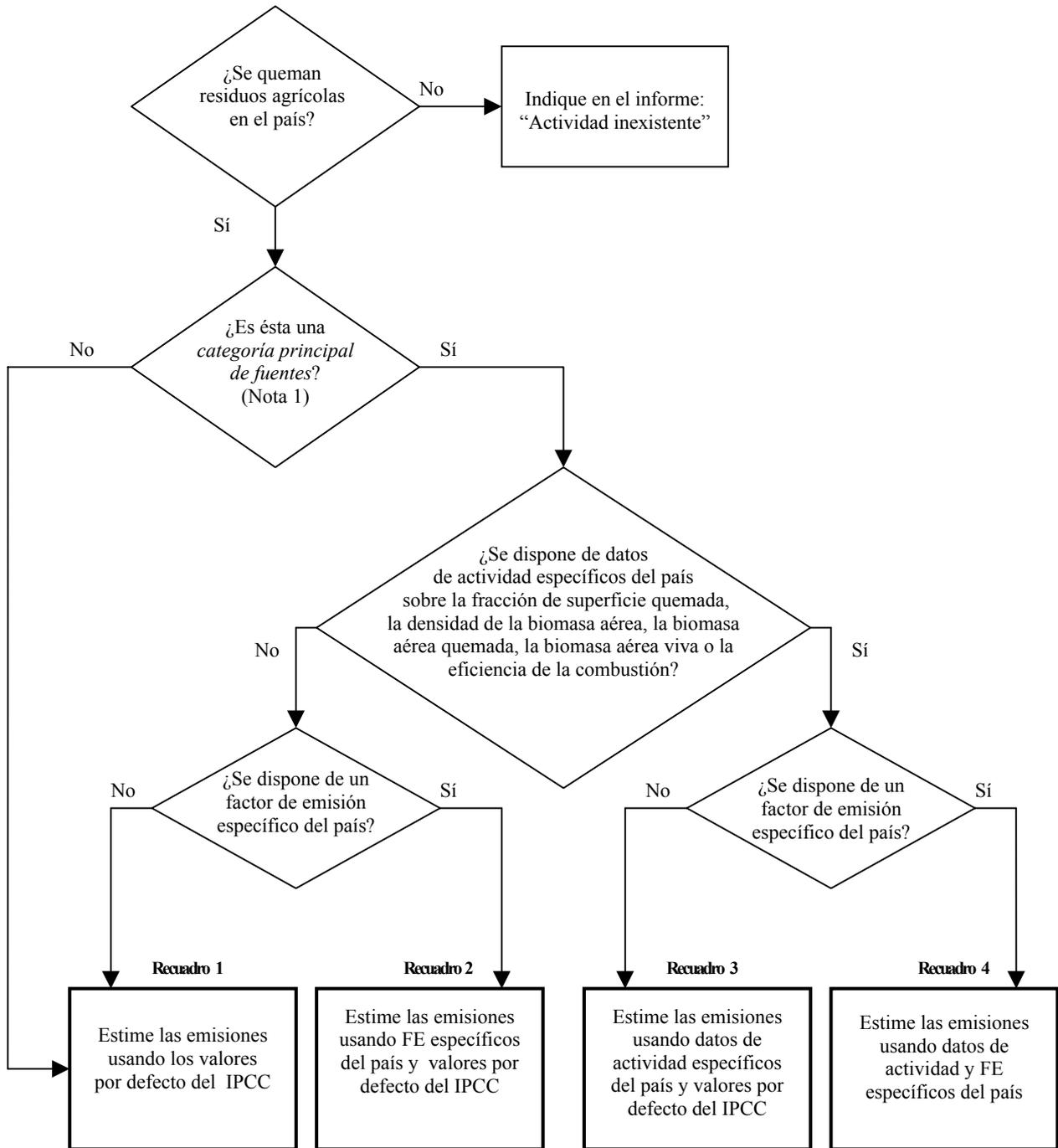


Nota 1: Una *categoría principal de fuentes* es una categoría que tiene prioridad en el sistema del inventario nacional porque su estimación influye en gran medida en el inventario total de gases de efecto invernadero directo de un país en lo que se refiere al nivel absoluto de emisiones, la tendencia de las emisiones, o ambas cosas. (Véase la sección 7.2, “Determinación de las principales categorías de fuentes”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”).

4.6 EMISIONES DE CH₄ Y N₂O PROCEDENTES DE LA QUEMA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS

Actualmente, la *buena práctica* en lo que respecta a esta categoría de fuentes consiste en aplicar las *Directrices del IPCC* siguiendo el criterio propuesto en el árbol de decisiones de la figura 4.6, “Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH₄ y N₂O procedentes de la quema de residuos agrícolas”. Como se indica en el apéndice 4A.2, al final del presente capítulo, existe la posibilidad de afinar aún más este método. En dicho apéndice se describen algunos detalles de un procedimiento que podría permitir modificar la metodología en el futuro. En el momento actual, la escasez de datos y la magnitud de las incertidumbres en muchos de los parámetros básicos no justifican adoptar el material analizado en el apéndice 4A.2 como una *buena práctica*.

Figura 4.6 Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH₄ y N₂O procedentes de la quema de residuos agrícolas



Nota 1: Una *categoría principal de fuentes* es una categoría que tiene prioridad en el sistema del inventario nacional porque su estimación influye en gran medida en el inventario total de gases de efecto invernadero directo de un país en lo que se refiere al nivel absoluto de emisiones, la tendencia de las emisiones, o ambas cosas. (Véase la sección 7.2, “Determinación de las principales categorías de fuentes”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de

4.7 EMISIONES DIRECTAS DE N₂O PROCEDENTES DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS

4.7.1 Aspectos metodológicos

El óxido nitroso (N₂O) se produce en forma natural en los suelos mediante los procesos microbianos de nitrificación y desnitrificación. Algunas actividades agrícolas aportan nitrógeno a los suelos, aumentando la cantidad de nitrógeno (N) disponible para la nitrificación y desnitrificación y, en definitiva, la cantidad de N₂O emitido. Las emisiones de N₂O resultantes de los aportes antropogénicos de N se producen tanto por vía directa (es decir, directamente de los suelos a los que se incorpora N), como por dos vías indirectas (es decir, mediante la volatilización como NH₃ y NO_x y posterior deposición, y mediante lixiviación y escorrentía). En las *Directrices del IPCC*, las emisiones directas e indirectas de N₂O procedentes de los suelos agrícolas se estiman en forma separada.

El método previsto en las *Directrices del IPCC* para estimar las emisiones directas de N₂O procedentes de los suelos agrícolas consta de dos partes: i) la estimación de las emisiones directas de N₂O resultantes de los aportes de N a los suelos (excluidos los aportes de N de animales en praderas y pastizales) y ii) la estimación de las emisiones directas de N₂O procedentes del estiércol animal no sometido a ningún tipo de manejo (es decir, el estiércol depositado por los animales en praderas y pastizales)⁷. En la presente sección se analiza la primera parte de este método. La segunda parte, es decir, la estimación de las emisiones directas de N₂O procedentes del estiércol depositado en praderas y pastizales, se analiza en la sección 4.4, “Emisiones de N₂O procedentes del manejo del estiércol”⁸. Sin embargo, debe señalarse que las emisiones directas de N₂O procedentes del estiércol depositado en praderas y pastizales deben declararse dentro de la categoría de suelos agrícolas.

4.7.1.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

El método que se describe en las *Directrices del IPCC* para la estimación de las emisiones directas de N₂O procedentes de los suelos agrícolas debido a la aplicación de N y a otras prácticas de cultivo refleja los aportes de nitrógeno antropogénico (N) resultantes del uso de fertilizantes sintéticos (F_{SN}) y estiércol animal (F_{EA}), el cultivo de variedades fijadoras de N (F_{NB}), la incorporación de residuos de las cosechas a los suelos (F_{RC}) y la mineralización del nitrógeno del suelo debido al cultivo de suelos orgánicos⁹ (es decir, histosoles) (F_{SO})¹⁰. Dado que las *Directrices del IPCC* tratan las emisiones indirectas y directas en forma separada, la porción de N en los fertilizantes sintéticos y estiércol animal que se volatiliza luego de ser aplicado, se resta de las cantidades aplicadas, y el N₂O que se emite finalmente a partir de ese N volatilizado se incluye como parte de las emisiones indirectas (véase la sección 4.8).

Los términos nivel 1a y nivel 1b se utilizan a lo largo de todo el informe de *Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero (Informe sobre las buenas prácticas)*, secciones 4.7 y 4.8, para distinguir entre las ecuaciones previstas en las *Directrices del IPCC* (nivel 1a) y las nuevas ecuaciones (nivel 1b) que se presentan en este documento. Las ecuaciones de nivel 1b tienen una mayor exactitud debido a la ampliación de los términos de las ecuaciones. No

⁷ Al igual que en la sección 4.4, el término “estiércol” se usa en esta parte del informe de manera colectiva, incluyendo tanto las heces como la orina.

⁸ Aun cuando el estiércol animal depositado en praderas y pastizales no se someta a ningún tipo de manejo, se examina en la sección 4.4, ya que el método de estimación de las emisiones procedentes del estiércol depositado en praderas y pastizales es el mismo que se utiliza para estimar las emisiones procedentes de los sistemas de manejo del estiércol.

⁹ Los suelos orgánicos son suelos que se describen como Histosoles, que a su vez se definen como aquellos suelos orgánicos que contienen material de suelo orgánico en más de la mitad de la capa superior de 80 cm de espesor, o que están formados por una capa superior rocosa o de material fragmentado de cualquier espesor que tenga intersticios rellenos de material de suelo orgánico”. Por material de suelo orgánico se entienden los materiales de suelo que están saturados de agua y contienen 174 g kg⁻¹ o más de carbono orgánico cuando la fracción mineral tiene 500 g kg⁻¹ o más de arcilla, o 116 g kg⁻¹ de carbono orgánico cuando la fracción mineral no tiene arcilla, o muestran un contenido intermedio proporcional, o, si no habiéndose saturado nunca de agua, contienen 203 g kg⁻¹ o más de carbono orgánico (SSSA, 1996).

¹⁰ Los histosoles son suelos que contienen una capa superficial rica en material orgánico, de un espesor de por lo menos 40 cm, con un mínimo de 20% de materia orgánica cuando el contenido de arcilla es bajo, y un mínimo de 30% de materia orgánica cuando el contenido de arcilla supera el 50%.

obstante, si bien pueden preferirse las ecuaciones de nivel 1b, es posible que no se disponga de los datos de actividad necesarios para aplicarlas. En esos casos conviene utilizar las ecuaciones de nivel 1a. También es aceptable estimar las emisiones utilizando una combinación de las ecuaciones de nivel 1a y 1b para diferentes subcategorías de fuentes, dependiendo de la disponibilidad de datos de actividad. En algunos casos, la alternativa de nivel 1b no existe porque no se ha considerado necesario perfeccionar la ecuación prevista en las *Directrices del IPCC*.

En la figura 4.7, “Árbol de decisiones aplicable a las emisiones directas de N₂O procedentes de los suelos agrícolas”, se describe una *buena práctica* para adaptar los métodos previstos en las *Directrices del IPCC* a las circunstancias específicas de un país. El árbol de decisiones describe la forma de seleccionar el método de estimación. Tanto el nivel 1a como el 1b son compatibles con las *buenas prácticas*, siempre y cuando los factores de emisión y los datos de actividad se determinen con arreglo a las pautas que se indican a continuación.

En su forma más elemental, las emisiones directas de N₂O procedentes de los suelos agrícolas se estiman de la siguiente manera:

ECUACIÓN 4.20

EMISIONES DIRECTAS DE N₂O PROCEDENTES DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS (NIVEL 1a)

$$N_2O_{\text{Directo-N}} = [(F_{SN} + F_{EA} + F_{NB} + F_{RC}) \cdot FE_1] + (F_{SO} \cdot FE_2)$$

donde:

$N_2O_{\text{directo-N}}$ = emisión de N₂O en unidades de nitrógeno

F_{SN} = cantidad anual de nitrógeno en los fertilizantes sintéticos aplicados a los suelos, ajustada para dar cuenta del volumen que se volatiliza como NH₃ y NO_x

F_{EA} = cantidad anual de nitrógeno en el estiércol animal aplicado intencionalmente a los suelos, ajustada para dar cuenta del volumen que se volatiliza como NH₃ y NO_x

F_{NB} = cantidad de nitrógeno fijado por las variedades fijadoras de N que se cultivan anualmente

F_{RC} = cantidad de nitrógeno en residuos de cosechas que se reintegran anualmente a los suelos

F_{SO} = superficie de suelos orgánicos que se cultiva anualmente

FE_1 = factor de emisión correspondiente a las emisiones procedentes de aportes de N (kg de N₂O-N/kg aporte de N)

FE_2 = factor de emisión correspondiente a las emisiones procedentes del cultivo de suelos orgánicos (kg de N₂O-N/há-año)

A los efectos del informe, la conversión de las emisiones de N₂O-N en emisiones de N₂O se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$N_2O = N_2O-N \cdot 44/28$$

Se considera que el uso de la ecuación 4.20 es de nivel 1a. Si un país dispone de factores de emisión más detallados, se puede llevar a cabo un desglose mayor de los términos de la ecuación, como puede verse en la ecuación 4.21, que es de nivel 1b. Por ejemplo, si se dispone de factores de emisión relativos a la aplicación de fertilizantes sintéticos y estiércol animal (F_{SN} y F_{EA}) en distintas condiciones i , la ecuación 4.20 puede ampliarse de la siguiente manera:

ECUACIÓN 4.21

EMISIONES DIRECTAS DE N₂O PROCEDENTES DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS (NIVEL 1b)

$$N_2O_{\text{Directo-N}} = \sum_i \{[(F_{SN} + F_{EA})_i \cdot FE_i] + [(F_{NB} + F_{RC}) \cdot FE_1] + [F_{SO} \cdot FE_2]\}$$

donde:

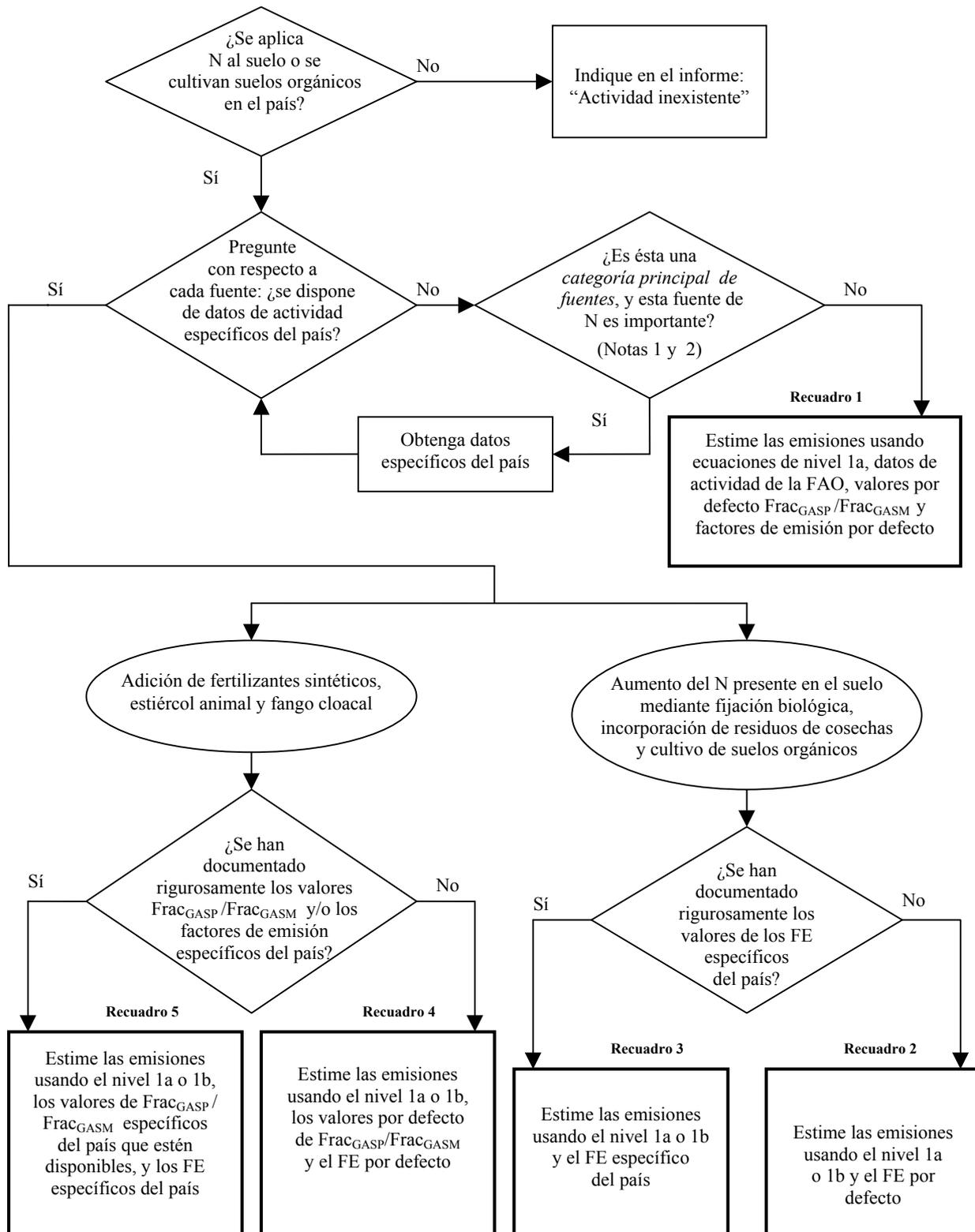
FE_i = factores de emisión calculados para las emisiones de N₂O procedentes de la aplicación de fertilizantes sintéticos y estiércol animal en distintas condiciones i .

A los efectos del informe, la conversión de las emisiones de N₂O-N en emisiones de N₂O se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$N_2O = N_2O-N \cdot 44/28$$

El método de nivel 1a también puede ampliarse para incluir otras formas de N aplicadas a todas las clases de suelos. Por ejemplo, el fango cloacal, que es otra forma de N orgánico, a menudo se aplica a los suelos para modificarlos o como forma de eliminar el fango. El nitrógeno presente en el fango cloacal (N_{FANGOCLO}) puede incluirse en este cálculo si se dispone de suficiente información. El aporte de fango cloacal debe medirse en unidades de N y multiplicarse por FE₁ (es decir que, en la ecuación 4.20, N_{FANGOCLO} se incluiría en el primer grupo de paréntesis, mientras que en la ecuación 4.21 se incluiría en el segundo).

Figura 4.7 Árbol de decisiones aplicable a las emisiones directas de N₂O procedentes de los suelos agrícolas



Nota 1: Una *categoría principal de fuentes* es una categoría que tiene prioridad en el sistema del inventario nacional porque su estimación influye en gran medida en el inventario total de gases de efecto invernadero directo de un país en lo que se refiere al nivel absoluto de emisiones, la tendencia de las emisiones, o ambas cosas. (Véase la sección 7.2, “Determinación de las principales categorías de fuentes”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”).

Nota 2: Como regla general, una subcategoría de fuentes es importante cuando representa entre el 25% y el 30% de las emisiones procedentes de la categoría de fuentes.

Debe tomarse en cuenta que para el nuevo parámetro N_{FANGOCLO} no se dispone de datos por defecto ni de orientación en cuanto a la forma de obtenerlos. Por lo tanto, este valor sólo deberá utilizarse si se dispone de datos específicos del país que sean fiables. Los datos de actividad sobre el fango cloacal que se usen para estimar las emisiones directas de N_2O deberán ser los mismos que los utilizados para estimar las emisiones indirectas de N_2O (véase la sección 4.8, “Emisiones indirectas de N_2O procedentes del nitrógeno utilizado en la agricultura”).

Para poder aplicar las ecuaciones 4.20 o 4.21 es necesario estimar las cantidades de los distintos aportes de N (F_{SN} , F_{EA} , F_{NB} , F_{RC} , F_{SO}). En las *Directrices del IPCC* se describen los métodos para realizar dichos cálculos. En algunos casos, se sugiere introducir determinados ajustes en esos métodos como una *buena práctica* para corregir errores, garantizar la coherencia entre esta categoría de fuentes y otras categorías de fuentes agrícolas e incorporar la nueva información que ha surgido con posterioridad a la publicación de las *Directrices del IPCC*. Además, con respecto a algunos aportes de N, se proponen ecuaciones detalladas que muestran la forma de aplicar los métodos que prevén una mayor desagregación. El uso de una combinación de ecuaciones agregadas y desagregadas para calcular los distintos aportes de N es compatible con las *buenas prácticas* aplicables a la obtención de cada uno de los términos de las ecuaciones 4.20 y 4.21 que se describen más abajo.

Nitrógeno de fertilizantes sintéticos, ajustado para dar cuenta de la volatilización (F_{SN}): El término F_{SN} se refiere a la cantidad anual de nitrógeno procedente de fertilizantes sintéticos que se aplica a los suelos, ajustada para dar cuenta del volumen que se volatiliza. Este término se estima determinando la cantidad total de fertilizante sintético que se consume anualmente (N_{FERT}), y ajustando luego dicha cantidad para dar cuenta de la fracción que se volatiliza como NH_3 y NO_x ($\text{Frac}_{\text{GASF}}$). Por lo tanto, la ecuación es:

ECUACIÓN 4.22

N PROCEDENTE DE LA APLICACIÓN DE FERTILIZANTES SINTÉTICOS

$$F_{\text{SN}} = N_{\text{FERT}} \cdot (1 - \text{Frac}_{\text{GASF}})$$

Nitrógeno del estiércol animal utilizado como fertilizante, ajustado para dar cuenta de la volatilización (F_{EA}): El término F_{EA} se refiere al volumen de nitrógeno procedente del estiércol animal que se aplica intencionalmente a los suelos, ajustado para dar cuenta de la cantidad que se volatiliza. Este término se estima determinando la cantidad total de nitrógeno existente en el estiércol animal que se produce anualmente ($\sum_T(N_{(T)} \cdot N_{\text{ex}(T)})$)¹¹, y ajustando luego para dar cuenta del volumen de estiércol que se quema como combustible ($\text{Frac}_{\text{COMB-EA}}$)¹², la cantidad depositada en el suelo por el ganado en pastoreo (Frac_{PRP}) y el volumen que se volatiliza como NH_3 y NO_x ($\text{Frac}_{\text{GASM}}$). Para este cálculo, la ecuación prevista en las *Directrices del IPCC* se sustituye por la siguiente:

ECUACIÓN 4.23

N PROCEDENTE DE LA APLICACIÓN DE ESTIÉRCOL ANIMAL

$$F_{\text{EA}} = \sum_T(N_{(T)} \cdot N_{\text{ex}(T)}) \cdot (1 - \text{Frac}_{\text{GASM}}) [1 - (\text{Frac}_{\text{COMB-EA}} + \text{Frac}_{\text{PRP}})]$$

Sin embargo, la ecuación 4.23 puede resultar incompleta para algunos países, ya que el estiércol animal puede usarse para otros fines además de la producción de combustible. Dado que en algunos países se utiliza parte del estiércol animal para la alimentación de los animales y para la construcción, se deberían determinar también, mediante una evaluación exhaustiva, las fracciones del estiércol animal que – en su caso – se usen con ese fin ($\text{Frac}_{\text{ALIM-AM}}$ y $\text{Frac}_{\text{CONST-AM}}$ respectivamente). El método de nivel 1b puede reflejar estos usos adicionales y evitar que se sobreestimen las emisiones. Se supone que todo el estiércol animal que no se use para otros fines, se aplicará a los suelos. Por lo tanto, la ecuación de nivel 1b que se propone como *buena práctica* es la siguiente:

¹¹ En esta parte de las *Directrices del IPCC*, la variable N_{ex} se aplica a la cantidad total de estiércol animal producido. Para mantener la coherencia con la *buena práctica* propuesta en la sección 4.4, se ha sustituido el nombre de dicha variable por el siguiente: $\sum_T(N_{(T)} \cdot N_{\text{ex}(T)})$.

¹² En las ecuaciones 4.23 y 4.24, el término usado en las *Directrices del IPCC* ($\text{Frac}_{\text{COMB}}$) ha sido sustituido por $\text{Frac}_{\text{COMB-EA}}$, para distinguirlo de la fracción de residuos de cosechas utilizada como combustible ($\text{Frac}_{\text{COMB-RC}}$) en la ecuación 4.29.

ECUACIÓN 4.24

N PROCEDENTE DE LA APLICACIÓN DE ESTIÉRCOL ANIMAL (ECUACIÓN AMPLIADA)

$$F_{EA} = \sum_T (N_{(T)} \cdot Nex_{(T)}) \cdot (1 - \text{Frac}_{GASM}) \cdot [1 - (\text{Frac}_{COMB-EA} + \text{Frac}_{PRP} + \text{Frac}_{ALIM-EA} + \text{Frac}_{CONST-EA})]$$

Cabe señalar, sin embargo, que cuando el término Frac_{PRP} incluya fracciones de estiércol animal utilizadas como combustible o alimento para animales o para la construcción, dichas fracciones no deberán incluirse en la ecuación 4.24.

N fijado por cultivos (F_{NB}): El método previsto en las *Directrices del IPCC* para la estimación de la cantidad de nitrógeno fijado por las variedades fijadoras de N que se cultivan anualmente (F_{NB}) se basa en el supuesto de que la cantidad de N contenida en la parte aérea de la planta (el producto del cultivo más sus residuos) es razonablemente representativa de la cantidad total de N fijado por el cultivo. En las *Directrices del IPCC* se supone asimismo que la relación de masa entre el residuo y el producto es 1 (es decir que la biomasa aérea total de la planta es el doble del producto del cultivo). Por lo tanto, la cantidad de N fijado se estima multiplicando el rendimiento de semillas de las legumbres y la soja (Cultivo_{BF}) por un valor por defecto de 2, y multiplicándolo luego por la fracción de biomasa del cultivo constituida por nitrógeno (Frac_{NCRBF}). Por lo tanto, la ecuación de nivel 1a que se presenta en las *Directrices del IPCC* es la siguiente:

ECUACIÓN 4.25

N FIJADO POR CULTIVOS (NIVEL 1A)

$$F_{NB} = 2 \cdot \text{Cultivo}_{BF} \cdot \text{Frac}_{NCRBF}$$

El método propuesto en las *Directrices del IPCC* puede modificarse de varias maneras para estimar con mayor exactitud la masa total de nitrógeno contenido en los residuos y productos de la biomasa aérea de los cultivos. Por ejemplo, en la ecuación 4.25 se utiliza un valor por defecto de 2 para convertir Cultivo_{BF} en el total de residuos y productos de la biomasa aérea de los cultivos. Este factor tiene un valor demasiado bajo para algunas legumbres y plantas de soja, y puede tener como resultado la subestimación del total de residuos y productos de la biomasa aérea de los cultivos (véase el cuadro 4.16, “Estadísticas seleccionadas sobre residuos de cosechas”). Como la relación entre la biomasa aérea y la masa del producto de las cosechas varía según el tipo de cultivo, se pueden hacer estimaciones más exactas si se utilizan valores específicos de cada cultivo. También es necesario incorporar en la ecuación las fracciones de materia seca, para introducir ajustes que permitan dar cuenta del contenido de humedad. Además, deberá definirse el valor Cultivo_{BF} para que sea representativo de los productos de todos los cultivos fijadores de N, no solamente del rendimiento de semillas de las legumbres y la soja. En particular, deberán incluirse en los cálculos los cultivos forrajeros fijadores de N, como la alfalfa. Este método se describe en la ecuación 4.26:

ECUACIÓN 4.26

N FIJADO POR CULTIVOS (NIVEL 1b)

$$F_{NB} = \sum_i [\text{Cultivo}_{BF_i} \cdot (1 + \text{Res}_{BF_i}/\text{Cultivo}_{BF_i}) \cdot \text{Frac}_{MS_i} \cdot \text{Frac}_{NCRBF_i}]$$

En la ecuación 4.26 se introducen dos nuevos términos. El primero de ellos, $\text{Res}_{BF_i}/\text{Cultivo}_{BF_i}$, representa la relación de masa entre los residuos y el producto de las cosechas que es específica de cada tipo de cultivo i (véase el cuadro 4.16). El segundo término, Frac_{MS_i} , representa la fracción de materia seca existente en la biomasa aérea de cada tipo de cultivo i . El término $[(1 + \text{Res}_{BF_i}/\text{Cultivo}_{BF_i}) \cdot \text{Frac}_{MS_i}]$ sustituye al valor por defecto de “2” presentado en las *Directrices del IPCC*. Cabe señalar que se parte de la base de que el contenido de materia seca de los residuos es igual al de los productos, por lo que en la ecuación se incluye una sola variable que representa a la materia seca. Los países pueden tener datos específicos sobre el contenido de materia seca de determinados productos y residuos, y deberán utilizarlos siempre y cuando ese esfuerzo adicional se justifique por una mayor exactitud. Además, la variable Cultivo_{BF} , tal como se define en las *Directrices del IPCC*, es el rendimiento de semillas de las legumbres más el de la soja en un determinado país. Sin embargo, esta definición no tiene en cuenta cultivos como la alfalfa, en los que toda la planta se cosecha como producto. Por lo tanto,

como se señaló anteriormente, deberá definirse el valor de $\text{Cultivo}_{\text{BF}}$ como la “producción de cultivos fijadores de N”. En el caso de cultivos forrajeros fijadores de N, como la alfalfa, $\text{Res}_{\text{BF}_i}/\text{Cultivo}_{\text{BF}_i}$ será igual a 0, y la ecuación 4.26 pasará a ser la siguiente:

ECUACIÓN 4.27

N FIJADO POR CULTIVOS FORRAJEROS FIJADORES DE N

$$F_{\text{NB}} = \sum_i (\text{Cultivo}_{\text{BF}_i} \cdot \text{Frac}_{\text{MS}_i} \cdot \text{Frac}_{\text{NCRBF}_i})$$

Se deberá tener presente que, si los organismos encargados de los inventarios usan la ecuación 4.26 para estimar la cantidad de N fijada por cultivos fijadores de N, y si cualquiera de los residuos de esos cultivos se quema en los campos, se deberán utilizar para $\text{Cultivo}_{\text{BF}}$, $\text{Res}_{\text{BF}_i}/\text{Cultivo}_{\text{BF}_i}$ y $\text{Frac}_{\text{MS}_i}$ los mismos valores que se hayan aplicado para estimar las emisiones procedentes de la quema de residuos agrícolas. Los valores usados para $\text{Frac}_{\text{NCRBF}_i}$ también deberán ser congruentes con las relaciones N/C utilizadas para estimar las emisiones procedentes de la quema de residuos agrícolas. En el cuadro 4.16 se indican los valores por defecto de $\text{Res}_{\text{BF}_i}/\text{Cultivo}_{\text{BF}_i}$, $\text{Frac}_{\text{MS}_i}$ y $\text{Frac}_{\text{NCRBF}_i}$ que se recomienda utilizar, como cuestión de *buena práctica*, para algunos tipos de cultivos. Los organismos encargados de los inventarios podrán usar estos valores cuando no dispongan de datos nacionales específicos. Si se necesita un valor por defecto del contenido de nitrógeno de los residuos de un tipo de cultivo al que no se asigna un valor en el cuadro 4.16, se podrá aplicar el valor por defecto, no específico de ningún cultivo en particular, que se indica en el cuadro 4-19 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC* (0,03 kg de N/kg de materia seca).

CUADRO 4.16				
ESTADÍSTICAS SELECCIONADAS SOBRE RESIDUOS DE COSECHAS				
Producto	Relación residuo/ producto de la cosecha	Fracción de materia seca	Fracción de carbono	Fracción de nitrógeno
Trigo	1,3	0,82-0,88	0,4853	0,0028
Cebada	1,2	0,82-0,88	0,4567	0,0043
Maíz	1,0	0,70-0,86	0,4709	0,0081
Avena	1,3	0,92		0,0070
Centeno	1,6	0,90		0,0048
Arroz	1,4	0,82-0,88	0,4144	0,0067
Mijo	1,4	0,85-0,92		0,0070
Sorgo	1,4	0,91		0,0108
Guisantes	1,5	0,87		0,0142
Frijoles	2,1	0,82-0,89		
Soja	2,1	0,84-0,89		0,0230
Papas	0,4		0,4226	0,0110
Remolacha	0,3		0,4072 ^a	0,0228 ^a
Cogollos de caña de azúcar		0,32	0,4235	0,0040
Hojas de caña de azúcar		0,83	0,4235	0,0040
Alcachofas	0,8			
Cacahuets	1,0	0,86		0,0106

^a Estas cifras corresponden a hojas de remolacha.

Fuente: Todos los datos corresponden a Strehler y Stütze (1987), salvo los que se refieren a la caña de azúcar (Turn y otros, 1997), la fracción de materia seca y nitrógeno en la cebada, el centeno, el sorgo, los guisantes y los cacahuets (Cornell, 1994) y la fracción de nitrógeno en el mijo y la soja (Barnard y Kristoferson, 1985).

N en residuos de las cosechas reintegrados a los suelos (F_{RC}): En las *Directrices del IPCC*, la cantidad de nitrógeno que vuelve anualmente a los suelos mediante la incorporación de residuos de cosechas (F_{RC}) se estima determinando la cantidad total de N que se produce en los residuos de las cosechas (ya sea de cultivos no fijadores como fijadores de N), y ajustándola para dar cuenta de la fracción de residuos que se quema en los campos durante o después de la cosecha. La producción anual de N procedente de los residuos se estima multiplicando la producción anual de cultivos fijadores de N ($Cultivo_{BF}$) y otros cultivos ($Cultivo_{O}$) por sus respectivos contenidos de N ($Frac_{NCRBF}$ y $Frac_{NCR0}$), sumando ambos valores de nitrógeno, multiplicándolos por un valor por defecto de 2 (para obtener el total de biomasa aérea de los cultivos), y ajustándolos luego para dar cuenta del total de biomasa aérea de la cosecha que se retira del campo como producto ($Frac_R$)¹³ y del total de biomasa aérea que se quema ($Frac_{QUEM}$). Por lo tanto, la ecuación de nivel 1a que presentan las *Directrices del IPCC* es la siguiente:

ECUACIÓN 4.28

N EN RESIDUOS DE COSECHAS REINTEGRADOS A LOS SUELOS (NIVEL 1a)

$$F_{RC} = 2 \cdot (Cultivo_{O} \cdot Frac_{NCR0} + Cultivo_{BF} \cdot Frac_{NCRBF}) \cdot (1 - Frac_R) \cdot (1 - Frac_{QUEM})$$

El método de nivel 1a puede modificarse de varias maneras para estimar con mayor exactitud la cantidad de nitrógeno existente en los residuos de las cosechas que se incorpora a los suelos:

- En primer lugar, la ecuación 4.28 usa un valor por defecto de 2 para convertir los valores $Cultivo_{O}$ y $Cultivo_{BF}$ en la cantidad total de residuos y productos de la biomasa aérea de los cultivos. Como ya se mencionó en relación con F_{NB} , este factor tiene un valor demasiado bajo para algunas legumbres y plantas de soja, y puede tener como resultado la subestimación del total de residuos y productos de la biomasa aérea de los cultivos. Además, este factor de 2 no es congruente con el valor por defecto asignado a $Frac_R$ en las *Directrices del IPCC*¹⁴.
- En segundo término, se debe definir el valor de $Cultivo_{BF}$ de modo tal que sea representativo de los productos de todos los cultivos fijadores de N, no solamente del rendimiento de semillas de las legumbres y la soja.
- Como tercer paso, es necesario incorporar las fracciones de materia seca a la ecuación, para ajustarla en función del contenido de humedad.
- En cuarto lugar, se debe modificar la ecuación para dar cuenta de otros usos que se dan a los residuos de las cosechas, en particular como combustible, materiales de construcción y forraje para animales. Estas modificaciones se indican en la ecuación 4.29:

ECUACIÓN 4.29

N EN RESIDUOS DE LAS COSECHAS REINTEGRADOS A LOS SUELOS (NIVEL 1b)

$$F_{RC} = \sum_i [(Cultivo_{O_i} \cdot Res_{O_i} / Cultivo_{O_i} \cdot Frac_{MS_i} \cdot Frac_{NRC_i}) \cdot (1 - Frac_{QUEM_i} - Frac_{COMB-CR_i} - Frac_{CONST-CR_i} - Frac_{ALIM_i})] + \sum_j [(Cultivo_{BF_j} \cdot Res_{BF_j} / Cultivo_{BF_j} \cdot Frac_{MS_j} \cdot Frac_{NCRBF_j}) \cdot (1 - Frac_{QUEM_j} - Frac_{COMB-CR_j} - Frac_{CONST-CR_j} - Frac_{FOR_j})]$$

La ecuación 4.29 permite usar los valores específicos para determinados cultivos de las siguientes variables (es decir, para cada uno de los demás tipos de cultivos i y para cada tipo de cultivo fijador de nitrógeno j): i) la relación de masa entre los residuos y el producto de los cultivos ($Res_{O_i} / Cultivo_{O_i}$ y $Res_{BF_j} / Cultivo_{BF_j}$); ii) el contenido de materia seca de la biomasa aérea ($Frac_{MS_i}$ y $Frac_{MS_j}$); iii) el contenido de nitrógeno de la biomasa

¹³ Las *Directrices del IPCC* definen el valor de $Frac_R$ como la “fracción de los residuos de las cosechas que se retira de los campos durante la cosecha”. Sin embargo, esta variable, como se usa actualmente, corresponde a la “fracción de la *biomasa aérea total de los cultivos* que se retira de los campos durante la cosecha”.

¹⁴ Las *Directrices del IPCC* proponen para $Frac_R$ un valor por defecto de 0,45, que no es congruente con el valor por defecto establecido para los residuos y productos de la biomasa aérea de los cultivos. Si $Frac_R = 0,45$, entonces el 55% de la masa total de residuos y productos del cultivo sería igual a los residuos. En cambio, si la masa total de residuos y productos del cultivo es igual al doble de los productos del cultivo, entonces los residuos serían el 50% de la masa total de residuos y productos de los cultivos.

aérea ($Frac_{NCRO_i}$ y $Frac_{NCRBF_j}$); iv) la fracción de residuos quemada en los campos antes y después de la cosecha ($Frac_{QUEM_i}$ y $Frac_{QUEM_j}$); v) la fracción de residuos utilizada como combustible ($Frac_{COMB-CR_i}$ y $Frac_{COMB-CR_j}$); vi) la fracción de residuos usada para la construcción ($Frac_{CONST-RC_i}$ y $Frac_{CONST-RC_j}$) y vii) la fracción de residuos utilizada como forraje ($Frac_{FOR_i}$ y $Frac_{FOR_j}$). En el cuadro 4.16 se indican los valores por defecto de $Res_{SO_i}/Cultivo_{O_i}$, $Frac_{MS_i}$ y $Frac_{NCRO_i}$ que se recomienda utilizar, como cuestión de *buena práctica*, para algunos tipos de cultivos. Los organismos encargados de los inventarios podrán usar estos valores cuando no dispongan de datos nacionales específicos. Si se necesita un valor por defecto del contenido de nitrógeno de los residuos de un tipo de cultivo al que no se asigna un valor en el cuadro 4.16, se podrán utilizar los valores por defecto, no específicos de ningún cultivo en particular, aplicables a cultivos fijadores y no fijadores de N, que se indican en el cuadro 4-19 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC* (0,03 y 0,015 kg de N/kg de materia seca respectivamente).

Superficie de suelos orgánicos cosechados (F_{SO}): Las *Directrices del IPCC* definen el valor F_{SO} como la superficie (en hectáreas) de suelos orgánicos cultivados anualmente. Esta definición se aplica tanto al método de nivel 1a como al de nivel 1b.

4.7.1.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Se necesitan dos factores de emisión para estimar las emisiones directas de N_2O procedentes de los suelos agrícolas. El primero de ellos (FE_1) indica la cantidad de N_2O emitida por las distintas formas de incorporación de nitrógeno a los suelos, mientras que el segundo (FE_2) estima la cantidad de N_2O emitida a partir del cultivo de suelos orgánicos.

Siempre que sea posible, deberán utilizarse factores de emisión específicos de cada país, a fin de reflejar las condiciones particulares de cada país y sus prácticas agrícolas. Esos factores de emisión nacionales deberán basarse en mediciones realizadas con la suficiente frecuencia, y durante un período suficientemente prolongado, como para reflejar la variabilidad de los procesos biogeoquímicos subyacentes, según la técnica de medición que se seleccione, y estar documentados en publicaciones que tengan un aval científico. En el recuadro 4.1 se describe el procedimiento de *buena práctica* para la obtención de factores de emisión específicos de un país.

Si no se dispone de factores de emisión específicos del país, se podrá recurrir, como una alternativa aceptable, a los factores de emisión de otros países con condiciones climáticas y de manejo similares. Si no se trata de una categoría principal de fuentes (véase el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”), o si se carece de los recursos necesarios para obtener factores de emisión específicos del país o de la región, se podrán utilizar factores de emisión por defecto. Se prevé que algunos organismos encargados de los inventarios utilizarán una combinación de valores por defecto y factores de emisión específicos del país cuando estos últimos no abarquen toda la gama de condiciones ambientales y de manejo. Si en lugar de valores por defecto se usan factores de emisión específicos del país u otros factores de emisión, deberá documentarse claramente la forma en que se obtuvieron dichos factores.

Los factores de emisión por defecto cuyo uso se considera una *buena práctica* se resumen en el cuadro 4.17, “Actualización de los factores de emisión por defecto para la estimación de las emisiones directas de N_2O procedentes de los suelos agrícolas”. El valor por defecto de FE_1 que figura en las *Directrices del IPCC* es el 1,25% del nitrógeno aplicado a los suelos. En muchos casos este factor resultará adecuado. No obstante, según indican datos recientes, si se aplican fertilizantes sintéticos a campos que ya están recibiendo aplicaciones de estiércol orgánico, puede haber una pérdida mayor de N_2O (Clayton y otros, 1997). En este momento no se recomienda modificar el valor por defecto, ya que es necesario contar con mayores pruebas que corroboren tal afirmación. En los casos en que es necesario introducir esa corrección, la *buena práctica* exige el uso de una forma más detallada de la ecuación básica que figura en las *Directrices del IPCC*, para garantizar que se apliquen los factores de emisión apropiados a los distintos aportes de nitrógeno.

El valor por defecto de FE_2 que se indica en las *Directrices del IPCC* deberá actualizarse sobre la base de los resultados de las mediciones más recientes. Dichas mediciones indican que los factores de emisión correspondientes a los suelos orgánicos ubicados en latitudes medias son superiores a los valores estimados anteriormente (Klemetsson y otros, 1999). Estos datos sugieren que, para latitudes medias, es más apropiado usar un valor de 8 que de 5 para FE_2 . En consonancia con el criterio adoptado en las *Directrices del IPCC*, que parten del supuesto de que las tasas de mineralización en los climas tropicales son aproximadamente el doble de las que se observan en los climas templados, el factor de emisión FE_2 para climas tropicales deberá ser de 16.

CUADRO 4.17		
ACTUALIZACIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LA ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DIRECTAS DE N ₂ O PROCEDENTES DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS		
Factor de emisión	Valor por defecto del IPCC (FE ₁ en kg de N ₂ O-N/kg de N) (FE ₂ en kg de N ₂ O-N/há-año)	Valor por defecto actualizado (FE ₁ en kg de N ₂ O-N/kg de N) (FE ₂ en kg de N ₂ O-N/há-año)
FE ₁ para F _{SN}	1,25%	Sin cambios
FE ₁ para F _{SN} cuando se aplica a campos que ya están recibiendo fertilizantes orgánicos/estiércol animal (por aplicación o pastoreo)	1,25%	Sin cambios
FE ₁ para F _{EA}	1,25%	Sin cambios
FE ₁ para F _{NB}	1,25%	Sin cambios
FE ₁ para F _{RC}	1,25%	Sin cambios
FE ₂ para suelos orgánicos en latitudes medias	5	8
FE ₂ para suelos orgánicos en zonas tropicales	10	16

Fuente: *Directrices del IPCC*, Klemetsson y otros (1999), Clayton y otros (1997).

4.7.1.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Se requieren varios tipos de datos de actividad para estimar las emisiones directas de N₂O procedentes de los suelos. A continuación se describen los tipos y fuentes de datos de actividad y las consideraciones fundamentales relacionadas con la aplicación de métodos más detallados (actuales o futuros) específicos de un país y potencialmente específicos de un tipo de cultivo, en lo que respecta a los aportes de N antropogénico derivados de la aplicación de fertilizantes sintéticos (F_{SN}) y de estiércol animal (F_{EA}), así como a la fijación de N biológico causada por determinados cultivos (F_{NB}), la mineralización de residuos de las cosechas reintegrados a los suelos (F_{RC}) y la mineralización del nitrógeno del suelo debida al cultivo de suelos orgánicos (F_{SO}). Aun cuando los organismos encargados de los inventarios no puedan actualmente preparar estimaciones sobre la base de factores de emisión específicos de un país o de un cultivo, es una *buena práctica* compilar datos de actividad tan detallados como sea posible. Ello permitirá realizar en el futuro una revisión más exacta de inventarios anteriores si se llega a disponer de factores de emisión específicos del país o el cultivo de que se trate.

F_{SN}: Los valores necesarios para el cálculo de F_{SN} son N_{FERT} y Frac_{GASF}.

- Los datos sobre el consumo de fertilizantes sintéticos (N_{FERT}) deberán extraerse de las estadísticas oficiales (p.ej., las oficinas nacionales de estadística), usando para ello los datos de los censos anuales. La mayoría de los organismos encargados de los inventarios pueden obtener estos datos con facilidad. En caso de no contar con datos específicos del país, se pueden utilizar datos de la *International Fertiliser Industry Association* (IFA, París, www.fertiliser.org/stats.htm) sobre el uso total de fertilizantes por tipo y por cultivo, o de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, www.apps.fao.org) en lo que respecta al consumo de fertilizantes sintéticos. Puede ser de utilidad comparar las estadísticas nacionales con bases de datos internacionales como las de la IFA y la FAO. En lo posible, los datos correspondientes a N_{FERT} deberán clasificarse por tipo de fertilizante, tipo de cultivo y régimen climático para los principales cultivos, siempre que se cuente con información suficiente para ello.
- Con respecto a la fracción de nitrógeno procedente de la aplicación de fertilizantes sintéticos (Frac_{GASF}) que se volatiliza como NH₃ y NO_x, puede aplicarse una tasa fija de pérdida del 10% (*Directrices del IPCC*, cuadro 4-19, Manual de Referencia). Sin embargo, la tasa de pérdida puede ser sumamente variable y depende del tipo de fertilizante sintético utilizado, su modo de aplicación y el clima. Se aconseja el uso de tasas de pérdida específicas del país, debidamente documentadas.

F_{EA}: La *buena práctica* en lo que respecta a la determinación de los valores de entrada necesarios para el cálculo de F_{EA} mediante el uso de las ecuaciones de nivel 1a o de nivel 1b ya se resumió anteriormente. Sin perjuicio de la forma en que se estime el valor de F_{EA}, se sugiere que la cantidad de estiércol animal aplicado y las zonas de aplicación se clasifiquen por tipo de cultivo y región climática, siempre que sea posible. Estos datos pueden ser de utilidad para la revisión de las estimaciones de las emisiones si en el futuro se introducen mejoras en los métodos de preparación del inventario.

- La cantidad total de nitrógeno excretado por la población animal de un país ($\sum_T(N_{(T)} \cdot Nex_{(T)})$) se calcula determinando el número de animales de cada especie o categoría ($N_{(T)}$) existente en ese país, y multiplicándolo por las tasas de excreción de N correspondientes a cada especie o categoría de animales ($Nex_{(T)}$). Por razones de *buena práctica*, los datos sobre la población de ganado deberán determinarse con arreglo al método que se describe en la sección 4.1, “Caracterización de la población de ganado”, y ser congruentes con las caracterizaciones del ganado utilizadas para otras categorías de fuentes de emisiones. También debe haber coherencia entre las tasas de excreción de N de cada especie o categoría de animales correspondientes a todas las categorías de fuentes. El método de *buena práctica* que se recomienda utilizar para el cálculo de las tasas de excreción de nitrógeno específicas de cada país se describe en la sección 4.4, “Estimación de las emisiones de N_2O procedentes del manejo del estiércol”. Si no se dispone de tasas $\sum_T(N_{(T)} \cdot Nex_{(T)})$ específicas de un país, deberán emplearse los valores por defecto que figuran en el cuadro 4-20 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC*.
- Para la fracción de nitrógeno procedente del estiércol animal ($Frac_{GASM}$) que se volatiliza como NH_3 y NO_x , en el cuadro 4-19 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC* se establece una tasa fija de pérdida del 20%. Estas pérdidas son extremadamente variables y dependen del tipo de estiércol animal, de su almacenamiento, de su modo de aplicación y del clima. Se aconseja el uso de factores $Frac_{GASM}$ específicos de cada país, siempre que estén debidamente documentados.
- Las cantidades de estiércol animal que se destinan a fines que no sean la fertilización (representadas por los valores $Frac_{COMB-EA}$, $Frac_{PRP}$ y, cuando se usa la ecuación de nivel 1b, por el valor $Frac_{CONST-EA} Frac_{ALIM-EA}$) pueden obtenerse de las estadísticas oficiales o de estudios realizados por especialistas. El valor $Frac_{PRP}$ aplicado en este cálculo debe ser congruente con el valor utilizado en el cálculo de las emisiones de N_2O procedentes de animales en pastoreo que se indicó en la sección sobre manejo del estiércol.

RECUADRO 4.1

BUENAS PRÁCTICAS EN EL CÁLCULO DE FACTORES DE EMISIÓN ESPECÍFICOS DE UN PAÍS

En general, es un principio de *buena práctica* medir las emisiones procedentes de las distintas subcategorías de fuentes (p.ej., fertilizantes sintéticos (F_{SN}), estiércol animal (F_{EA}), fijación de N biológico (F_{NB}), mineralización de residuos de cosechas (F_{RC}) y cultivo de suelos orgánicos (F_{SO})). Para que los factores de emisión sean representativos de las condiciones ambientales y de manejo imperantes en un país, las mediciones deben realizarse en las principales zonas agrícolas de ese país, en todas las estaciones y, si corresponde, en diferentes regiones geográficas y de suelos y respecto de diversos sistemas de manejo. Mediante una selección apropiada de regiones o sistemas se puede reducir el número de sitios en los que deben tomarse muestras a fin de obtener una estimación fiable de los flujos. Los mapas o los datos obtenidos mediante teleobservación pueden ser muy útiles para delimitar las distintas zonas, utilizando las variaciones en los sistemas o en la topografía. Se pueden producir errores de agregación si las mediciones disponibles no abarcan toda la gama real de condiciones ambientales y de manejo de los suelos, así como la variabilidad interanual del clima. Los modelos de simulación validados, calibrados y bien documentados pueden constituir una herramienta útil para el cálculo de factores medios de emisión por zonas sobre la base de los datos que surjan de las mediciones (Smith y otros, 1999).

En lo que respecta al período y la frecuencia de las mediciones de las emisiones, éstas deben realizarse durante un año completo (incluidos los períodos improductivos), y preferiblemente a lo largo de varios años, a los efectos de reflejar las diferencias en las condiciones meteorológicas y las variaciones climáticas interanuales. Las mediciones deben efectuarse por lo menos una vez por día, inmediatamente después de las perturbaciones más importantes que puedan determinar un aumento de las emisiones por encima de los niveles de referencia (es decir, durante y después de la lluvia, las tareas de labranza o la aplicación de fertilizantes). Es aceptable realizar mediciones menos frecuentes (una vez por día o menos) durante los períodos en que las emisiones se encuentran próximas a los niveles de referencia. En OIEA (1992) puede encontrarse una buena descripción de las técnicas de medición disponibles.

Para garantizar un cálculo exacto de los factores de emisión, es de *buena práctica* vigilar, en sitios representativos, aquellos factores que pueden influir en las variaciones interanuales de las emisiones de N_2O . Esos factores son, entre otros, la aplicación de fertilizantes, los cultivos anteriores, la textura del suelo y sus condiciones de drenaje, así como la temperatura y la humedad del suelo. En Firestone y Davidson (1989) puede verse una lista completa de los factores que intervienen en la regulación de la formación, el consumo y el intercambio de N_2O entre el suelo y la atmósfera. En lo que concierne a las emisiones de N_2O procedentes del cultivo de suelos orgánicos, puede suponerse que no es necesario que las mediciones sean más frecuentes que las realizadas en suelos minerales. La frecuencia de las mediciones debe estar en consonancia con la frecuencia de las perturbaciones. Es probable que las emisiones varíen según la región geográfica, y especialmente entre distintos sistemas de cultivo.

Es posible que, como consecuencia de la deposición de N procedente de fuentes industriales, se llegue a obtener factores de emisión no representativos, pero esto probablemente no constituirá un problema de importancia. En general, los factores de emisión se determinan restando las emisiones de una parcela testigo (cero fertilizante), de las emisiones procedentes de una parcela fertilizada. Dado que las deposiciones de N afectan a ambas parcelas, cabría esperar que la deposición de N no quedara incluida en el factor de emisión resultante. Por lo tanto, es muy probable que el actual factor de emisión por defecto sea el correcto.

Debe tenerse presente que los factores de emisión obtenidos tanto respecto de la aplicación de fertilizantes sintéticos como de estiércol animal deben corregirse para dar cuenta de la volatilización. En otras palabras, el factor de emisión correspondiente a esas dos subcategorías de fuentes debe representar lo siguiente: kg de N emitido como N_2O / (kg de aporte de N- kg de N volatilizado)¹⁵.

¹⁵ En palabras: kg de N_2O (como N) emitido, dividido por (kg de aporte de N menos kg de N volatilizado).

F_{NB} y F_{RC}: Los factores necesarios para el cálculo de F_{NB} y F_{RC} por el método de nivel 1a son: Cultivo_{BF}, Cultivo_O, Frac_{NCRBF}, Frac_{NCRO}, Frac_R y Frac_{QUEM}:

- Cultivo_{BF} y Cultivo_O, Frac_{NCRBF}, Frac_{NCRO}, Frac_R y Frac_{QUEM}: Los datos sobre la producción de cultivos fijadores de N (Cultivo_{BF}), así como de los no fijadores (Cultivo_O), en general pueden extraerse de las estadísticas nacionales. En caso de que no se disponga de dichos datos, la FAO publica datos sobre la producción agrícola (véase el sitio de la FAO en la Web: www.apps.fao.org). Como se mencionó anteriormente, es preciso modificar la definición del término Cultivo_{BF} que dan las *Directrices del IPCC*. Ese término debe definirse de manera tal que represente los productos de todos los cultivos fijadores de N, no solamente el rendimiento de semillas de las legumbres y la soja. En cuanto a la fracción de nitrógeno en los cultivos fijadores de N (Frac_{NCRBF}) y en los no fijadores (Frac_{NCRO}), y a la fracción de residuos quemados en los campos (Frac_{QUEM}), en el cuadro 4.16 del *Informe de Buenas Prácticas* se indican algunos valores por defecto específicos de determinados cultivos, mientras que en el cuadro 4-19 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC* se dan valores genéricos. La definición del término Frac_R que figura en las *Directrices del IPCC* debe modificarse, y entenderse por tal la fracción de la biomasa aérea total que se retira de los campos durante la cosecha. Asimismo, como ya se señaló, el valor por defecto de Frac_R que se indica en el cuadro 4-19 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC* es incongruente con el valor por defecto “2” que se incluye en la ecuación 4.28. Si se utiliza la ecuación 4.28, debe asignarse a Frac_R un valor de 0,50. Para las fracciones de residuos quemados deben usarse los mismos valores que para el cálculo de la quema de residuos agrícolas.
- Para el cálculo de F_{NB} y F_{RC} por el método de nivel 1b es necesario contar con algunos valores adicionales. Esos valores son: Res_{BF}/Cultivo_{BF}, Res_O/Cultivo_O, Frac_{MS}, Frac_{COMB}, Frac_{CONST}, Frac_{FOR}. Los datos necesarios para determinar la relación de masa existente entre los residuos y el producto de los cultivos fijadores (Res_{BF}/Cultivo_{BF}) y no fijadores de N (Res_O/Cultivo_O) pueden en general extraerse de las estadísticas nacionales. Siempre que sea posible deberán utilizarse valores específicos de cada cultivo, debido a las variaciones entre los distintos cultivos. Si no se dispone de esos datos a nivel nacional, podrán utilizarse los valores por defecto de Res_{BF}/Cultivo_{BF} y Res_O/Cultivo_O que se indican en el cuadro 4.16 del *Informe de Buenas Prácticas*. También deberá obtenerse, si figura en las estadísticas nacionales, el contenido de materia seca de la biomasa aérea de los cultivos fijadores y no fijadores de N (Frac_{MS}), el cual debe ser específico de cada tipo de cultivos. Como alternativa, se podrán utilizar los valores por defecto indicados en el cuadro 4.16 para los residuos de materia seca. En cuanto a las fracciones de residuos que se utilizan como combustible (Frac_{COMB}), en la construcción (Frac_{CONST}) y como forraje (Frac_{FOR}), deberán usarse valores específicos de cada país. Los valores que se asignen a Frac_{COMB} deberán ser congruentes con los utilizados en los cálculos de energía.

Cabe señalar asimismo que el método previsto en las *Directrices del IPCC* para la incorporación de residuos de las cosechas no tiene en cuenta el aporte de la biomasa radicular del cultivo cosechado. Lo ideal es contabilizar los aportes tanto de la biomasa aérea como de la radicular, para así incluir el nitrógeno de toda la planta, pero no es fácil estimar la biomasa de la raíz. El método de cálculo que proponen las *Directrices del IPCC* para los cultivos fijadores de N no tiene en cuenta la biomasa de la raíz, porque se presume que el N contenido en la parte aérea de la planta (producto del cultivo + brotes) es representativo de las emisiones de N₂O asociadas a los procesos de fijación de nitrógeno en las raíces y en las partes aéreas de la planta.

F_{SO}: Los datos relativos a la superficie (en hectáreas) de los suelos orgánicos cultivados anualmente (F_{SO}) deberán extraerse de las estadísticas nacionales oficiales. Si no se cuenta con dicha fuente, podrán usarse los datos de la FAO.

4.7.1.4 EXHAUSTIVIDAD

La cobertura exhaustiva de esta categoría de fuentes exige la estimación de las emisiones procedentes de todos los aportes y actividades antropogénicas (F_{SN}, F_{EA}, F_{NB}, F_{RC}, y F_{SO}, F_{FANGOCLO}), si es que se producen. La experiencia ha demostrado que probablemente ninguna de estas subcategorías estará ausente en los inventarios, aunque algunos países pueden tener dificultades para obtener estadísticas exactas sobre todas las subcategorías, en particular las cantidades de residuos de las cosechas (por tipo de cultivo) que se incorporan generalmente a los suelos, y la superficie de suelos orgánicos cultivados.

Actualmente, el método del IPCC no contempla expresamente algunas actividades que pueden acrecentar las emisiones de N₂O, entre ellas las siguientes:

- el consumo de fertilizantes orgánicos comerciales y no comerciales, excepto el estiércol animal, los residuos de cosechas y el fango cloacal;
- la producción de cultivos forrajeros fijadores de N, como la alfalfa;

- el cultivo combinado de forrajes fijadores de N y gramíneas;
- el uso de cultivos de cobertura o retén sembrados como abono verde para reducir la lixiviación de N en el período posterior a la cosecha;
- la labranza de tierras de pastoreo;
- el uso de cubiertas plásticas sobre suelos hortícolas;
- la deposición de N procedente de fuentes industriales sobre suelos agrícolas (véase el recuadro 1: “*Buenas prácticas* en el cálculo de factores de emisión específicos de un país”).

Estas actividades adicionales podrán tenerse en cuenta, si procede, y si se obtienen datos nacionales sobre la actividad pertinente. Algunas de estas actividades pueden incluirse fácilmente en los inventarios nacionales sobre la base de la información disponible. En el caso de los fertilizantes orgánicos comerciales y no comerciales, se puede utilizar el factor de emisión por defecto usado para la aplicación de N y la fracción por defecto de N volatilizado procedente del estiércol animal. Para los cultivos forrajeros fijadores de N, se propone, como *buenas prácticas*, utilizar el método aplicable a la fijación biológica de nitrógeno, usando la materia seca del cultivo cosechado como medida de la biomasa aérea total. En el caso de los cultivos de cobertura o retén, se sugiere, como método de *buenas prácticas*, el que se utiliza para los residuos de las cosechas. Se requerirán estudios más profundos para obtener datos sobre los flujos que permitan establecer los factores de emisión correspondientes al cultivo combinado de gramíneas y leguminosas, la labranza de tierras de pastoreo y el uso de cubiertas plásticas sobre zonas hortícolas.

4.7.1.5 DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Lo ideal es utilizar el mismo método a lo largo de toda la serie temporal. Sin embargo, es probable que el grado de detalle y desglose de las estimaciones de las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes mejore con el tiempo. En los casos en que falten algunos datos históricos, puede ser necesario deducirlos recurriendo a otras referencias o conjuntos de datos. Por ejemplo, los datos anuales sobre las superficies de suelos orgánicos cultivados quizás deban obtenerse por interpolación a partir de una serie temporal más prolongada basada en tendencias a largo plazo (p.ej., estadísticas decenales que abarquen períodos de 20 o 30 años). También puede ser necesario recurrir al dictamen de expertos para obtener estimaciones de las cantidades de residuos de cosechas que se incorporan anualmente a los suelos. Como orientación general sobre las *buenas prácticas* conducentes a garantizar la coherencia de una serie temporal, véase la sección 7.3.2.2. del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

Es importante que los métodos utilizados reflejen los resultados de las medidas adoptadas para reducir las emisiones, y que tanto los métodos como los resultados estén meticulosamente documentados. Si se aplican medidas de política que afecten directamente a los datos de actividad (p.ej. una mayor eficiencia en el uso de los fertilizantes que dé lugar a una reducción de su consumo), el efecto de dichas medidas de política sobre las emisiones será transparente, suponiendo que los datos de actividad estén cuidadosamente documentados. En los casos en que las medidas de política surtan efectos indirectos en los datos de actividad o en los factores de emisión (p.ej., un cambio en las prácticas de alimentación de la población animal para mejorar la productividad de los animales, que a su vez determine un cambio en los niveles de excreción animal por cabeza), los datos incorporados al inventario deberán reflejar tales efectos. En el texto del inventario se deberá explicar detalladamente el efecto de las políticas en los datos incorporados.

4.7.1.6 EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Las incertidumbres en las estimaciones de las emisiones directas de N₂O procedentes de los suelos agrícolas se deben a las incertidumbres relacionadas con los factores de emisión y los datos de actividad, al alcance insuficiente de las mediciones, a la agregación espacial y a la falta de información sobre prácticas específicas de los distintos establecimientos agrícolas. En el inventario se introducirá una incertidumbre adicional cuando se utilicen mediciones de las emisiones que no sean representativas de todas las condiciones imperantes en un país. Es previsible que las mediciones de las emisiones directas de N₂O procedentes de los suelos para una determinada subcategoría (Smith y otros, 1999), que se realicen con arreglo a las *buenas prácticas*, tengan una incertidumbre de aproximadamente 25%. En términos generales, la fiabilidad de los datos de actividad es mayor que la de los factores de emisión. Para citar un ejemplo, pueden surgir mayores incertidumbres debido a la falta de información sobre el cumplimiento de leyes y reglamentos relativos a la manipulación y aplicación de fertilizantes y estiércol, así como a los cambios ocurridos en las prácticas de gestión agrícola. Por lo general es difícil obtener información sobre el cumplimiento efectivo de las leyes y sobre las posibles reducciones de las emisiones que se hayan logrado, así como sobre las prácticas agrícolas.

Según datos recientes (Smith y otros, 1999; Mosier y Kroeze, 1999), los factores de emisión de N₂O procedente del nitrógeno aplicado a los suelos, calculados sobre la base de mediciones, tienen una distribución sesgada más similar a una distribución logarítmica normal que a una distribución normal, con un rango de entre 0,1% y 10%. La mejor estimación posible, con un límite de confianza de 95%, varía desde un quinto a cinco veces el factor de emisión por defecto de 1,25%, es decir, entre aproximadamente 0,25% y 6%.

En el caso de los histosoles, el rango de incertidumbre oscila entre 1 y 80 kg de N₂O-N por há¹año⁻¹ para suelos en latitudes medias, y de 5 a >100 kg de N₂O-N por há¹año⁻¹ para histosoles de regiones tropicales.

Dado que las incertidumbres que rodean a esta categoría de fuentes tienen su origen en muchos factores diferentes, es necesario estimar la incertidumbre a partir de un dictamen de expertos que se base en el conocimiento de los distintos componentes de los errores. En el capítulo 6, “La cuantificación de las incertidumbres en la práctica”, se proporciona asesoramiento sobre dicha cuantificación, e inclusive sobre la aplicación de los métodos de Monte Carlo.

4.7.2 Presentación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información necesaria para preparar las estimaciones del inventario nacional de emisiones, como se describe en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”. Las emisiones de N₂O procedentes de los suelos agrícolas (directamente del suelo, directamente de animales en pastoreo, e indirectas) se declaran en forma agregada dentro de la categoría “Agricultura” del IPCC. Estas tres categorías de fuentes deben presentarse por separado dentro de los informes de los inventarios. Además, a fin de garantizar una mayor transparencia en esos informes, las estimaciones de las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes deben presentarse desglosadas en los siguientes componentes:

- consumo de fertilizantes sintéticos;
- estiércol animal aplicado a los suelos (salvo el que se utiliza como fertilizante comercial);
- cultivo de leguminosas (fijadoras de N);
- incorporación de residuos de las cosechas;
- cultivo de suelos orgánicos.

Si se incluyen otros componentes, como los fertilizantes orgánicos comerciales, éstos también deberán declararse en forma separada. Además de llenar los formularios del informe, se deberá proporcionar la siguiente información adicional para documentar las estimaciones:

- **Datos de actividad:** Las fuentes de todos los datos de actividad utilizados en los cálculos (es decir, la cita completa de las bases de datos estadísticos de las que se extrajeron los datos) y, en los casos en que dichos datos no se hayan obtenido directamente de bases de datos, la información y los supuestos utilizados para determinarlos. En esta documentación se deberá indicar la frecuencia con que se reunieron y estimaron los datos, así como una estimación de su exactitud y precisión.
- **Factores de emisión:** Las fuentes de los factores de emisión que se hayan utilizado (valores específicos por defecto del IPCC u otros). En los inventarios en los que se hayan aplicado factores de emisión específicos de un país o una región en particular, o métodos nuevos (distintos de los métodos por defecto del IPCC), deberán describirse y documentarse en forma exhaustiva los fundamentos científicos de dichos factores de emisión y métodos. Ello incluye la definición de los parámetros de entrada y la descripción del proceso que tuvo como resultado esos factores de emisión y métodos, así como de las fuentes y la magnitud de las incertidumbres.
- **Resultados de las emisiones:** Deberá explicarse toda fluctuación significativa en las emisiones que se observe de un año para otro. A esos efectos será necesario establecer una distinción entre las variaciones en los niveles de actividad y los cambios registrados en los factores de emisión de un año para otro, y documentar los motivos de tales cambios. Si se utilizan distintos factores de emisión en años diferentes, deberán explicarse y documentarse las razones que determinaron la aplicación de tal criterio.

4.7.3 Garantía de la calidad/control de calidad de los inventarios (GC/CC)

Es una *buena práctica* llevar a cabo controles de calidad, como se describe en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, y hacer revisar por expertos las estimaciones de las emisiones. También puede ser pertinente adoptar medidas adicionales de control de calidad, como se describe en los procedimientos de nivel 2, en el capítulo 8, y aplicar otros procedimientos de garantía de la calidad, sobre todo si se utilizan métodos de niveles más altos para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes.

También es una *buena práctica* complementar los procedimientos generales de GC/CC relacionados con el procesamiento, el manejo y la presentación de los datos que se describen en el capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, con los procedimientos específicos de las distintas categorías de fuentes que se detallan a continuación. Las personas encargadas de reunir los datos serán las responsables de revisar los métodos de reunión de datos, examinar los datos para comprobar que se hayan reunido y agregado o desagregado correctamente, y confrontarlos con los datos de años anteriores para cerciorarse de que sean razonables. La base de las estimaciones, ya sean estudios estadísticos o “estimaciones de escritorio”, deberán revisarse y describirse como parte de los procedimientos de CC. La documentación es un componente fundamental del proceso de revisión, ya que permite a los revisores detectar errores y sugerir mejoras.

Revisión de los factores de emisión

- El organismo encargado del inventario deberá revisar los factores de emisión por defecto y documentar los motivos en los que se basó la elección de los distintos valores.
- Cuando se utilicen factores específicos del país, el organismo encargado del inventario deberá compararlos con los factores de emisión por defecto del IPCC y, si se tiene acceso a ellos, con los factores específicos utilizados por otros países en circunstancias comparables. Deberán explicarse y documentarse las diferencias que existan entre los factores específicos del país y los factores por defecto del IPCC o los de otros países.

Revisión de las mediciones directas

- Cuando se utilicen factores basados en mediciones directas, el organismo encargado del inventario deberá revisar dichas mediciones para garantizar que sean representativas de la verdadera gama de condiciones ambientales y de manejo de los suelos, así como de las variaciones climáticas interanuales, y que se hayan realizado de acuerdo con normas reconocidas (OIEA, 1992).
- También deberá revisarse el protocolo de GC/CC que se aplique a nivel local, comparando entre sí las estimaciones resultantes de los distintos sitios y cotejándolas con las estimaciones basadas en valores por defecto.

Examen de los datos de actividad

- El organismo encargado del inventario deberá comparar los datos específicos del país sobre el consumo de fertilizantes sintéticos con los datos de la IFA sobre el uso de fertilizantes y con las estimaciones de la FAO con respecto al consumo de fertilizantes sintéticos.
- El organismo encargado del inventario deberá garantizar que los datos sobre la excreción de N sean congruentes con los utilizados en la categoría de fuentes relativa a los sistemas de manejo del estiércol.
- Las estadísticas sobre la producción nacional de cultivos deberán compararse con las estadísticas respectivas de la FAO.
- El organismo encargado del inventario deberá asegurarse de que se haya aplicado el procedimiento de GC/CC descrito en la sección 4.1 con respecto a la caracterización de la población de ganado, y de que se haya hecho una caracterización uniforme de la población de ganado en todas las fuentes.
- Los valores asignados específicamente a los distintos parámetros por cada país deberán compararse con los valores por defecto del IPCC.

Revisión externa

- El organismo encargado del inventario deberá hacer revisar el método por especialistas en la materia, cuando lo adopte por primera vez o al modificarlo. Habida cuenta de la complejidad y el carácter singular de los parámetros utilizados en el cálculo de los factores específicos del país para estas categorías, en dichas revisiones deberán participar personas expertas en las esferas de que se trate.

4.8 EMISIONES INDIRECTAS DE N₂O PROCEDENTES DEL NITRÓGENO UTILIZADO EN LA AGRICULTURA

El óxido nitroso (N₂O) se produce en forma natural en los suelos y los sistemas acuáticos mediante los procesos microbianos de nitrificación y desnitrificación. Algunas actividades agrícolas y otras actividades antropogénicas aportan nitrógeno (N) a los suelos y sistemas acuáticos, aumentando la cantidad de N disponible para la nitrificación y desnitrificación y, en definitiva, la cantidad de N₂O emitido. Las emisiones de N₂O resultantes de los aportes antropogénicos de N se producen tanto por vía directa (es decir, directamente de los suelos a los que se incorpora N) como por varias vías indirectas, incluidas la lixiviación y la escorrentía del N aplicado en los sistemas acuáticos y la volatilización del N aplicado como amoníaco (NH₃) y óxidos de nitrógeno (NO_x), seguidos por la deposición como amoníaco (NH₄) y NO_x en los suelos y en el agua.

4.8.1 Aspectos metodológicos

Las *Directrices del IPCC* proponen métodos de estimación de las emisiones de N₂O procedentes de vías directas e indirectas. En esta sección se da orientación sobre las *buenas prácticas* en cuanto a la forma de estimar las emisiones indirectas de N₂O, mientras que las emisiones directas se analizan en la sección 4.7. Las emisiones indirectas procedentes de los sistemas acuáticos y los suelos agrícolas se examinan en la sección 4.5.4 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC*. El método de estimación de las emisiones indirectas de N₂O procedentes de los excrementos humanos que se descargan en ríos o estuarios también se presenta en esta sección, si bien estas emisiones se declaran dentro del sector Desechos.

4.8.1.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

El método previsto en las *Directrices del IPCC* para la estimación de las emisiones indirectas de N₂O procedentes del N utilizado en la agricultura describe cinco vías diferentes por las cuales los aportes antropogénicos de N quedan disponibles para formar N₂O:

- la deposición atmosférica de NO_x y amoníaco (NH₄)¹⁶ en los suelos, incluyendo en las fuentes de N la volatilización de los aportes de N a los suelos, así como la combustión y los procesos industriales;
- la lixiviación y escorrentía del N que se aplica o se deposita en los suelos;
- la disposición del N contenido en las aguas residuales;
- la formación de N₂O en la atmósfera a partir de emisiones de NH₃ procedentes de actividades antropogénicas;
- la disposición de efluentes industriales procedentes de la elaboración de alimentos y otras operaciones.

De estas cinco fuentes, las *Directrices del IPCC* describen la forma de estimar las emisiones procedentes de: i) la porción de la deposición atmosférica de NO_x y amoníaco (NH₄) vinculada al N procedente de los fertilizantes sintéticos y el estiércol animal aplicados a los suelos; ii) la porción del N procedente de la aplicación de fertilizantes sintéticos y estiércol animal que se pierde durante la lixiviación y la escorrentía, y iii) la descarga del N de las aguas residuales en ríos o estuarios. Sin embargo, no existe actualmente un método para estimar la conversión de NH₃ en N₂O en la atmósfera. La ecuación básica que figura en las *Directrices del IPCC* para estimar las emisiones indirectas de N₂O de un país (N₂O_{indirect}) (kg de N/año) es la siguiente:

¹⁶ Las *Directrices del IPCC* se refieren a la “deposición atmosférica de NO_x y NH₃”, pero el proceso en realidad implica la volatilización del N aplicado (o emisiones gaseosas directas de N) como óxidos de nitrógeno (NO_x) y amonio (NH₃), las transformaciones de estos gases en la atmósfera (o luego de su deposición) y su posterior deposición como NO_x, ácido nítrico (HNO₃) y partículas de amonio (NH₄). El NO_x a menudo se hidroliza en la atmósfera o luego de su deposición para formar HNO₃, mientras que el gas NH₃ en general se combina con el ácido nítrico o el ácido sulfúrico atmosféricos (H₂SO₄) para formar aerosoles de nitrato de amonio y sulfato de amonio, transformándose a partir de allí en partículas de amonio (NH₄).

ECUACIÓN 4.30

EMISIONES INDIRECTAS DE N₂O

$$N_2O_{\text{indirect-N}} = N_2O_{(G)} + N_2O_{(L)} + N_2O_{(S)}$$

donde:

$N_2O_{\text{indirect-N}}$ = emisiones de N₂O en unidades de nitrógeno

$N_2O_{(G)}$ = N₂O producido por la volatilización del N de los fertilizantes sintéticos y el estiércol animal aplicados, y su posterior deposición atmosférica como NO_x y NH₄ (kg de N/año)

$N_2O_{(L)}$ = N₂O producido por la lixiviación y la escorrentía del N procedente del fertilizante y el estiércol aplicados (kg de N/año)

$N_2O_{(S)}$ = N₂O producido por la descarga del N procedente de los excrementos humanos en ríos o estuarios (kg de N/año)¹⁷

A los efectos del informe, la conversión de las emisiones de N del N₂O en emisiones de N₂O se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$N_2O = N_2O-N \cdot 44/28$$

Para aplicar el método de estimación se debe determinar la cantidad de N₂O producido por cada una de estas vías indirectas. A continuación se proporciona *orientación sobre las buenas prácticas* en cuanto a la forma de aplicar las *Directrices del IPCC* para aclarar el método y garantizar su coherencia y exhaustividad respecto de todas las categorías de fuentes. La elección del método de *buena práctica* se ilustra en el árbol de decisiones que contiene la figura 8, “Árbol de decisiones aplicable a las emisiones indirectas de N₂O procedentes del nitrógeno utilizado en la agricultura”.

Los términos nivel 1a y nivel 1b se utilizan a lo largo de todo el *Informe sobre las buenas prácticas*, secciones 4.7 y 4.8, para distinguir entre las ecuaciones previstas en las *Directrices del IPCC* (nivel 1a) y las nuevas ecuaciones (nivel 1b) que se presentan en este documento. Las ecuaciones de nivel 1b tienen una mayor exactitud debido a la ampliación de los términos de las ecuaciones. No obstante, si bien pueden preferirse las ecuaciones de nivel 1b, es posible que no se disponga de los datos de actividad necesarios para aplicarlas. En esos casos conviene utilizar las ecuaciones de nivel 1a. También es aceptable estimar las emisiones utilizando una combinación de las ecuaciones de nivel 1a y 1b para diferentes subcategorías de fuentes, dependiendo de la disponibilidad de datos de actividad. En algunos casos, la alternativa de nivel 1b no existe porque no se ha considerado necesario perfeccionar la ecuación prevista en las *Directrices del IPCC*.

Deposición atmosférica de NO_x y NH₄ (N₂O_(G)): La deposición atmosférica de compuestos nitrogenados como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el amonio (NH₄) fertiliza los suelos y las aguas de superficie, dando lugar a una mayor formación de N₂O biogénico. Según las *Directrices del IPCC*, la cantidad de N aplicado a la agricultura que se volatiliza y posteriormente se deposita en los suelos cercanos es igual a la suma de la cantidad total de nitrógeno existente en los fertilizantes sintéticos aplicados a los suelos (N_{FERT}), más la cantidad total de nitrógeno procedente del estiércol animal excretado en el país ($\sum_T(N_{(T)} \cdot Nex_{(T)})$), multiplicado por los factores de volatilización apropiados¹⁸. El N volatilizado se multiplica luego por un factor de emisión correspondiente a la deposición atmosférica (FE₄) para estimar las emisiones de N₂O_(G).

En consecuencia, la ecuación que figura en las *Directrices del IPCC* es la siguiente:

ECUACIÓN 4.31

N₂O PROCEDENTE DE LA DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA DE N (NIVEL 1a)

$$N_2O_{(G)-N} = [(N_{\text{FERT}} \cdot \text{Frac}_{\text{GASF}}) + (\sum_T(N_{(T)} \cdot Nex_{(T)}) \cdot \text{Frac}_{\text{GASM}})] \cdot FE_4$$

¹⁷ El óxido nitroso procedente de los excrementos humanos (N₂O_(S)) se declara dentro del sector Desechos.

¹⁸ En esta parte de las *Directrices del IPCC*, la variable Nex se utiliza para representar la cantidad total de estiércol animal producido. Para ser congruentes con la *buena práctica* descrita en la sección 4.4, la formulación de esta variable se ha sustituido por la siguiente: $\sum_T(N_{(T)} \cdot Nex_{(T)})$.

donde¹⁹:

$N_{2O(G)} = N_2O$ producido por la deposición atmosférica de N, en kg de N/año

N_{FERT} = cantidad total de fertilizantes nitrogenados sintéticos aplicados a los suelos, en kg de N/año ²⁰

$\sum_T(N_{(T)} \cdot N_{ex(T)})$ = cantidad total de nitrógeno existente en el estiércol animal excretado en los campos, en kg de N/año

$Frac_{GASF}$ = fracción de los fertilizantes nitrogenados sintéticos que se volatiliza como NH_3 y NO_x , en kg de NH_3-N y NO_x-N /kg de aporte de N

$Frac_{GASM}$ = fracción del nitrógeno del estiércol animal que se volatiliza como NH_3 y NO_x , en kg de NH_3-N y NO_x-N /kg de N excretado

EF_4 = factor de emisión correspondiente a las emisiones de N_2O procedentes de la deposición atmosférica de N en los suelos y superficies acuáticas, en kg de N_2O-N /kg de NH_3-N y NO_x-N emitido

El uso de la ecuación 4.31 es compatible con las *buenas prácticas*. Sin embargo, si se dispone de datos más detallados, se podrá elaborar una estimación más completa.

En primer lugar, los datos de actividad utilizados para estimar los valores de $N_{2O(G)}$ pueden ampliarse para incluir otras formas de N aplicado a *todos* los suelos, en lugar de limitarse únicamente a los fertilizantes sintéticos y el estiércol animal aplicados a los suelos agrícolas. Por ejemplo, el fango cloacal, que es otra forma de N orgánico, a menudo se aplica a los suelos para modificarlos o como forma de eliminar el fango. El nitrógeno presente en el fango cloacal ($N_{FANGOCLO}$) puede incluirse en este cálculo si se dispone de información suficiente²¹. El aporte de fango cloacal debe medirse en unidades de N y multiplicarse por el factor de volatilización utilizado para el N del estiércol animal, $Frac_{GASM}$. La ecuación resultante para estimar la cantidad de N_2O producido por la deposición atmosférica, ahora expresada como $N_{2O(G-SUELO)}$, es:

ECUACIÓN 4.32

N_2O PROCEDENTE DE LA DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA DE N (NIVEL 1b)

$$N_{2O(G-SUELO)-N} = \{ (N_{FERT} \cdot Frac_{GASF}) + [\sum_T(N_{(T)} \cdot N_{ex(T)}) + N_{FANGOCLO}] \cdot Frac_{GASM} \} \cdot FE_4$$

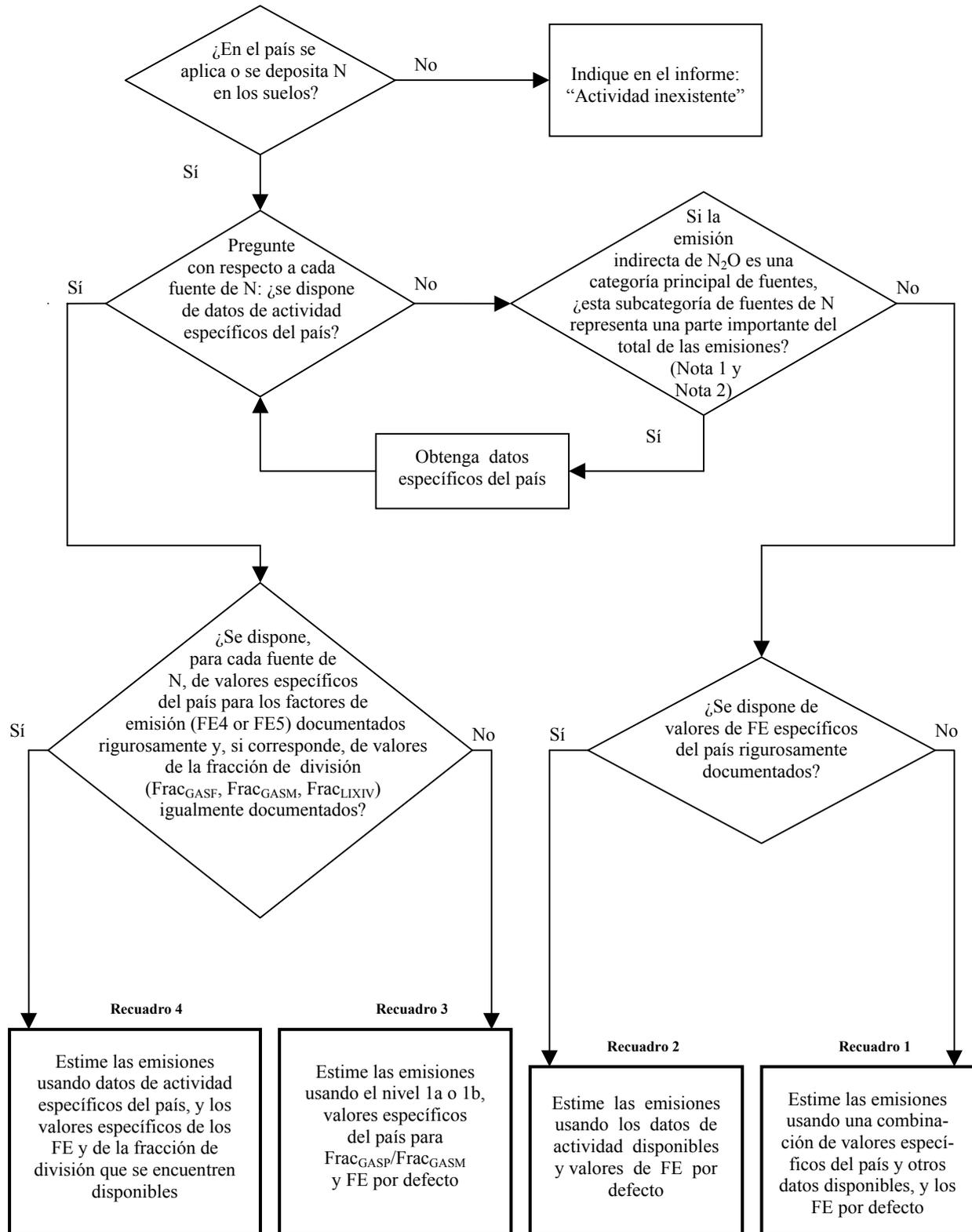
Esta ecuación garantiza una contabilización más exhaustiva de las emisiones de N_2O procedentes de la volatilización y nueva deposición del N aplicado a los suelos. Los informes sobre estas emisiones deben declararse dentro del sector Agricultura.

¹⁹ Si desea más información sobre todos estos términos, excepto FE_4 , vea la sección 4.7.

²⁰ La definición de N_{FERT} como el total de N contenido en los fertilizantes sintéticos abarcaría la aplicación a suelos forestales.

²¹ Dado que no existen datos por defecto para el nuevo parámetro $N_{FANGOCLO}$, o una orientación para obtenerlos, este ajuste solamente podría utilizarse si se contara con datos específicos del país que fueran fiables. Debe tomarse en cuenta que los datos de actividad del sedimento de las aguas residuales usados para estimar las emisiones indirectas de N_2O deben ser los mismos que los usados para estimar las emisiones directas de N_2O (véase la sección 4.7).

Figura 4.8 Árbol de decisiones aplicable a las emisiones indirectas de N₂O procedentes del nitrógeno utilizado en la agricultura



Nota 1: Una *categoría principal de fuentes* es una categoría que tiene prioridad en el sistema del inventario nacional porque su estimación influye en gran medida en el inventario total de gases de efecto invernadero directo de un país en lo que se refiere al nivel absoluto de emisiones, la tendencia de las emisiones, o ambas cosas. (Véase la sección 7.2, “Determinación de las principales categorías de fuentes”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”).

Nota 2: Como regla general, una subcategoría de fuentes es importante cuando representa entre el 25% y el 30% de las emisiones procedentes de la categoría de fuentes.

En segundo término, existen otras fuentes de N depositado en los suelos en forma de $N_2O_{(G-i)}$ que pueden contabilizarse. La estimación de $N_2O_{(G-i)}$ puede realizarse en la medida en que los datos permitan incluir el N depositado procedente de otras actividades antropogénicas asociadas a la agricultura que liberen NO_x y NH_3 . Ello incluiría las emisiones de NO_x y NH_3 (en unidades de N) procedentes de la quema prescrita de sabanas y la quema de residuos agrícolas en los campos²².

La ecuación 4.33 describe el método de *buena práctica* para la estimación de las emisiones de N_2O procedentes de estas subcategorías indirectas asociadas a la agricultura. Para cada subcategoría “i” (es decir, la quema prescrita de sabanas y la quema de residuos agrícolas en los campos), la cantidad de N emitido como NO_x y NH_3 se multiplica por FE_4 .

ECUACIÓN 4.33

N_2O PROCEDENTE DE OTRAS SUBCATEGORÍAS DE FUENTES INDIRECTAS

$$N_2O_{(G-i)}-N = (NO_{x-i} + NH_{3-i}) \bullet FE_4$$

Si bien el método para estimar estas subcategorías adicionales de emisiones indirectas de N_2O se expone en esta sección, las estimaciones deberán declararse dentro del mismo sector en el que se declare la actividad que da origen a tales emisiones.

Lixiviación/escorrentía del nitrógeno aplicado o depositado ($N_2O_{(L)}$): Una gran proporción del nitrógeno procedente de los suelos agrícolas se pierde debido a la lixiviación y la escorrentía. Este nitrógeno penetra en las aguas subterráneas, zonas ribereñas y pantanos, ríos y finalmente llega al océano, donde incrementa la producción biogénica de N_2O . Para estimar la cantidad de N aplicado que se pierde por lixiviación o escorrentía (N_{LIXIV}) utilizando el método previsto en las *Directrices del IPCC*, se suma la cantidad total de nitrógeno existente en los fertilizantes sintéticos (N_{FERT}) aplicados a los suelos, más la cantidad total de excreción de N animal en el país ($\sum_T(N_{(T)} \bullet Nex_{(T)})$), y el resultado se multiplica por la fracción de aporte de N que se pierde por lixiviación y escorrentía ($Frac_{LIXIV}$). Luego se multiplica el valor de N_{LIXIV} por el factor de emisión correspondiente a la lixiviación/escorrentía (FE_5) para obtener las emisiones de N_2O en unidades de N, $N_2O_{(L)}$. En las *Directrices del IPCC* la ecuación correspondiente se expresa de la siguiente manera:

ECUACIÓN 4.34

DEPÓSITO DE N POR LIXIVIACIÓN/ESCORRENTÍA²³

$$N_2O_{(L)}-N = [N_{FERT} + \sum_T(N_{(T)} \bullet Nex_{(T)})] \bullet Frac_{LIXIV} \bullet FE_5$$

Por razones de *buena práctica*, se deberá modificar este método para que contabilice únicamente la porción de N contenido en el estiércol animal que se aplica a los suelos (véase la sección 4.7)²⁴. Tal como está formulada actualmente, la ecuación sobreestima las emisiones de N_2O procedentes de esta fuente, ya que no descuenta de la cantidad total de N del estiércol animal que se genera en el país ($\sum_T(N_{(T)} \bullet Nex_{(T)})$) las cantidades que no se aplican al suelo (es decir, las fracciones utilizadas como combustible ($Frac_{COMB-EA}$), alimentos ($Frac_{ALIM-EA}$) y material de construcción ($Frac_{CONST-EA}$))²⁵. La ecuación corregida se presenta como ecuación 4.35:

²² La estimación de las emisiones de N_2O resultantes de la deposición atmosférica puede complicarse debido a que una fracción importante de NO_x y NH_3 puede depositarse en el océano, donde FE_4 probablemente no es aplicable, y sobre el cual existe escasa información como para poder definir un factor de emisión más apropiado. Esto es particularmente problemático en el caso del NO_x , que tiene una vida atmosférica más prolongada que el NH_3 y por ello es más probable que sea transportado a gran distancia de su fuente (Smil, 1999). Por el momento se supone que la totalidad de NO_x y NH_3 se deposita en la tierra.

²³ En la ecuación 4.34 se combinan las ecuaciones correspondientes a N_{LIXIV} y $N_2O_{(L)}$ que figuran en las *Directrices del IPCC*.

²⁴ Esta modificación garantiza que las estimaciones preparadas para esta fuente sean congruentes con las estimaciones de las emisiones directas de N_2O procedentes de los suelos agrícolas, que se describen en la sección 4.7.

²⁵ Cabe señalar que en la ecuación 4.35 no se tiene en cuenta la fracción de N volatilizado procedente de los fertilizantes y del estiércol animal. Esto no es un descuido, sino que se debe a que el método parte del supuesto de que N está sujeto a lixiviación una vez que se deposita nuevamente sobre el suelo.

ECUACIÓN 4.35**DEPÓSITO DE N CAUSADO POR LIXIVIACIÓN/ESCORRENTÍA (ECUACIÓN AMPLIADA PARA INCLUIR EL ESTIÉRCOL ANIMAL)**

$$N_2O_{(L)}-N = N_{FERT} + \left\{ \sum_T (N_{(T)} \cdot N_{EX(T)}) \cdot [1 - (\text{Frac}_{\text{COMB-EA}} + \text{Frac}_{\text{ALIM-EA}} + \text{Frac}_{\text{CONST-EA}})] \right\} \cdot \text{Frac}_{\text{LIXIV}} \cdot \text{FE}_5$$

Al igual que en el caso de la estimación de $N_2O_{G-SUELO}$, si se cuenta con los datos necesarios deberán incluirse en la estimación (nivel 1b) las emisiones indirectas vinculadas a la aplicación de fango cloacal a los suelos. En ese caso, el término $N_2O_{(L)}$ pasará a ser $N_2O_{L-SUELO}$ y la ecuación para estimar las emisiones indirectas de N_2O causadas por lixiviación y escorrentía del N aplicado a los suelos será la siguiente:

ECUACIÓN 4.36**DEPÓSITO DE N CAUSADO POR LIXIVIACIÓN/ESCORRENTÍA (ECUACIÓN AMPLIADA PARA INCLUIR EL FANGO CLOACAL)**

$$N_2O_{(L-SUELO)}-N = (N_{FERT} + \left\{ \sum_T (N_{(T)} \cdot N_{EX(T)}) \cdot [1 - (\text{Frac}_{\text{COMB-EA}} + \text{Frac}_{\text{ALIM-EA}} + \text{Frac}_{\text{CONST-EA}})] \right\} + N_{\text{FANGOCLO}}) \cdot \text{Frac}_{\text{LIXIV}} \cdot \text{FE}_5$$

Es preciso tener en cuenta que, al estimar la cantidad de N del estiércol animal aplicado a los suelos, es posible que deba hacerse el cálculo para cada una de las principales especies o categorías “i” de animales, puesto que las fracciones de estiércol animal que se utilizan como combustible, alimentos y materiales de construcción pueden no ser constantes en todas esas especies y categorías. En ese caso, la ecuación 4.36 deberá reformularse de la siguiente manera:

ECUACIÓN 4.37**DEPÓSITO DE N CAUSADO POR LIXIVIACIÓN/ESCORRENTÍA (ECUACIÓN AMPLIADA PARA INCLUIR LAS PRINCIPALES ESPECIES O CATEGORÍAS DE ANIMALES)**

$$N_2O_{(L-SUELO)}-N = \left\{ N_{FERT} + \sum_i (N_{(EX)_i} \cdot [1 - (\text{Frac}_{(\text{COMB-EA})_i} + \text{Frac}_{(\text{ALIM-EA})_i} + \text{Frac}_{(\text{CONST-EA})_i}]) \right\} + N_{\text{FANGOCLO}} \cdot \text{Frac}_{\text{LIXIV}} \cdot \text{FE}_5$$

Las estimaciones resultantes de las ecuaciones 4.35, 4.36 y 4.37 deberán declararse como parte de las emisiones procedentes de los suelos agrícolas, dentro del sector Agricultura.

El término $N_2O_{(L)}$ también puede ampliarse para incluir otras fuentes de N depositado en los suelos $N_2O_{(L-i)}$. Si los datos lo permiten, esto deberá hacerse siempre y cuando sea posible incluir la deposición procedente de otras actividades antropogénicas asociadas a la agricultura que liberen NO_x y NH_3 . Ello incluiría las emisiones de NO_x y NH_3 (en unidades de N) procedentes de la quema prescrita de sabanas y de la quema de residuos agrícolas en los campos.

La ecuación 4.38 ilustra el método de *buena práctica* para estimar las emisiones de N_2O procedentes de estas otras subcategorías de fuentes indirectas. Para cada fuente “i” (es decir, la quema prescrita de sabanas y la quema de residuos agrícolas en los campos), la cantidad de N emitido como NO_x y NH_3 se multiplica por $\text{Frac}_{\text{LIXIV}}$ y FE_5 .

ECUACIÓN 4.38

DEPÓSITO DE N CAUSADO POR LIXIVIACIÓN/ESCORRENTÍA (ECUACIÓN AMPLIADA PARA INCLUIR OTRAS SUBCATEGORÍAS DE FUENTES INDIRECTAS)

$$N_2O_{(L-i)}-N = (NO_{x-i} + NH_{3-i}) \bullet \text{Frac}_{LIXIV} \bullet FE_5$$

Aunque el método para la estimación de las emisiones indirectas de N_2O procedentes de estas fuentes adicionales se presenta en esta sección, las estimaciones resultantes deberán declararse dentro de la categoría de fuentes a la que corresponda la actividad que dio origen a las emisiones.

Consumo humano y posterior tratamiento de las aguas residuales urbanas ($N_2O_{(S)}$): El consumo de alimentos por los seres humanos tiene como resultado la producción de excrementos, que pueden ser tratados en sistemas sépticos o instalaciones de tratamiento de aguas residuales, para más tarde verterse en sistemas de aguas subterráneas, eliminarse directamente en la tierra o descargarse en una fuente acuática (p.ej., ríos y estuarios). El N_2O puede producirse durante todos esos procesos, mediante la nitrificación y desnitrificación del nitrógeno presente en las aguas residuales. En las *Directrices del IPCC* se parte de la base de que las emisiones de N_2O asociadas al tratamiento de las aguas residuales y a su disposición en tierra son insignificantes, de manera que la totalidad del nitrógeno presente en ellas se incorpora a los ríos y estuarios, donde queda disponible para su nitrificación y desnitrificación. Este método también reconoce que parte del N de las aguas residuales puede aplicarse al suelo como fango cloacal. De acuerdo con el método propuesto en las *Directrices del IPCC*²⁶ para estimar la cantidad total de nitrógeno contenido en las aguas residuales ($N_{AGUARES}$), se debe multiplicar el consumo anual de proteínas per cápita (PROTEÍNA, en kg de proteínas/persona-año) por la población nacional ($N_{I\text{POBL}}$), y por la fracción de dicha proteína constituida por nitrógeno (Frac_{NPR}). Luego se multiplica $N_{AGUARES}$ por el factor de emisión correspondiente a las emisiones indirectas procedentes del tratamiento de las aguas residuales (FE_6) para obtener las emisiones de N_2O (en unidades de N) procedentes de la descarga de aguas residuales ($N_2O_{(S)}$). Las dos ecuaciones que proponen las *Directrices del IPCC* para calcular las emisiones de N_2O procedentes de la descarga de aguas residuales se combinan en una única ecuación de *buena práctica*, que es la siguiente:

ECUACIÓN 4.39

EMISIONES DE N_2O PROCEDENTES DE LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES²⁷

$$N_2O_{(S)}-N = \text{PROTEÍNA} \bullet N_{I\text{POBL}} \bullet \text{Frac}_{NPR} \bullet FE_6$$

Es una *buena práctica* aplicar este método básico, siempre y cuando se haya utilizado también un método básico para estimar las emisiones indirectas procedentes de la deposición atmosférica y de la lixiviación/escorrentía (es decir, si se usaron las ecuaciones 4.31 y 4.35). Sin embargo, si se preparó una estimación más detallada respecto de esas dos vías, también deberá aplicarse un método más detallado para estimar las emisiones procedentes de esta subcategoría. En ese caso, y para evitar contabilizar por partida doble la cantidad de N presente en las aguas residuales, se deberá descontar de $N_{AGUARES}$ la cantidad de N existente en las aguas residuales que se apliquen a los suelos en forma de fango cloacal ($N_{FANGOCLO}$), la que ya se habrá contabilizado al estimar tanto $N_2O_{(G-SUELO)}$ como $N_2O_{(L-SUELO)}$. Por lo tanto, la ecuación más detallada para estimar $N_2O_{(S)}$ es:

²⁶ En la sección 6.4, “Óxido nitroso procedente del excremento humano”, del volumen 3 de las *Directrices del IPCC*, se da una orientación general para estimar las emisiones de N_2O procedentes de los excrementos humanos. El lector puede encontrar una descripción detallada del método propuesto en la sección 4.5.4 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC*.

²⁷ En la ecuación 4.39 se combinan las ecuaciones correspondientes a $N_{AGUARES}$ y $N_2O_{(S)}$ que figuran en las *Directrices del IPCC*.

ECUACIÓN 4.40

EMISIONES DE N₂O PROCEDENTES DE LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES
(ECUACIÓN AMPLIADA PARA INCLUIR EL FANGO CLOACAL)

$$N_2O_{(S)}-N = [(PROTEÍNA \bullet N_{POBL} \bullet Frac_{NPR}) - N_{FANGOCLO}] \bullet FE_6$$

Estas emisiones deberán declararse dentro del rubro “Aguas residuales domésticas y efluentes industriales”, en el capítulo 5, “Desechos” (sección 5.2).

4.8.1.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

En el método para estimar las emisiones indirectas de N₂O se incluyen tres factores de emisión: uno de ellos vinculado al nitrógeno depositado (FE₄), el segundo asociado a la pérdida de nitrógeno por lixiviación y escorrentía (FE₅) y el tercero relacionado con el contenido de nitrógeno de las aguas residuales y efluentes descargados (FE₆).

Existe muy poca información, incluso a escala mundial, que permita especificar los valores de FE₄, FE₅ y FE₆. Por lo tanto, si bien en las *Directrices del IPCC* se exhorta normalmente a los organismos encargados de los inventarios a que sustituyan los factores de emisión por defecto por datos específicos del país, en el caso particular de esta categoría de fuentes conviene utilizar valores por defecto, a menos que se disponga de valores específicos del país que estén rigurosamente documentados y hayan sido revisados por especialistas en la materia. En el siguiente análisis se resumen los valores por defecto y se describen algunas mejoras que se han introducido en ellos. Los factores de emisión por defecto cuyo uso recomienda el IPCC como *buen práctica* se indican en el cuadro 4.18, “Factores de emisión por defecto para la estimación de las emisiones indirectas de N₂O procedentes del N usado en la agricultura”.

- **Factor de emisión del nitrógeno depositado (FE₄):** El valor por defecto de FE₄ es 0,01 kg de N₂O-N/kg de NH₄-N y NO_x-N depositado. Los valores de FE₄ específicos de un país deberán usarse con suma cautela, debido a la especial complejidad del transporte atmosférico transfronterizo. Si bien los organismos encargados de los inventarios pueden tener mediciones específicas de la deposición de N y del flujo conexo de N₂O, en muchos casos el N depositado puede no haberse originado en su país. De manera similar, parte del N que se volatiliza en su país puede ser transportado y depositado en otro país, en el que las condiciones que afectan a la fracción emitida como N₂O pueden ser diferentes.
- **Factor de emisión correspondiente a los procesos de lixiviación y escorrentía (FE₅):** Este valor deberá actualizarse sobre la base de un nuevo examen realizado recientemente de uno de los factores que se utilizaron para calcularlo. No obstante, será necesario realizar mayores investigaciones antes de poder establecer un nuevo valor por defecto.
- **Factor de emisión de las aguas residuales y efluentes descargados:** El valor por defecto de FE₆ es 0,01 kg de N₂O-N/kg de N. Este valor se obtuvo agregando estimaciones de los factores de emisión de los ríos (FE_{5-r} = 0,0075) y estuarios (FE_{5-e} = 0,0025). Los valores de FE₆ específicos de un país deberán utilizarse con suma cautela debido a la complejidad de esta vía de emisión.

CUADRO 4.18 FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LA ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES INDIRECTAS DE N ₂ O PROCEDENTES DEL N USADO EN LA AGRICULTURA	
Factor de emisión	Valor por defecto del IPCC
FE ₄ (kg de N ₂ O-N/kg de NH ₄ -N y NO _x -N depositado)	0,01
FE ₅ (kg de N ₂ O-N/kg de N perdido por lixiviación y escorrentía)	0,025
FE ₆ (kg de N ₂ O-N/kg de N en aguas residuales y efluentes descargados)	0,01

Fuente: *Directrices del IPCC*, Manual de Referencia, cuadro 4-23.

4.8.1.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Gran parte de los datos de actividad necesarios para estimar las emisiones indirectas de N_2O , tales como el consumo de fertilizantes y la excreción de nitrógeno por parte del ganado, se habrán determinado previamente al estimar las emisiones procedentes de otras categorías de fuentes. En el cuadro 4.19, “Datos necesarios para estimar las emisiones indirectas de N_2O ”, se resumen los datos de actividad básicos requeridos y se describe la forma de obtenerlos. Es fundamental que se apliquen los mismos conjuntos de datos para todas las categorías de fuentes, a fin de garantizar la coherencia de las estimaciones de las emisiones.

Como puede verse en el cuadro 4.19, la mayoría de los datos de actividad serán datos ya determinados en el proceso de estimación de las emisiones procedentes de otras categorías de fuentes. Los métodos de *buena práctica* para la obtención de dichos datos se describen en las secciones pertinentes. En el análisis que figura a continuación se resumen los procedimientos de *buena práctica* para la obtención de los datos de actividad:

- **Estimación de las emisiones de NO_x y NH_3 procedentes de las nuevas categorías de fuentes incluidas por razones de buena práctica:** Es necesario contar con datos sobre las emisiones de NO_x y NH_3 que resultan de la quema de sabanas y de residuos agrícolas para poder estimar las emisiones de N_2O procedentes de dichas actividades. Los métodos de estimación y los factores de emisión por defecto (o la relación entre emisiones) de las emisiones de NO_x procedentes de estas subcategorías de fuentes se indican en los respectivos sectores o subsectores de las *Directrices del IPCC*. Para estimar las emisiones de NH_3 deberán usarse los mismos métodos que para estimar las emisiones de NO_x , pero sustituyendo los factores de emisión de NO_x por los de NH_3 . Cuando no se disponga de factores de emisión específicos del país, se podrá utilizar un factor de emisión por defecto de 0,038 Gg NH_3 -N/Gg de N contenido en los combustibles (Crutzen y Andreae, 1990)²⁸ para estimar las emisiones de NH_3 procedentes de la quema de sabanas y de residuos agrícolas.

²⁸ El cuadro 2 de Andreae y Crutzen (1990) constituye la base de los factores de emisión de NO_x y NH_3 asociados a la quema de biomasa. En ese cuadro se menciona también un factor de emisión de 0,034 moles de RCN por mol de nitrógeno total contenido en la biomasa, análogo al factor de emisión de NH_3 . El RCN es una forma de nitrógeno que existe a nivel biológico y que por lo tanto está sujeto a la nitrificación y desnitrificación y a la producción de N_2O de origen microbiano. Además, el cuadro 2 de Andreae y Crutzen (1990) sólo toma en cuenta aproximadamente el 70% del N de la biomasa, lo que significa que la combustión puede producir otras formas aún no identificadas de nitrógeno de origen biológico. En consecuencia, es probable que este método, al tomar en cuenta solamente las emisiones de NO_x y NH_3 , esté subestimando la cantidad total de nitrógeno de origen biológico liberado durante la quema de biomasa.

CUADRO 4.19
DATOS NECESARIOS PARA ESTIMAR LAS EMISIONES INDIRECTAS DE N₂O

Datos de actividad	Forma de obtenerlos
N_{FERT}	De la estimación del valor de N_{FERT} obtenido para las emisiones directas de N ₂ O procedentes de los suelos agrícolas
$\sum_T(N_{(T)} \cdot N_{\text{ex}(T)})$	De la estimación del valor de $\sum_T(N_{(T)} \cdot N_{\text{ex}(T)})$ obtenido para las emisiones directas de N ₂ O procedentes de los suelos agrícolas
N_{FANGOCLO}	De la estimación del valor de N_{FANGOCLO} obtenido para las emisiones directas de N ₂ O procedentes de los suelos agrícolas
PROTEÍNA	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)
N_{rPOBL}	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)
Frac_{NPR}	Véase el cuadro 4-24 del Manual de Referencia de las <i>Directrices del IPCC</i>
$\text{Frac}_{\text{LIXIV}}$	Véase el cuadro 4-24 del Manual de Referencia de las <i>Directrices del IPCC</i>
$\text{Frac}_{\text{GASF}}$	Véase el cuadro 4-19 del Manual de Referencia de las <i>Directrices del IPCC</i>
$\text{Frac}_{\text{GASM}}$	Véase el cuadro 4-19 del Manual de Referencia de las <i>Directrices del IPCC</i>
$\text{Frac}_{\text{COMB-EA}}$	De la estimación del valor de $\text{Frac}_{\text{COMB-EA}}$ obtenido para las emisiones directas de N ₂ O procedentes de los suelos agrícolas
$\text{Frac}_{\text{ALIM-EA}}$	De la estimación del valor de $\text{Frac}_{\text{ALIM-EA}}$ obtenido para las emisiones directas de N ₂ O procedentes de los suelos agrícolas
$\text{Frac}_{\text{CONST-EA}}$	De la estimación del valor de $\text{Frac}_{\text{CONST-EA}}$ obtenido para las emisiones directas de N ₂ O procedentes de los suelos agrícolas

- **Fraciones de división aplicables a la volatilización ($\text{Frac}_{\text{GASF}}$, $\text{Frac}_{\text{GASM}}$):** Las *Directrices del IPCC* proponen valores por defecto de 10% y 20%, respectivamente, para la fracción de nitrógeno procedente de la aplicación de fertilizantes sintéticos ($\text{Frac}_{\text{GASF}}$) y del estiércol animal y el fango cloacal ($\text{Frac}_{\text{GASM}}$), que se volatiliza como NH₃ y NO_x. Se pueden utilizar fracciones de volatilización específicas del país, si se dispone de documentación suficiente que las avalen.
- **Fracción de división aplicable a la lixiviación ($\text{Frac}_{\text{LIXIV}}$):** Las *Directrices del IPCC* asignan a $\text{Frac}_{\text{LIXIV}}$ un valor por defecto de 30%. No obstante, debe tenerse en cuenta que este valor por defecto se basa principalmente en los estudios sobre el balance de masas, comparando los aportes de N a la agricultura con el N recuperado en los ríos. Las prácticas agrícolas (es decir, el riego, la labranza frecuente y el drenaje por tubos de arcilla) pueden propiciar grandes pérdidas por lixiviación del N aplicado a los suelos agrícolas. Sin embargo, para el N que se deposita *fuera* de las tierras agrícolas, puede ser más apropiado asignar a $\text{Frac}_{\text{LIXIV}}$ un valor más bajo. Es posible que en revisiones futuras de este método se tenga en cuenta este aspecto. Debido a las dificultades que existen para determinar un factor fiable para esta categoría de fuentes, los organismos encargados de los inventarios deberán actuar con cautela y proveerse de documentación rigurosa cuando utilicen un factor específico del país.
- **Fracción de división del nitrógeno existente en las proteínas (Frac_{NPR}):** Las *Directrices del IPCC* proponen un valor por defecto de 10% para la fracción de proteína animal y vegetal constituida por nitrógeno (Frac_{NPR}). Este término no muestra grandes variaciones, por lo que no es necesario contar con valores específicos de cada país.

4.8.1.4 EXHAUSTIVIDAD

Para lograr una cobertura exhaustiva de las emisiones indirectas de N₂O procedentes del nitrógeno utilizado en la agricultura es necesario estimar las emisiones procedentes de todas las actividades agrícolas que aporten N a los suelos (es decir, N_{FERT} , $\sum_T(N_{(T)} \cdot N_{\text{ex}(T)})$, y N_{FANGOCLO}). Si se dispone de los datos necesarios, se pueden incluir también las emisiones procedentes de la aplicación de N_{FANGOCLO} (a todos los suelos). Una cobertura completa de las emisiones indirectas de N₂O procedentes de los excrementos humanos exige la estimación de las emisiones procedentes de la descarga del N contenido en las aguas residuales (es decir, N_{AGUARES} , N_{AGUARES} menos N_{FANGOCLO}).

Si se cuenta con los datos necesarios, también deberán incluirse en el inventario las emisiones indirectas de N₂O procedentes de la quema de sabanas y de residuos agrícolas. Estas estimaciones se basan en las emisiones directas de NO_x y NH₃ procedentes de dichas actividades.

4.8.1.5 DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Las estimaciones de las emisiones a lo largo de toda una serie temporal deberán elaborarse por el mismo método (en términos de su grado de detalle). No se prevé que haya variaciones interanuales de Frac_{GASF}, Frac_{GASM}, Frac_{LIXIV}, Frac_{NPR}, FE₄, FE₅ y FE₆, a menos que se adopten medidas de mitigación. Estos factores sólo podrán modificarse con la debida justificación y siempre que se disponga de documentación suficiente. Si como resultado de futuras investigaciones se obtienen nuevos valores por defecto de cualquiera de estas variables, los organismos a cargo de los inventarios deberán calcular nuevamente sus emisiones históricas. Como orientación general sobre las *buenas prácticas* conducentes a garantizar la coherencia de una serie temporal, véase la sección 7.3.2.2. del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”.

4.8.1.6 EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

La información disponible sobre los factores de emisión (FE₄, FE₅ y FE₆), así como sobre las fracciones de lixiviación y volatilización, es escasa y extremadamente variable. El dictamen de los expertos indica que las incertidumbres en los factores de emisión son, en términos de su magnitud y fracciones de volatilización, por lo menos de aproximadamente +/-50%. Las incertidumbres en las estimaciones de los datos de actividad deben tomarse de las correspondientes categorías de fuentes de emisiones directas. En el capítulo 6, “La cuantificación de las incertidumbres en la práctica”, se brinda asesoramiento sobre la forma de cuantificar las incertidumbres en la práctica, inclusive combinando los dictámenes de expertos y los datos empíricos con las estimaciones de la incertidumbre general.

4.8.2 Presentación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información necesaria para preparar las estimaciones del inventario nacional de emisiones, como se describe en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”. Las hojas de trabajo que se incluyen en las *Directrices del IPCC* (Libro de Trabajo) para el cálculo de las emisiones indirectas de N₂O procedentes de los suelos agrícolas permiten documentar de manera transparente el método por defecto previsto en dichas *Directrices*, así como los datos utilizados en la aplicación del método. Sin embargo, para aplicar un método de *buena práctica*, es necesario ampliar esas hojas de trabajo para incorporar las nuevas variables que se han sumado a los cálculos correspondientes a la deposición y la lixiviación (es decir, N_{FANGOCLO}, Frac_{FCOMB-EA}, Frac_{ALIM-EA} y Frac_{CONST-EA}), y modificarlas de manera que reflejen las ecuaciones 4.31 y 4.35 o 4.36.

Las hojas de trabajo incluidas en el Libro de Trabajo de las *Directrices del IPCC* que se utilizan para calcular las emisiones indirectas de N₂O procedentes de los excrementos humanos también permiten documentar en forma transparente el método por defecto y los datos utilizados para aplicarlo. Sin embargo, y por razones de *buena práctica*, es necesario ampliar esas hojas de trabajo para incorporar la nueva variable que se ha agregado al cálculo (es decir, N_{FANGOCLO}), y modificarlas para que reflejen la ecuación 4.40.

A fin de aplicar criterios de *buena práctica* en lo que respecta a las emisiones indirectas de N₂O procedentes de la quema de sabanas y de residuos agrícolas, es necesario elaborar nuevas hojas de trabajo para cada una de estas subcategorías. La hoja de trabajo correspondiente a las emisiones indirectas de N₂O procedentes de la quema de sabanas y de residuos agrícolas deberá reflejar las ecuaciones 4.33 y 4.38.

Los cuadros de presentación de datos que figuran en las Instrucciones para realizar el informe resultan inadecuados. Las emisiones directas e indirectas de N₂O procedentes de fuentes agrícolas se declaran en forma conjunta, dentro de un mismo rubro titulado “suelos agrícolas”, en lugar de declararse en forma separada. Por otra parte, el título no es apropiado en lo que respecta a las emisiones indirectas, ya que gran parte de éstas proviene de sistemas acuáticos. En aras de una mayor transparencia de los informes, las estimaciones de las emisiones procedentes de la deposición y la lixiviación deberían declararse en forma separada. En la sección “Desechos” deberá agregarse un rubro específico correspondiente a las emisiones indirectas procedentes de los excrementos humanos. También deberán agregarse, en los cuadros de presentación de datos, rubros correspondientes a las nuevas fuentes indirectas de N₂O (quema de sabanas y de residuos agrícolas).

Además de llenar los formularios del informe, se deberá proporcionar la siguiente información adicional para documentar las estimaciones de las emisiones indirectas de N₂O:

- **Datos de actividad:** Las referencias de todos los datos de actividad utilizados en los cálculos (es decir, la cita completa de las bases de datos estadísticos de las que se extrajeron los datos) y, en los casos en que dichos datos no se hayan obtenido directamente de bases de datos, la información y los supuestos utilizados para determinarlos. En esta documentación se deberá indicar la frecuencia con que se reunieron y estimaron los datos, así como una estimación de su exactitud y precisión.
- **Factores de emisión:** Las referencias de los factores de emisión que se hayan utilizado (valores específicos por defecto del IPCC u otros). En los inventarios en los que se hayan aplicado factores de emisión específicos de un país o una región en particular, o métodos nuevos (distintos de los métodos por defecto del IPCC), deberán describirse y documentarse en forma exhaustiva los fundamentos científicos de dichos factores de emisión y métodos. Ello incluye la definición de los parámetros de entrada y la descripción del proceso que tuvo como resultado esos factores de emisión y métodos, así como de las fuentes y la magnitud de las incertidumbres.
- **Resultados de las emisiones:** Deberá explicarse toda fluctuación significativa en las emisiones que se observe de un año para otro. A esos efectos será necesario establecer una distinción entre las variaciones en los niveles de actividad y los cambios registrados en los factores de emisión de un año para otro, y documentar los motivos de tales cambios. Si se utilizan distintos factores de emisión en años diferentes, deberán explicarse y documentarse las razones que determinaron la aplicación de tal criterio.

4.8.3 Garantía de la calidad/control de calidad de los inventarios (GC/CC)

Es una *buena práctica* llevar a cabo controles de calidad, como se describe en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, y hacer revisar por expertos las estimaciones de las emisiones. También puede ser pertinente adoptar medidas adicionales de control de calidad, como se describe en los procedimientos de nivel 2, en el capítulo 8, y aplicar otros procedimientos de garantía de la calidad, sobre todo si se utilizan métodos de niveles más altos para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes.

También es una *buena práctica* complementar los procedimientos generales de GC/CC relacionados con el procesamiento, el manejo y la presentación de los datos que se describen en el capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, con los procedimientos específicos de las distintas categorías de fuentes que se detallan a continuación. Las personas encargadas de reunir los datos serán las responsables de revisar los métodos de reunión de datos, examinar los datos para comprobar que se hayan reunido y agregado o desagregado correctamente, y confrontarlos con los datos de años anteriores para cerciorarse de que sean razonables. La base de las estimaciones, ya sean estudios estadísticos o “estimaciones de escritorio”, deberán revisarse y describirse como parte de los procedimientos de CC. La documentación es un componente fundamental del proceso de revisión, ya que permite a los revisores detectar errores y sugerir mejoras.

Revisión de los factores de emisión

- El organismo a cargo del inventario deberá examinar los parámetros, las ecuaciones y los cálculos utilizados para determinar los factores de emisión. Estas medidas de CC son de particular importancia en lo que respecta a las subcategorías de esta categoría de fuentes, debido al número de parámetros utilizados para la determinar los factores de emisión.
- Si se utilizan factores específicos del país, el organismo a cargo del inventario deberá compararlos con los factores por defecto del IPCC. Esto es particularmente importante en lo que respecta a los factores de emisión del N depositado y de las descargas de aguas residuales, en los que es preciso obrar con cautela al calcular factores específicos del país.

Examen de los datos de actividad

- En vista de que muchos de los parámetros de actividad utilizados para esta categoría de fuentes también se aplican a otras fuentes agrícolas, es fundamental que se utilicen valores congruentes entre sí.
- Si se utilizan valores específicos del país para diversos parámetros (p.ej., $Frac_{LIXIV}$), el organismo a cargo del inventario deberá compararlos con los valores por defecto del IPCC. La formulación de valores específicos del país también deberá documentarse rigurosamente.

Revisión externa

- Las estimaciones del inventario, así como todos los parámetros y factores de emisión importantes, deberán ser revisados por especialistas en agricultura (y en particular por especialistas en el ciclo del nitrógeno), así como por expertos de la industria agrícola y otros interesados.

4.9 EMISIONES DE CH₄ PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ARROZ

4.9.1 Aspectos metodológicos

La descomposición anaeróbica de la materia orgánica en los arrozales anegados produce escapes de metano (CH₄) a la atmósfera, debido principalmente al transporte procedente de las plantas de arroz. La cantidad anual de metano que se emite desde una superficie dedicada al cultivo del arroz depende del cultivar de arroz utilizado, el número y la duración de los cultivos, el tipo de suelo y la temperatura, las prácticas de manejo del agua y el uso de fertilizantes y otros aditivos orgánicos e inorgánicos.

4.9.1.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Las *Directrices del IPCC* describen un método para estimar las emisiones procedentes de la producción de arroz, en el que se utilizan las superficies cosechadas anualmente²⁹ y factores de emisión integrados para tomar en cuenta las variaciones estacionales, basados en la superficie³⁰. En su forma más sencilla, el método del IPCC puede aplicarse utilizando datos de actividad nacionales (p.ej., la superficie total cosechada a nivel nacional), y un único factor de emisión. Sin embargo, las condiciones de cultivo del arroz (p.ej., las prácticas de manejo del agua, el uso de fertilizantes orgánicos, el tipo de suelo) pueden variar enormemente dentro de un mismo país, y ello puede afectar en gran medida las emisiones estacionales de CH₄. El método puede modificarse para tener en cuenta estas variaciones en las condiciones de cultivo, dividiendo la superficie total cosechada en el país en subunidades (p.ej., superficies cosechadas con distintos regímenes de manejo del agua), y multiplicando la superficie cosechada en cada subunidad por un factor de emisión que sea representativo de las condiciones que definen a cada una de esas subunidades. Con este método de desagregación, las emisiones anuales totales serán iguales a la suma de las emisiones procedentes de cada subunidad de superficie cosechada. En consecuencia, la ecuación básica será la siguiente:

ECUACIÓN 4.41

EMISIONES DE CH₄ PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ARROZ

$$\text{Emisiones de la producción de arroz (Tg/año)} = \sum_i \sum_j \sum_k (\text{FE}_{ijk} \cdot \text{S}_{ijk} \cdot 10^{-12})$$

donde:

FE_{ijk} = un factor de emisión integrado para tomar en cuenta las variaciones estacionales, correspondiente a las condiciones i, j y k , en g de CH₄/m²

S_{ijk} = superficie anual cosechada en las condiciones i, j y k , en m²/año

i, j y k = representan diferentes ecosistemas, regímenes de manejo del agua y otras condiciones que pueden determinar variaciones en las emisiones de CH₄ procedentes del arroz (p.ej. la adición de fertilizantes orgánicos)

Las condiciones diferentes que deberán tomarse en cuenta son, entre otras, el tipo de ecosistema arrocero, el régimen de manejo del agua, el tipo y la cantidad de fertilizantes orgánicos y el tipo de suelo. Los principales tipos de ecosistemas arroceros y regímenes de manejo del agua en cada tipo de ecosistema se enumeran en el cuadro 4.20, “Factores de escala por defecto del IPCC para las emisiones de CH₄ procedentes de los ecosistemas arroceros y los regímenes de manejo del agua en campos anegados continuamente”. Si la producción de arroz tiene lugar en zonas claramente diferenciadas de un país (p.ej., un distrito, una provincia), la ecuación anterior

²⁹ Cuando se obtiene más de una cosecha durante el mismo año, la “superficie cosechada” es igual a la suma de las superficies cultivadas para cada cosecha.

³⁰ Un factor de emisión representa el total de las emisiones producidas durante toda la estación de la cosecha (desde la preparación de la tierra hasta la cosecha o el drenaje posterior a la cosecha) por unidad de superficie. Como se describe en el apéndice 4A.3, los factores de emisión deben basarse en mediciones realizadas durante todo el período de anegamiento, y reflejar los flujos de metano atrapado en el suelo que generalmente se producen después del drenaje.

deberá aplicarse a cada zona. Las emisiones nacionales son iguales a la suma de las estimaciones regionales. Además, si durante el año se obtiene más de una cosecha en una determinada región, y si las condiciones de cultivo (p.ej., el uso de fertilizantes orgánicos) varían de una estación de cosecha a otra, las emisiones procedentes de esa región deberán estimarse para cada estación de cosecha, sumando luego las emisiones de todas las estaciones. En ese caso, los datos de actividad se referirán a la superficie cultivada, más que a la superficie cosechada.

Si el arroz es una *categoría principal de fuentes* (de acuerdo con la definición que se da de éstas en el capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”), se exhorta a los organismos encargados de los inventarios a:

- Aplicar el método del IPCC con el máximo grado de desglose posible;
- Incorporar el mayor número posible de características (*i, j, k*, etc.) que influyan en las emisiones de CH₄;
- Establecer factores de emisión específicos del país, que reflejen la influencia de esas características a nivel local, preferiblemente mediante la reunión de datos de campo;
- Utilizar factores de emisión y datos de actividad con el mismo nivel de agregación.

El árbol de decisiones de la figura 4.9, “Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH₄ procedentes de la producción de arroz”, guía a los organismos encargados de los inventarios a través del proceso de aplicación del método de *buena práctica* del IPCC. En este árbol de decisiones puede verse, en forma implícita, un mecanismo jerárquico de desagregación para la aplicación del método del IPCC. Dentro de esa escala jerárquica, el nivel de desagregación utilizado por cada organismo encargado del inventario dependerá de los datos de actividad y los factores de emisión de que disponga, así como de la importancia del arroz como causante de emisiones de gases de efecto invernadero en el país. En el texto que figura a continuación del árbol de decisiones se describen los pasos concretos y las variables específicas que integran dicho árbol, así como el razonamiento lógico que lo sustenta.

4.9.1.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Lo ideal es que los organismos encargados de los inventarios dispongan de factores de emisión integrados para tomar en cuenta las variaciones estacionales correspondientes a cada conjunto de condiciones de producción de arroz normalmente imperantes en el país, formulados a partir de mediciones uniformes realizadas en el terreno. Estos factores de emisión locales, basados en mediciones, reflejan la combinación específica de distintas condiciones que influyen implícitamente en las emisiones de CH₄ en una zona determinada. Las condiciones más importantes que influyen en las emisiones procedentes del arroz se resumen en el recuadro 4.2:

RECUADRO 4.2**CONSIDERACIONES PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR DE EMISIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE ARROZ**

Al calcular los factores de emisión, deben tomarse en cuenta las siguientes características de la producción de arroz:

Diferencias regionales en las prácticas de cosecha de arroz: Si el país tiene una gran extensión y regiones agrícolas claramente diferenciadas, deberá realizarse un conjunto de mediciones separado para cada región.

Cosechas múltiples: Si se obtiene más de una cosecha durante el año en una superficie determinada, y las condiciones de cultivo varían de una estación de cosecha a otra, deberán medirse las emisiones correspondientes a cada estación.

Tipo de ecosistema: Como mínimo, deberán realizarse mediciones separadas de cada ecosistema (es decir, producción de arroz de regadío, de secano y de agua profunda).

Régimen de manejo del agua: Se deberá desglosar cada ecosistema a fin de reflejar las distintas prácticas de manejo del agua (es decir, tierras anegadas continuamente o intermitentemente).

Incorporación de fertilizantes orgánicos: Las mediciones deberán diseñarse de manera tal que permitan cuantificar el efecto de los fertilizantes orgánicos en las emisiones de CH₄ (p.ej., abono verde, paja de arroz, estiércol animal, compostaje, malas hierbas acuáticas y otros tipos de biomasa acuática, etc.).

Tipo de suelo: Se exhorta a los organismos encargados de los inventarios a que hagan todo lo posible por realizar mediciones de los principales tipos de suelos dedicados al cultivo del arroz, debido a la gran influencia que puede ejercer el tipo de suelo sobre las emisiones de CH₄. Hasta el momento, el factor suelo no se ha tomado en cuenta en las *Directrices del IPCC* porque no ha sido posible obtener datos sobre la superficie cosechada por tipo (principal) de suelo de las fuentes habituales de datos de actividad. Sin embargo, en vista de los últimos avances en lo que respecta a los modelos de simulación de las emisiones de CH₄ procedentes de arrozales, dentro de muy poco tiempo se podrán obtener factores de escala para los principales tipos de suelos dedicados al cultivo del arroz (p.ej., Ding y otros, 1996, y Huang y otros, 1998). La combinación de factores de escala específicos de determinados tipos de suelo, basados en mediciones o en modelos de simulación, con el desglose de la superficie cultivada con arroz por tipo de suelo, si se dispone de tales datos, permitirá lograr una mayor exactitud en los inventarios.

Dado que en algunos países se cultiva arroz en muy diversas condiciones, quizás no sea posible calcular una serie completa de factores de emisión locales basados en mediciones. En esos casos, se exhorta a los organismos encargados de los inventarios a que, en primer lugar, obtengan un factor de emisión integrado para tomar en cuenta las variaciones estacionales para arrozales anegados continuamente sin fertilizantes orgánicos (fe_b), el cual se usará como punto de partida, y a que utilicen factores de escala para ajustar el factor de emisión a las distintas condiciones. El factor de emisión así ajustado podrá obtenerse mediante la siguiente ecuación:

ECUACIÓN 4.42**AJUSTE DEL FACTOR DE EMISIÓN INTEGRADO PARA TOMAR EN CUENTA LAS VARIACIONES ESTACIONALES**

$$FE_i = fe_b \cdot FS_w \cdot FS_o \cdot FS_s$$

donde:

FE_i = factor de emisión integrado para tomar en cuenta las variaciones estacionales para una determinada superficie cosechada, ajustado

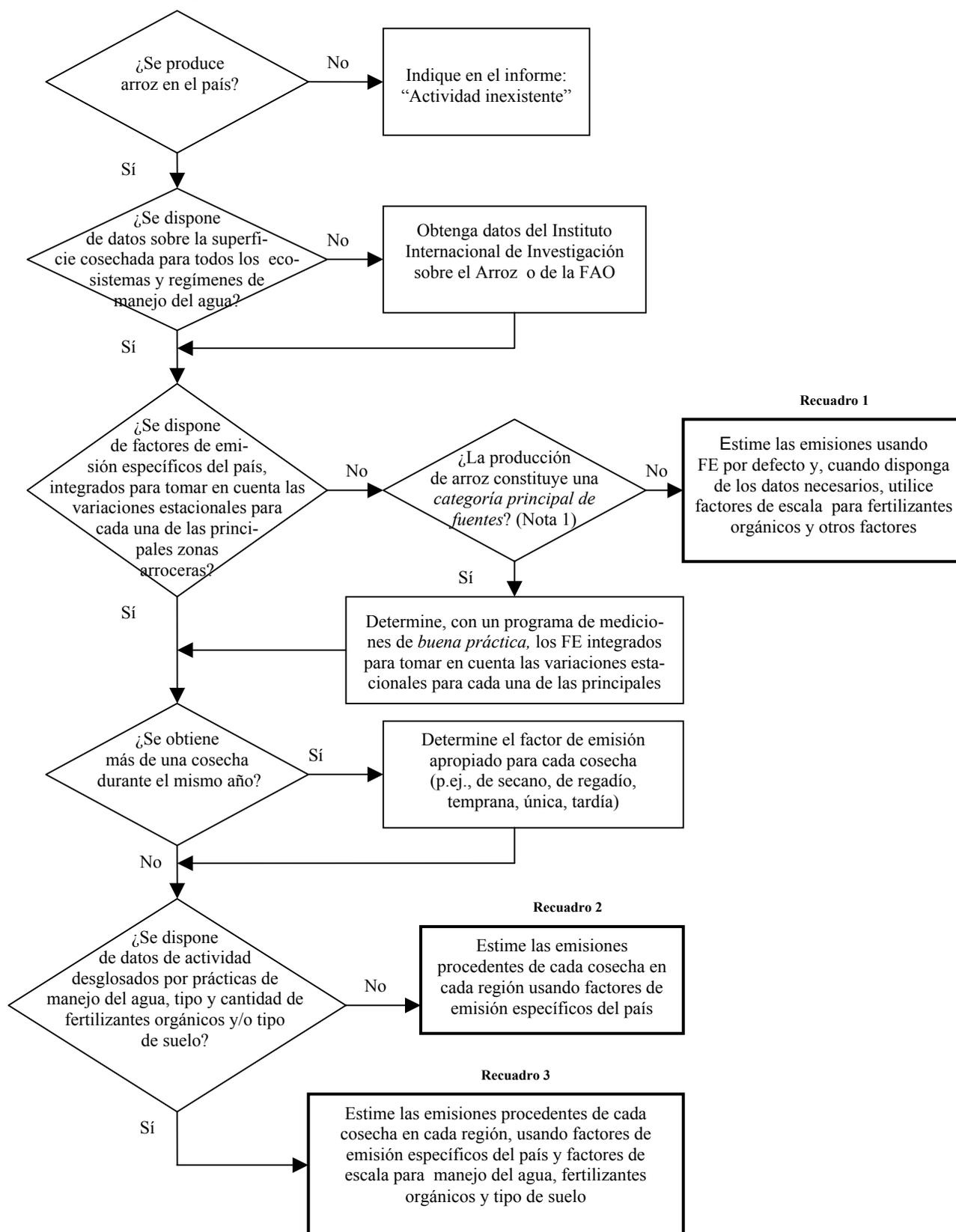
FE_c = factor de emisión integrado para tomar en cuenta las variaciones estacionales para arrozales anegados continuamente sin fertilizantes orgánicos

FS_w = factor de escala para reflejar las diferencias en los ecosistemas y regímenes de manejo del agua (tomado del cuadro 4.20)

FS_o = los factores de escala deberían variar según el tipo y la cantidad de fertilizantes aplicados (tomado del cuadro 4.21, "Cuadro de respuesta a distintas dosis de fertilizantes orgánicos no fermentados")

FS_s = factor de escala para el tipo de suelo, si estuviera disponible.

Figura 4.9 Árbol de decisiones aplicable a las emisiones de CH₄ procedentes de la producción de arroz



Nota 1: Una *categoría principal de fuentes* es una categoría que tiene prioridad en el sistema del inventario nacional porque su estimación influye en gran medida en el inventario total de gases de efecto invernadero directo de un país en lo que se refiere al nivel absoluto de emisiones, la tendencia de las emisiones, o ambas cosas. (Véase la sección 7.2, “Determinación de las principales categorías de fuentes”, del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”).

El factor de emisión integrado para tomar en cuenta las variaciones estacionales para arrozales anegados continuamente de los principales tipos de suelos sin fertilizantes orgánicos deberá determinarse mediante mediciones realizadas en el terreno con arreglo a procedimientos de *buena práctica*, según se describe en el apéndice 4A.3. Si no se dispone de datos para determinar el valor de FE_c , se podrá utilizar el valor por defecto del IPCC, de 20 g/m².

Se podrá además utilizar factores de escala para ajustar el factor de emisión integrado que toma en cuenta las variaciones estacionales para arrozales continuamente anegados (FE_c), a fin de reflejar las distintas condiciones detalladas en el recuadro 4.2. Por su orden, los tres factores de escala más importantes son el ecosistema arrocero y su régimen de manejo del agua, los fertilizantes orgánicos y el tipo de suelo. Sólo podrán utilizarse factores de escala específicos de un país cuando estén basados en datos de mediciones documentadas y ampliamente estudiadas. Si no se dispone de datos para determinar los factores de escala, se podrán utilizar los valores por defecto del IPCC.

Régimen de manejo del agua: Los principales tipos de ecosistemas arroceros que emiten metano son los de regadío, de secano y de agua profunda. Dentro de cada ecosistema existen regímenes de manejo del agua que influyen en la cantidad de CH₄ emitida durante una estación de cosecha. En el cuadro 4.20 se indican los factores de escala por defecto del IPCC para FS_w que podrán utilizarse cuando no se disponga de datos específicos del país. Se podrán aplicar factores de escala para otros tipos de ecosistemas y regímenes de manejo del agua solamente si se dispone de datos específicos del país.

CUADRO 4.20			
FACTORES DE ESCALA POR DEFECTO DEL IPCC PARA LAS EMISIONES DE CH₄ PROCEDENTES DE LOS ECOSISTEMAS ARROCEROS Y LOS RÉGIMENES DE MANEJO DEL AGUA EN CAMPOS ANEGADOS CONTINUAMENTE (SIN FERTILIZANTES ORGÁNICOS)			
Categoría	Régimen de manejo del agua		Factor de escala (FS_w)
Tierras altas	Ninguno		0
Tierras bajas	De regadío	Anegados continuamente	1,0
		Anegados intermitentemente – Aireación sencilla	0,5 (0,2-0,7)
		Intermitentemente anegado – Aireación múltiple	0,2 (0,1-0,3)
	De secano	Anegadizos	0,8 (0,5-1,0)
		Expuestos a la sequía	0,4 (0-0,5)
	De agua profunda	Profundidad del agua 50-100 cms	0,8 (0,6-1,0)
Profundidad del agua > 100 cm		0,6 (0,5-0,8)	

Fuente: Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC*, cuadro 4-12.

Fertilizantes orgánicos: Es una *buena práctica* determinar un factor de escala (FS_o) que incorpore información sobre el tipo y la cantidad de fertilizantes orgánicos aplicados (paja de arroz, estiércol animal, abono verde, compostaje y desechos agrícolas). A igualdad de masa, es mayor la cantidad de CH₄ que se emite a partir de los fertilizantes que tienen un alto contenido de carbono de fácil descomposición, y las emisiones también aumentan cuanto mayor es la cantidad aplicada de cada uno de los fertilizantes orgánicos. En el cuadro 4.21 se propone un método para variar el factor de escala de acuerdo con la cantidad de fertilizantes aplicados.

En teoría, los distintos fertilizantes deben clasificarse de acuerdo con el contenido de carbono por unidad de peso, pero por lo general solo existe información sobre la cantidad aplicada. En esos casos, el organismo encargado del inventario deberá hacer una distinción entre fertilizantes orgánicos fermentados y no fermentados. Las emisiones de CH₄ procedentes de fertilizantes fermentados (p. ej., compostaje, residuos de yacimientos de biogás) son considerablemente menores que las de fertilizantes no fermentados, porque contienen mucho menos carbono de fácil descomposición. Denier van der Gon y Neue (1995) determinaron empíricamente un factor de reducción de seis, lo que significa que el aumento de las emisiones de CH₄ producido por la aplicación de 12 t/há. de compostaje es similar al aumento de las emisiones resultante de la aplicación de 2 t/há. de fertilizante orgánico no fermentado.

CUADRO 4.21		
CUADRO DE RESPUESTA A DISTINTAS DOSIS DE FERTILIZANTES ORGÁNICOS NO FERMENTADOS		
Cantidad aplicada como materia seca (t/há.)	Factor de escala (SF _o)	Rango
1-2	1,5	1-2
2-4	1,8	1,5-2,5
4-8	2,5	1,5-3,5
8-15	3,5	2-4,5
15+	4	3-5

Nota: Para aplicar el cuadro a los fertilizantes orgánicos fermentados, divídase la cantidad aplicada por seis.
Fuente: Información extraída de Denier van der Gon y Neue, 1995.

Tipos de suelos: En algunos casos se dispone de datos sobre las emisiones procedentes de distintos tipos de suelos, que pueden utilizarse para determinar el factor de escala FS_s. El principal motivo para incorporar el tipo de suelo como un factor de escala es que tanto los experimentos como el conocimiento mecanicista confirman su importancia. Se prevé que dentro de poco tiempo se dispondrá de modelos de simulación que podrán generar factores de escala específicos de cada tipo de suelo.

4.9.1.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Los datos de actividad en este caso son las estadísticas sobre la producción de arroz y la superficie cosechada, que deberían poder obtenerse del organismo nacional de estadística. Los datos de actividad deberán desglosarse por ecosistema arrocerero o por régimen de manejo del agua. Si en el país no se dispone de dichos datos, podrán descargarse de un sitio de la FAO en la Web (<http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc>), o extraerse de las Estadísticas Mundiales del Arroz que prepara el IRRI (p.ej., IRRI, 1995). Lo más probable es que los datos de actividad sean muy exactos, comparados con la exactitud del factor de emisión. Sin embargo, como las estadísticas relativas a la superficie podrían estar sesgadas por diversas razones, se recomienda examinar las estadísticas sobre la superficie cosechada en (parte de) el país, comparándolas con datos obtenidos por teleobservación.

Además de reunir los datos de actividad esenciales mencionados en el párrafo anterior, es una *buena práctica* desglosar los datos sobre fertilizantes orgánicos y tipos de suelos con el mismo grado de desagregación que tengan los datos de actividad. Puede ser necesario realizar un estudio de las prácticas de cosecha para obtener datos sobre el tipo y la cantidad de fertilizantes orgánicos aplicados.

4.9.1.4 EXHAUSTIVIDAD

Para lograr una cobertura exhaustiva de esta categoría de fuentes es necesario estimar las emisiones procedentes de las siguientes actividades, siempre que ocurran:

- Cuando el anegamiento del suelo no se limita a la estación de crecimiento efectivo del arroz, deberán incluirse las emisiones que se produzcan fuera de dicha estación (p.ej., durante un período de anegamiento en barbecho);
- Existen otras categorías de ecosistemas arroceros, como pantanos, humedales salinos interiores o arrozales mareales, que pueden discriminarse dentro de cada subcategoría de acuerdo con las mediciones de las emisiones locales;
- Si se obtiene más de una cosecha de arroz por año, los datos correspondientes a dichas cosechas deberán presentarse en forma independiente, de acuerdo con la definición local (p.ej., cosecha temprana, tardía, de estación lluviosa, de estación seca). Las cosechas de arroz pueden agruparse en distintas categorías, con un factor de emisión integrado para tomar en cuenta las variaciones estacionales, también diferente, y con diversos factores de corrección que reflejen la acción de otros elementos, como los fertilizantes orgánicos.

4.9.1.5 DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

El método de estimación de las emisiones deberá aplicarse de manera uniforme y con el mismo grado de desglose para cada año de la serie temporal. Si no se dispone de datos detallados sobre el nivel de actividad en años anteriores, las emisiones correspondientes a esos años deberán calcularse nuevamente con arreglo a las pautas indicadas en la sección 7.3 del capítulo 7, “Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos”. Si se hubieran producido cambios importantes en las prácticas agrícolas que afecten a las emisiones de CH₄ a lo largo de la serie temporal, el método de estimación del arroz deberá aplicarse con un grado de desglose que resulte suficiente para distinguir los efectos producidos por dichos cambios. Por ejemplo, existen varias tendencias en la agricultura arroceras (en Asia), como la introducción de nuevas variedades de arroz, un mayor uso de fertilizantes inorgánicos, un mejor manejo del agua, cambios en el uso de fertilizantes orgánicos y la siembra directa, que pueden determinar un aumento o una reducción de las emisiones totales. Para ponderar los efectos de estos cambios, puede ser necesario realizar estudios con modelos.

4.9.1.6 EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

El cuadro 4.22 presenta un factor de emisión por defecto, factores de escala por defecto y rangos para los valores por defecto. El rango del factor de emisión, que se define como la desviación estándar con respecto a la media, indica la incertidumbre asociada a este valor por defecto para esta categoría de fuentes. La incertidumbre puede verse afectada por:

Variabilidad natural: La variabilidad natural es una consecuencia de las variaciones en las variables de control natural, como la variabilidad anual del clima y la variabilidad que existe dentro de unidades presuntamente homogéneas, como la variabilidad espacial dentro de un campo o unidad de suelo. Para esta categoría de fuentes, una *buena práctica* debe permitir determinar las incertidumbres mediante el uso de métodos estadísticos corrientes, siempre que se disponga de suficientes datos experimentales. Son muy pocos los estudios realizados para cuantificar parte de esta incertidumbre, pero existen (p.ej., para la variabilidad inducida por tipo de suelo). Se considera que la variabilidad determinada por dichos estudios es generalmente válida. Para más detalles, véase Sass (1999).

Falta de datos de actividad y documentación: Es posible que algunos datos de actividad importantes que son necesarios para la aplicación de factores de escala (p.ej., datos sobre las prácticas de cultivo y los fertilizantes orgánicos) no estén disponibles en las bases de datos o estadísticas existentes. En ese caso, las estimaciones de la proporción de arroceros que usan una práctica o un fertilizante en particular deberán basarse en el dictamen de expertos, al igual que el rango de la proporción estimada. Como valor por defecto de la incertidumbre en la estimación de esa proporción se propone $\pm 0,2$ (p.ej., si la proporción de arroceros que usan fertilizantes orgánicos se estima en 0,4, el rango de incertidumbre será de 0,2 a 0,6). En el capítulo 6, “La cuantificación de las incertidumbres en la práctica”, se brinda asesoramiento sobre la forma de realizar dicha cuantificación, incluyendo una combinación de dictámenes de expertos y datos empíricos, que resulta en estimaciones generales de la incertidumbre.

CUADRO 4.22 FACTOR DE EMISIÓN POR DEFECTO, FACTORES DE ESCALA POR DEFECTO Y RANGOS DE LAS EMISIONES DE CH ₄ PROCEDENTES DE ARROZALES		
Componente de las emisiones	Valor por defecto	Rangos
Factor de emisión estándar (FE)	20 g de CH ₄ m ⁻² estación ⁻¹	12-28 g de CH ₄ m ⁻² estación ⁻¹
Factor de escala para el manejo del agua FS _w	Ver cuadro 4.20	Cuadro 4.20
Factor de escala para fertilizantes orgánicos FS _o	2	1,5-5
Factor de escala para tipos de suelos FS _s	1	0,1-2
Fuente: <i>Directrices del IPCC</i> y dictamen del Grupo de expertos (véase Copresidentes, Editores y Expertos; emisiones de CH ₄ procedentes de la producción de arroz).		

4.9.2 Presentación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información necesaria para preparar las estimaciones del inventario nacional de emisiones, como se describe en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”. También es una *buena práctica* documentar la estimación de las emisiones proporcionando la información necesaria para llenar la hoja de trabajo correspondiente al arroz en el Libro de Trabajo de las *Directrices del IPCC*. Los organismos encargados de los inventarios que no utilicen las hojas de trabajo deberán presentar información comparable. Si la estimación de las emisiones se desglosa por región, deberá proporcionarse información sobre cada región.

Deberá presentarse asimismo la siguiente información adicional, si se dispone de ella, para garantizar la transparencia:

- prácticas de manejo del agua;
- tipos y cantidades de fertilizantes orgánicos utilizados. (La incorporación de paja de arroz o de residuos de la cosecha anterior (no de arroz) deberá considerarse una aplicación de fertilizante orgánico, aunque se trate de una práctica normal de producción que no tenga por objeto incrementar los niveles de nutrientes, como en el caso de la aplicación de estiércol);
- tipos de suelos usados para el cultivo del arroz;
- número de cosechas de arroz anuales;
- cultivares de arroz más importantes que se utilizan.

Cuando se utilizan factores de emisión por defecto simples para estimar las emisiones de CH₄, la incertidumbre puede aumentar enormemente. Los organismos encargados de los inventarios que utilicen factores de emisión específicos de sus respectivos países deberán suministrar información sobre el origen y los fundamentos de dichos factores, compararlos con otros factores de emisión ya publicados, explicar el motivo de toda diferencia significativa que exista entre ellos y tratar de poner límites a la incertidumbre.

4.9.3 Garantía de la calidad/control de calidad de los inventarios (GC/CC)

Es una *buena práctica* llevar a cabo controles de calidad, como se describe en el cuadro 8.1, “Procedimientos generales de CC de nivel 1 para los inventarios, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”, y hacer revisar por expertos las estimaciones de las emisiones. También puede ser pertinente adoptar medidas adicionales de control de calidad, como se describe en los procedimientos de nivel 2, en el capítulo 8, y aplicar otros procedimientos de garantía de la calidad, sobre todo si se utilizan métodos de niveles más altos para determinar las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes.

En Sass (1999), y en el apéndice 4A.3, se hace un análisis detallado de los procedimientos de GC/CC de los inventarios que deben aplicarse en las mediciones realizadas en el terreno. A continuación se destacan y resumen algunos aspectos importantes.

Compilación de las emisiones nacionales: En el momento actual no es posible corroborar las estimaciones de las emisiones procedentes de esta categoría de fuentes usando mediciones externas. No obstante, el organismo encargado del inventario deberá someter las estimaciones de las emisiones a los siguientes procedimientos de control de calidad:

- comparación recíproca de las estadísticas agregadas sobre el rendimiento de las cosechas y la superficie cultivada declarada, con los totales nacionales u otras fuentes de datos sobre el rendimiento de las cosechas y la superficie cultivada;
- cálculo retrospectivo de los factores de emisión nacionales a partir de datos agregados sobre las emisiones y otros datos;
- comparación recíproca de los totales nacionales con los valores por defecto y datos de otros países.

APÉNDICE 4A.1

EMISIONES DE CH₄ Y N₂O PROCEDENTES DE LA QUEMA DE SABANAS: BASES PARA UN FUTURO DESARROLLO METODOLÓGICO

4A.1.1 Aspectos metodológicos

En las regiones de sabanas, la quema se realiza a intervalos de uno o varios años. La quema de sabanas genera la emisión instantánea de dióxido de carbono (CO₂). Sin embargo, a medida que la vegetación se regenera en el período que media entre los ciclos de quema, el CO₂ liberado en la atmósfera se reabsorbe durante el siguiente período de crecimiento de la vegetación. Por esa razón se parte del supuesto de que las emisiones netas de CO₂ procedentes de la quema de sabanas son nulas. La quema de sabanas también libera otros gases en baja concentración, como CH₄, CO, COVDM, N₂O y NO_x. En el presente capítulo se analizan únicamente las emisiones de los gases de efecto invernadero directo CH₄ y N₂O.

4A.1.1.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

La elección del método dependerá de la disponibilidad de datos de actividad y factores de emisión de CH₄ y N₂O. Si un organismo encargado del inventario no tiene datos de actividad y factores de emisión, podrá usar los valores por defecto que se indican en las *Directrices del IPCC*.

De acuerdo con el método actual, se debe asignar un valor a la fracción viva de la biomasa aérea en el cuadro 4-12 del Libro de Trabajo de las *Directrices del IPCC*. Además, el cuadro 4-13 de las *Directrices del IPCC* exige que se determine el valor de la fracción oxidada y de la fracción de carbono de la biomasa viva y muerta para calcular la cantidad de carbono y nitrógeno liberados por la quema de sabanas. Es difícil medir estos parámetros en el terreno. Se puede utilizar la eficiencia de la combustión para describir las condiciones de vegetación y combustión, que son las que en última instancia determinan los factores de emisión de CH₄ y N₂O. La eficiencia de la combustión se define como la relación molar entre las concentraciones de CO₂ emitido y la suma de las concentraciones de CO y CO₂ emitidos por la quema de sabanas. En el cuadro 4.A1 del presente documento se incluye una columna relativa a la eficiencia de la combustión. Los datos compilados sobre la eficiencia de la combustión se han extraído de los resultados de experimentos de quema de biomasa en distintos ecosistemas de sabanas en zonas tropicales de América y África. Por lo tanto, en el método propuesto, la ecuación modificada para computar la cantidad de CH₄ o N₂O emitida por año sería la siguiente:

ECUACIÓN 4.A1

CH₄ O N₂O LIBERADO POR LA QUEMA DE SABANAS

Cantidad de CH₄ o N₂O liberada = cantidad de biomasa quemada (t dm) • factor de emisión de CH₄ o N₂O (kg/t dm)

CUADRO 4.A1				
CANTIDAD DE BIOMASA AÉREA QUEMADA				
Región	Fracción de la superficie total de sabanas quemada anualmente	Densidad de la biomasa aérea (t dm/há)	Fracción de la biomasa quemada realmente	Eficiencia de la combustión
América tropical	0,50	6,6±1,8	0,85	0,95
Campo limpio ^{a,b}	0,3-1,0	7,1±0,5	1,0	0,96
Campo sucio ^{a,b}	0,3-1,0	7,3±0,5	0,97	
Campo cerrado ^{a,b}	0,3-1,0	8,6±0,8	0,72	0,94
Cerrado <i>sensu stricto</i> ^{a,b}	0,3-1,0	10,0±0,5	0,84	0,94
África tropical	0,75	6,6±1,6	0,86	0,94
Zona del Sahel	0,05-0,15	0,5-2,5	0,95	
Zona del norte del Sudán	0,25-0,50	2-4	0,85	
Zona del sur del Sudán	0,25-0,50	3-6	0,85	
Zona de Guinea	0,60-0,80	4-8	0,90-1,0	
Miombo húmedo ^{c,d,e}	0,5-1,0	8,9±2,7	0,74±0,04	0,92
Miombo semiárido ^{c,e}	0,5-1,0	5,1±0,4	0,88±0,02	0,91
Dambo húmedo ^{c,d,e}	0,5-1,0	3,0±0,5	0,99±0,01	0,95
Chitemene en barbecho ^{c,e}	0,1	7,3±0,7	0,71±0,05	0,96
Tierras arboladas semiáridas (Sudáfrica) ^{c,e}	0,25-0,5	4,6±2,8	0,85±0,11	0,93

^aKauffman y otros (1994), ^bWard y otros(1992), ^cShea y otros(1996), ^dHoffa y otros (1999), ^eWard y otros (1996).

El cuadro 4-14 del Manual de Referencia de las *Directrices del IPCC* contiene datos sobre regiones no mencionadas expresamente en el cuadro anterior (ni en el cuadro 4-12 del Libro de Trabajo de las *Directrices del IPCC*). En este se indican las zonas ecológicas básicas de acuerdo con las estadísticas disponibles sobre sabanas. En el cuadro 4.A1 que antecede figuran datos adicionales sobre sabanas ubicadas en cuatro zonas ecológicas de América tropical y cinco zonas ecológicas del África tropical, sobre la base de los resultados de experimentos de campo realizados en el Brasil, Zambia y Sudáfrica.

Los organismos encargados de los inventarios que tengan los datos necesarios sobre la fracción de la superficie de sabanas que se quema anualmente, la densidad de la biomasa aérea y la fracción de biomasa que realmente se quema en cada zona ecológica, podrán calcular la cantidad de biomasa quemada en forma desglosada.

Si se dispone de los datos necesarios, es aconsejable determinar los datos de actividad que dependen de las estaciones y los factores de emisión de CH₄ y N₂O procedentes de la quema de sabanas para distintos ecosistemas de sabanas en cada país. Al comienzo de la estación seca se quema una menor superficie de sabanas y un porcentaje menor de biomasa aérea que al final de esa estación. Por lo tanto, a medida que avanza la estación seca en distintos ecosistemas de sabanas, es fundamental vigilar: i) la fracción de la superficie de sabanas quemada; ii) la densidad de la biomasa aérea; iii) el porcentaje de biomasa aérea quemada, y iv) la eficiencia de la combustión.

4A.1.1.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Cuando se incendia una sabana, existe una correlación lineal negativa entre el factor de emisión de CH₄ y la eficiencia de la combustión. Los incendios con baja eficiencia de combustión tienen factores de emisión elevados. La relación es similar, con independencia de la zona climática, las especies herbáceas o la cantidad de biomasa aérea.

En el cuadro 4.A2 se enumeran distintas eficiencias de combustión y los respectivos factores de emisión de CH₄. Una vez determinada la eficiencia de combustión de un incendio de sabana de acuerdo con la zona ecológica y el período de quema, deberá usarse el correspondiente factor de emisión de CH₄ para calcular la cantidad de CH₄ que se libera anualmente como consecuencia de la quema de sabanas.

CUADRO 4.A2	
EFICIENCIA DE LA COMBUSTIÓN Y FACTOR DE EMISIÓN DE CH₄ CORRESPONDIENTE	
Eficiencia de la combustión	Factor de emisión de CH₄ (kg/t dm)
0,88	4,2
0,90	3,4
0,91	3,0
0,92	2,6
0,93	2,3
0,94	1,9
0,95	1,5
0,96	1,1

Fuente: Ward y otros (1996).

La emisión de N₂O procedente de la quema de biomasa se correlaciona en forma lineal con la emisión de CO₂ y depende del contenido de nitrógeno de la vegetación. El factor de emisión de N₂O se calcula mediante la siguiente ecuación:

<p>ECUACIÓN 4.A2</p> <p>FACTOR DE EMISIÓN DE N₂O</p> <p>Factor de emisión de N₂O (kg/t dm) = factor de emisión de CO₂ (kg/t dm) • 1/peso molecular de CO₂ • relación molar de emisión entre N₂O y CO₂ • peso molecular de N₂O</p>
--

La ecuación 4.A2 se simplifica como se indica a continuación:

<p>ECUACIÓN 4.A3</p> <p>FACTOR DE EMISIÓN DE N₂O</p> <p>Factor de emisión de N₂O (kg/t dm) = factor de emisión de CO₂ (kg/t dm) • relación molar de emisión entre N₂O y CO₂</p>
--

Dado que N₂O no permanece estable durante el almacenamiento de las muestras de humo, la relación molar de emisión entre N₂O y CO₂ se obtuvo de experimentos de laboratorio en los que se quemaron distintos tipos de vegetación (Hao y otros, 1991) y puede expresarse de la siguiente manera:

<p>ECUACIÓN 4.A4</p> <p>RELACIÓN MOLAR DE EMISIÓN ENTRE N₂O Y CO₂</p> <p>Relación molar de emisión entre N₂O y CO₂ = 1,2 • 10⁻⁵ + [3,3 • 10⁻⁵ • relación molar entre el nitrógeno y el carbono (N/C) en la biomasa]</p>

En el cuadro 4.A3 se indican los factores de emisión de N₂O que se han calculado para distintos ecosistemas de sabanas sobre la base de los resultados de mediciones realizadas en el terreno de las emisiones de CO₂ y las relaciones N/C de la biomasa. Los factores de emisión por defecto de N₂O en las regiones tropicales de América y África se calcularon estableciendo un promedio de los factores de emisión correspondientes a cada continente. En caso de que el organismo encargado del inventario disponga de datos sobre la relación N/C en la biomasa, y

parta del supuesto de que el factor de emisión de CO₂ es de 1700 kg/t dm, podrá calcular el factor de emisión de N₂O usando las dos ecuaciones precedentes, 4.A3 y 4.A4.

CUADRO 4.A3			
FACTORES DE EMISIÓN DE N ₂ O EN DISTINTOS ECOSISTEMAS DE SABANAS			
Región	Factor de emisión de CO ₂ (kg/t dm)	Relación N/C en la biomasa (%)	Factor de emisión de N ₂ O (kg/t dm)
América tropical	-	-	0,065
Campo limpio ^{a, b, c}	1745	0,60	0,055
Campo sucio ^{a, b, c}	1700	0,56	0,052
Campo cerrado ^{a, b, c}	1698	0,95	0,074
Cerrado <i>sensu stricto</i> ^{a, b, c}	1722	1,02	0,079
África tropical	-	-	0,070
Miombo húmedo ^{b, c, d}	1680	1,42	0,099
Miombo semiárido ^{b, c, d}	1649	0,94	0,071
Dambo húmedo ^{b, c, d}	1732	0,33	0,040
Chitemene en barbecho ^{b, c, d}	1761	0,77	0,066
Tierras arboladas semiáridas	1699	0,98 ± 0,11	0,075

Fuente: ^aWard y otros (1992), ^bSusott y otros (1996), ^cHao y otros (1991), ^dWard y otros (1996).

4A.1.1.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Las estadísticas de actividad correspondientes a cada ecosistema de sabanas comprenden los siguientes valores: la superficie de sabanas, la fracción de la superficie de sabanas quemada, la densidad de la biomasa aérea, la fracción de biomasa aérea quemada y el contenido de carbono y nitrógeno de la biomasa. En este caso se han descartado otros parámetros (es decir, la fracción de biomasa viva y muerta que se quema y la fracción de carbono/nitrógeno en la biomasa viva y muerta) debido a las dificultades para obtener estos datos en el terreno. Dado que el factor de emisión de CH₄ puede disminuir entre un 50% y un 75% a medida que avanza la estación de quema, se recomienda encarecidamente que cada organismo encargado del inventario reúna datos estacionales sobre la fracción de la superficie de sabanas quemada, la densidad de la biomasa aérea y la fracción de la biomasa aérea quemada en cada ecosistema de sabanas, desde el principio hasta el final de la estación seca.

4A.1.1.4 DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

En vista del alto grado de incertidumbre que existe para determinar la superficie quemada en cada ecosistema de sabanas, puede resultar útil tomar el promedio de los últimos tres años para tener una estimación del año base que permita detectar cualquier tendencia que pueda observarse en las emisiones de CH₄ y N₂O procedentes de la quema de sabanas. Los métodos para garantizar que la serie temporal sea coherente se describen en el capítulo 7, "Elección de la metodología y realización de nuevos cálculos".

4A.1.1.5 EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

La incertidumbre del factor de emisión de CH₄ es de aproximadamente ±20%, según los resultados de amplios experimentos de campo realizados en zonas tropicales de América y África. La incertidumbre del factor de emisión de N₂O también es de aproximadamente ±20%, según surge de numerosos experimentos de laboratorio. La incertidumbre en cuanto a la densidad de la biomasa aérea en un ecosistema de sabanas oscila entre ±2% y ±60%. Esta mayor incertidumbre se debe probablemente a las diferencias en la composición de la biomasa aérea en distintos sitios. La incertidumbre de la fracción de biomasa realmente quemada es inferior a ±10%. Actualmente resulta difícil estimar la incertidumbre de la fracción de la superficie de sabanas que se quema cada año o, por ejemplo, de la magnitud de la quema a comienzos y fines de la estación.

4A.1.2 Presentación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información necesaria para preparar las estimaciones del inventario nacional de emisiones, como se describe en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”. La información que se consigna en las hojas de trabajo incluidas en las *Directrices del IPCC* es transparente; sin embargo, el aspecto más crítico de la presentación de informes y la documentación consiste en que la mayoría de los datos de actividad (como el porcentaje de la superficie de sabanas quemado, la densidad de la biomasa aérea y la fracción de la biomasa que realmente se quema) no están disponibles o son difíciles de obtener en el terreno. Tampoco existen métodos uniformes de reunión de información sobre la superficie quemada y la fracción de biomasa realmente quemada, y esto redundante en una falta de coherencia entre los datos presentados.

4A.1.3 Garantía de la calidad/control de calidad de los inventarios (GC/CC)

Como se mencionó anteriormente, existe un alto grado de incertidumbre en los datos de actividad utilizados para calcular la cantidad de biomasa quemada en las sabanas. Se dispone de muy pocos datos sobre las tendencias estacionales de las superficies de sabana quemadas, las densidades de la biomasa aérea y las fracciones de biomasa aérea quemadas. La vigilancia de la ubicación de los incendios activos de sabanas y el trazado de mapas de las zonas quemadas en cada país puede mejorar con el uso de imágenes por satélite proporcionadas por diversos organismos nacionales e internacionales. Además, es necesario diseñar métodos uniformes para medir la densidad de la biomasa aérea, la fracción de la biomasa quemada y la eficiencia de la combustión, a fin de garantizar la calidad y la coherencia de los datos.

APÉNDICE 4A.2

EMISIONES DE CH₄ Y N₂O PROCEDENTES DE LA QUEMA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS: BASES PARA UN FUTURO DESARROLLO METODOLÓGICO

Si bien la quema de residuos agrícolas no se considera una fuente neta de dióxido de carbono porque el carbono liberado en la atmósfera se reabsorbe durante el siguiente período de crecimiento, constituye una fuente de emisiones netas de muchos gases en baja concentración, entre ellos CH₄, CO₂, N₂O y NO_x. Es importante señalar que algunos residuos agrícolas se retiran de los campos y se queman como fuente de energía, sobre todo en los países en desarrollo. Las emisiones procedentes de este tipo de combustión que no son de CO₂ se analizan en el sector Energía de las *Directrices del IPCC*. La quema de residuos de las cosechas debe asignarse correctamente a estas dos categorías para evitar que se contabilice por partida doble. El análisis que figura a continuación se refiere únicamente a los gases de efecto invernadero directo CH₄ y N₂O.

4A.2.1 Aspectos metodológicos

4A.2.1.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

La elección del método dependerá de la disponibilidad de datos de actividad y factores de emisión de CH₄ y N₂O en cada país. Deberán utilizarse datos de actividad y factores de emisión de CH₄ y N₂O específicos de cada país siempre que se disponga de ellos. Si un país no cuenta con datos de actividad y factores de emisión propios, podrá usar los valores por defecto que se indican en las *Directrices del IPCC*.

El mayor grado de incertidumbre en la estimación de los inventarios de emisiones de CH₄ y N₂O procedentes de la quema de residuos agrícolas está relacionado con la fracción de residuos agrícolas que se quema en los campos. El porcentaje de residuos que se quema *in situ* deberá determinarse sobre la base de un cálculo exhaustivo del balance de masas de dichos residuos. A los efectos de mejorar sensiblemente las estimaciones de las emisiones de CH₄ y N₂O, se exhorta a los organismos encargados de los inventarios a que estimen las prácticas locales y regionales que reflejen: i) la fracción de residuos que se quema en los campos; ii) la fracción retirada de los campos y quemada en otro lugar (vinculado con el tratamiento); iii) la fracción consumida por los animales en los campos; iv) la fracción que se descompone en los campos, y v) la fracción utilizada por otros sectores (p.ej., biocombustible, alimentos para el ganado doméstico, materiales de construcción, etc.). Actualmente se estima que en los países desarrollados se quema en los campos el 10% del total de los residuos agrícolas, mientras que en los países en desarrollo ese porcentaje asciende a 25%. Estas cifras pueden ser excesivas. La *buena práctica* sugiere que una estimación del 10% puede resultar más acertada para los países en desarrollo.

4A.2.1.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

Los factores de emisión de CH₄ y N₂O que figuran en el cuadro 4.16 del Libro de Trabajo de las *Directrices del IPCC* son en general razonables. Sin embargo, no se dispone de datos suficientes para actualizar estos factores de emisión, ya que en los últimos cinco años se han realizado pocos experimentos de campo para medir las emisiones producidas por la quema de residuos agrícolas en los campos. No obstante, los factores de emisión dependen probablemente de las condiciones meteorológicas imperantes durante los períodos de quema, dado que el factor de emisión de CH₄ procedente de la quema de sabanas disminuye entre el comienzo y el final de la estación seca. Si un organismo encargado del inventario lleva a cabo experimentos para medir los factores de emisión de CH₄ y N₂O procedentes de la quema de residuos agrícolas, dichos experimentos deberán realizarse en la estación seca y en la estación lluviosa, cuando se queman los residuos de las cosechas.

4A.2.1.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE ACTIVIDAD

Los datos de actividad sobre las cosechas pueden obtenerse de los datos del propio país o del *Anuario de Producción de la FAO* (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Estos datos estadísticos son razonablemente exactos. Se dispone de pocos datos para actualizar la relación entre residuos y cosechas, las fracciones de materia seca, las fracciones de carbono y las relaciones entre nitrógeno y carbono

correspondientes a distintos residuos de cosechas. Cuando un organismo encargado del inventario compila sus datos de actividad, es necesario que obtenga datos meteorológicos mensuales, así como datos sobre la cantidad de residuos de cada cultivo que se queman después de la cosecha. Las condiciones meteorológicas influyen en la eficiencia de la combustión (véase el apéndice 4A.1 de este capítulo) y en los factores de emisión de CH₄ y N₂O.

4A.2.1.4 EXHAUSTIVIDAD

El método actual incorpora todos los factores necesarios para estimar las emisiones de CH₄ y N₂O procedentes de la quema de residuos agrícolas. En el cuadro 4.15 del Libro de Trabajo de las *Directrices del IPCC* faltan varios cultivos (p.ej., la caña de azúcar y tubérculos como la mandioca y el ñame). La relación entre los residuos y el producto de las cosechas es de 0,16 en la caña de azúcar y de 0,4 en los tubérculos. Es importante contabilizar en el balance de masas todos los residuos agrícolas que se eliminan. Los residuos que no se queman en los campos se transformarán en una fuente de CH₄ o N₂O procedente de la descomposición microbiana, el consumo doméstico de energía y los desechos domésticos. Estas fuentes deberán incluirse en el cálculo de las emisiones de CH₄ y N₂O procedentes de otras actividades.

4A.2.1.5 DETERMINACIÓN DE UNA SERIE TEMPORAL COHERENTE

Hay buenas perspectivas de determinar la tendencia de las emisiones de CH₄ y N₂O procedentes de la quema de residuos agrícolas, ya que las estadísticas sobre producción agrícola se compilan con razonable exactitud. El punto débil en este cálculo radica en la estimación del porcentaje de residuos quemados en los campos. Cada organismo encargado del inventario deberá reunir datos de actividad sobre la eliminación de los residuos de cada cultivo, sobre todo del porcentaje de residuos quemados *in situ*, después de la cosecha.

4A.2.1.6 EVALUACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE

Los datos sobre la producción agrícola, incluidos los cultivos comerciales y la agricultura de subsistencia, son razonablemente exactos, aunque es difícil determinar el grado de incertidumbre. Las incertidumbres en los factores de emisión de CH₄ y N₂O correspondientes a la quema de residuos agrícolas en la estación seca es de aproximadamente $\pm 20\%$. En cambio, no se sabe cuál es la incertidumbre en los factores de emisión durante la estación lluviosa. La fracción de residuos agrícolas quemados en los campos es probablemente la variable con el mayor grado de incertidumbre en la estimación de la cantidad de CH₄ y N₂O emitida por la quema de residuos agrícolas. Es necesario compilar datos estadísticos que reflejen el uso que se da a los residuos agrícolas después de la cosecha.

4A.2.2 Presentación de informes y documentación

Es una *buena práctica* documentar y archivar toda la información necesaria para preparar las estimaciones del inventario nacional de emisiones, como se describe en la sección 8.10.1, “Documentación interna y archivo”, del capítulo 8, “Garantía de la calidad y control de calidad”. Los datos sobre la producción agrícola pueden obtenerse fácilmente, ya sea del propio país o del *Anuario de Producción de la FAO*. Se debe proporcionar información sobre las condiciones meteorológicas y la cantidad de cada cosecha que se quema en los campos durante la estación seca y la estación lluviosa. Es necesario medir y consignar en el informe la fracción de materia seca, la fracción de carbono y la relación entre el nitrógeno y el carbono contenidos en los residuos de cada cultivo. También es importante llevar a cabo experimentos de campo para medir los factores de emisión de CH₄ y N₂O en la estación seca y en la lluviosa.

4A.2.3 Garantía de la calidad/control de calidad de los inventarios (GC/CC)

La calidad de las estimaciones de las emisiones de CH₄ y N₂O procedentes de la quema de residuos agrícolas puede variar considerablemente de un país a otro, dependiendo principalmente de la calidad de los datos sobre el porcentaje de residuos quemados en los campos. La calidad de los demás datos de actividad y factores de emisión es razonable y puede mejorarse obteniendo los datos sobre la cantidad de residuos quemados durante la estación seca y la estación lluviosa. Los datos sobre la producción agrícola pueden verificarse cotejándolos con las estadísticas sobre el intercambio comercial de productos básicos.

APÉNDICE 4A.3

EMISIONES DE CH₄ PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ARROZ: MEDICIONES, PRESENTACIÓN DE INFORMES Y PROCEDIMIENTOS DE GC/CC DE LOS DATOS OBTENIDOS EN EL TERRENO

Ejecución de las mediciones en el terreno: Se deberá utilizar una parcela estándar de arroz como control, y por lo menos otras tres parcelas iguales, a fin de obtener factores de emisión regionales y nacionales uniformes. Las parcelas deberán mantenerse anegadas desde un poco antes del trasplante hasta la maduración. Las parcelas experimentales no deberán tener antecedentes recientes (es decir, cinco años) de incorporación de fertilizantes orgánicos al suelo, con excepción de raíces recicladas y quizás algunos rastrojos cortos. Las mediciones del flujo de CH₄ deberán registrarse al menos dos veces por semana durante todo el período de anegamiento. En las zonas en las que se practica la cosecha doble o triple, deberán reunirse datos de todas las estaciones de crecimiento. Para tener una orientación sobre las *buenas prácticas* en materia de mediciones uniformes en los ecosistemas arroceros de regadío, véase IGAC (1994). La índole de la instrumentación y la frecuencia de las mediciones determinarán la incertidumbre conexas. En las mediciones típicas puede preverse que la incertidumbre conexas será como mínimo de un 20%.

La exactitud y la precisión de las estimaciones de las emisiones de CH₄ aumentan con el número de sitios sometidos a prueba y con la frecuencia y la cantidad de las mediciones realizadas en cada uno de ellos.

Se deberán reunir otros datos, como la ubicación y la extensión de la superficie representada en la medición, datos sobre el suelo e información climática. Los datos agronómicos, como el rendimiento del arroz y otros datos sobre la producción del cultivo, también son importantes, pues pueden utilizarse para determinar si las mediciones son representativas de las condiciones agronómicas típicas. En general, los distintos modelos de predicción que se han publicado últimamente (p.ej., Huang y otros, 1998) pueden ser de utilidad para preparar los informes sobre los valores de emisión de CH₄. Es una *buena práctica* consiste proporcionar tantos detalles específicos del país o de la región como sea posible.

Comunicación de los resultados de las mediciones realizadas en el terreno: El conjunto mínimo de datos que deberá acompañar las mediciones del flujo para: i) determinar el factor de escala, ii) verificar el inventario mediante el uso de modelos, y iii) aplicar los procedimientos de GC/CC, estará constituido por:

- datos geográficos, entre ellos el país y la provincia, latitud y longitud, elevación media y una breve descripción del lugar;
- un registro de datos sobre las actividades agrícolas (p.ej., el momento de aplicación de fertilizantes orgánicos, régimen de manejo del agua, eliminación de malezas, etc.), el método para establecer el cultivo y las fechas de las principales actividades relacionadas con las plantas (p.ej., trasplante, poda, fecha de cosecha);
- temperatura del aire y del suelo a una profundidad de 5 cm, determinada en el momento de cada medición del flujo;
- tipos de fertilizantes, cantidades aplicadas (incluidos los fertilizantes químicos) y fecha y modo de aplicación;
- tipos de suelos, clasificados de acuerdo con la Taxonomía de Suelos del Departamento de Agricultura de los EE.UU. o la Clasificación de suelos de FAO/UNESCO, por lo menos a nivel de subgrupos. Deberán medirse las características generales del suelo, incluida su textura;
- manejo del agua (número de días de anegamiento, episodios de drenaje/sequía);
- impacto de los fertilizantes orgánicos en las emisiones (deberá documentarse el tipo y la cantidad del fertilizante);
- cultivar de arroz utilizado (denominación, duración del cultivo, altura, variedad tradicional o moderna, características específicas);
- parámetros de la planta, preferiblemente en sus distintas etapas de crecimiento (p.ej., índice de superficie foliar, biomasa aérea (paja y rastrojo), rendimiento, índice de cosecha).

Procedimientos de GC/CC en las mediciones en el terreno: Los científicos de cada país son quienes habitualmente determinan los procedimientos de GC/CC que deben aplicarse en el terreno para establecer los factores de emisión específicos de sus respectivos países. A fin de garantizar la comparabilidad y la coordinación recíproca entre los conjuntos amplios de datos que se utilizan para establecer los factores de emisión específicos de un país, existen procedimientos acordados a nivel internacional para obtener “factores de emisión uniformes” que deben ser comunes a todos los programas de vigilancia (véase IGAC (1994), Sass (1999)):

- i) Las mediciones del flujo de CH₄ deben registrarse al menos *dos veces por semana* durante toda una estación de anegamiento.
- ii) En las zonas en las que se obtiene una doble cosecha (o 5 cosechas de arroz en 2 años), deberán reunirse datos de todas las estaciones de crecimiento.
- iii) El muestreo manual de cámaras de flujo puede pasar por alto la presencia de grandes flujos de CH₄ atrapado en el suelo durante el drenaje. En esos casos se deberá hacer una corrección. Si no se dispone de datos específicos, se podrá aplicar un incremento estimado de la emisión estacional de entre 10% y 20%.
- iv) Se deberá analizar la importancia de las emisiones previas al cultivo y, si corresponde, se deberá estimar o medir dichas emisiones.

REFERENCIAS

CARACTERIZACIÓN DE LA POBLACIÓN DE GANADO

- Agricultural and Food Research Council (AFRC) Technical Committee on Responses to Nutrients (1993) *Energy and Protein Requirements of Ruminants*. 24 a 159, CAB International, Wallingford, Reino Unido
- AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients (1990) *Nutritive Requirements of Ruminant Animals: Energy*. Rep. 5, CAB International, Wallingford, Reino Unido
- Bamualim, A. y Kartiarso (1985) "Nutrition of draught animals with special reference to Indonesia." En: *Draught Animal Power for Production*. J.W. Copland (ed.). Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), Actas, Serie No. 10. ACIAR, Canberra, A.C.T., Australia.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) (1999). Base de datos estadísticos.
- Ibrahim, M.N.M. (1985) "Nutritional status of draught animals in Sri Lanka." En: *Draught Animal Power for Production*, J.W. Copland (ed.). ACIAR (Australian Centre for International Agricultural Research) Actas, Serie No. 10. ACIAR, Canberra, A.C.T., Australia.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (1997). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996*, J.T. Houghton y otros, IPCC/OCDE/AIE, París, Francia.
- Jurgen, M. H. (1988) *Animal Feeding and Nutrition*, Sixth Edition, Kendall/Hunt Publishing Company, Dubuque, Iowa, EE.UU.
- Lassey, K.R., y M.J. Ulyatt (1999) Enterically Fermented Methane, with emphasis on sheep emissions. Report WLG99/5, National Institute of Water and Atmospheric Research, Wellington, Nueva Zelandia.
- Lawrence, P.R. (1985) "A review of nutrient requirements of draught oxen." En: *Draught Animal Power for Production*. J.W. Copland (ed.). ACIAR (Australian Centre for International Agricultural Research) Actas, Serie No. 10. ACIAR, Canberra, A.C.T., Australia.
- National Research Council (NRC) (1984) *Nutrient Requirements of Beef Cattle*, National Academy Press, Washington, D.C., EE.UU.
- NRC (1989) *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, National Academy Press, Washington, D.C., EE.UU.
- NRC (1996) *Nutrient Requirements of Beef Cattle*, National Academy Press, Washington, D.C., EE.UU.

EMISIONES DE CH₄ PROCEDENTES DE LA FERMENTACIÓN ENTÉRICA DEL GANADO DOMÉSTICO

- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (1997). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996*, J.T. Houghton y otros, IPCC/OCDE/AIE, París, Francia.
- Judd, M.J., F.M. Kelliher, M.J. Ulyatt, K.R. Lassey, K.R. Tate, I.D. Shelton, M.J. Harvey y C.F. Walker (1999) *Net methane emissions from grazing sheep*, *Global Change Biol.*, 5, págs. 647 a 657.
- Kurihara, M., T. Magner, R.A. Hunter y G.J. McCrabb (1999) *Methane production and energy partition of cattle in the tropics*. *British Journal of Nutrition*, 81, págs. 227 a 234.
- Lassey, K.R. y M.J. Ulyatt (1999) *Enterically fermented methane, with emphasis on sheep emissions*. Report WLG99/5, National Institute of Water and Atmospheric Research, Wellington, Nueva Zelandia.
- Lassey, K.R., M.J. Ulyatt, R.J. Martin, C.F. Walker e I.D. Shelton (1997) *Methane emissions measured directly from grazing livestock in New Zealand*, *Atmos. Environ.*, 31, págs. 2905 a 2914.
- Leuning, R., S.K. Baker, I.M. Jamie, C.H. Hsu, L. Klein, O.T. Denmead y D.W.T. Griffith (1999) *Methane emission from free-ranging sheep: a comparison of two measurement methods*, *Atmos. Environ.*, 33, págs. 1357 a 1365.
- Murray, B.R., A.M. Bryant y R.A. Leng (1978) *Methane production in the rumen and lower gut of sheep given lucerne chaff: effect of level of intake*, *Br. J. Nutr.*, 39, págs. 337 a 345.

EMISIONES DE CH₄ PROCEDENTES DEL MANEJO DEL ESTIÉRCOL

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (1997). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996*, J.T. Houghton y otros, IPCC/OCDE/AIE, París, Francia.

EMISIONES DE N₂O PROCEDENTES DEL MANEJO DEL ESTIÉRCOL

Gibbs, M.J., P. Jun, K. Gaffney (1999) *N₂O and CH₄ emissions from livestock manure*. Documento de antecedentes para la Reunión de expertos del IPCC sobre las buenas prácticas en la preparación de los inventarios: "Agricultural Sources of Methane and Nitrous Oxide", 24 a 26 de febrero de 1999, Wageningen, Países Bajos.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (1997). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996*, J.T. Houghton y otros, IPCC/OCDE/AIE, París, Francia.

Oenema, O., O. Heinemeyer, L. Erda, R. Sherlock (1999) *Nitrous oxide from Animal Waste Management Systems*. Documento de antecedentes para la Reunión de expertos del IPCC sobre las buenas prácticas en la preparación de los inventarios: "Agricultural Sources of Methane and Nitrous Oxide", 24 a 26 de febrero de 1999, Wageningen, Países Bajos.

EMISIONES DIRECTAS DE N₂O PROCEDENTES DE LOS SUELOS AGRÍCOLAS

Barnard, G.W. y L.A. Kristoferson (1985) *Agricultural Residues as Fuel in the Third World*. Technical Report No. 5. Earthscan, Londres, Reino Unido.

Bouwman, A.F. (1996) *Direct emissions of nitrous oxide from agricultural soils*. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 52, págs. 165 a 170.

Clayton, H., I.P. McTaggart, J. Parker, L. Swan y K.A. Smith (1997) *Nitrous oxide emissions from fertilised grassland: A 2-year study of the effects of fertiliser form and environmental conditions*. Biology and Fertility of Soils, 25, págs. 252 a 260

Cornell (1994) The Cornell Net Carbohydrate System for Evaluating Cattle Diets. Cornell Cooperative Extension, Animal Science Department, Ithaca, NY.

Firestone, M. K. y E.A. Davidson (1989) *Methodological basis of NO and N₂O production and consumption in soil*. En: M.O. Andreae y D.S. Schimel (eds.) Exchange of Trace Gases between Terrestrial Ecosystems and the Atmosphere. Wiley and Sons, Chichester, Reino Unido, págs. 7 a 21.

OIEA (1992) Manual on Measurement of Methane and Nitrous Oxide Emissions from Agriculture. OIEA, Viena, IAEA-TECDOC-674, ISSN 10111-4289.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (1997). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996*, J.T. Houghton y otros, IPCC/OCDE/AIE, París, Francia.

Klemedtsson, L., A. Kasimir Klemedtsson, M. Escala, y A. Kulmala (1999) *Inventory of N₂O emission from farmed European peatlands*. En: Freibauer, A. y M. Kaltschmitt (eds.), Approaches to Greenhouse Gas Inventories of Biogenic Sources in Agriculture, Actas del seminario celebrado en Lökeberg, Suecia, 9 a 10 de julio de 1998, págs. 79 a 91.

Mosier, A.R. y C. Kroeze (1999) *Contribution of agroecosystems to the global atmospheric N₂O budget*. Actas del Seminario internacional sobre la reducción de las emisiones de N₂O procedentes de los agroecosistemas, Banff, Canadá, marzo de 1999.

Smith, K.A., L. Bouwman, y B. Braatz (1999) *Nitrous oxide: Direct emissions from agricultural soils*. Documento de antecedentes para la Reunión de expertos del IPCC sobre las buenas prácticas en la preparación de los inventarios: "Agricultural Sources of Methane and Nitrous Oxide", 24 a 26 de febrero de 1999, Wageningen, Países Bajos.

Soil Science Society of America (1996) Glosario de Términos, Madison WI, EE.UU., pág. 47 y pág. 73.

Strehler, A. y W. Stutzle (1987) *Biomass residues*. En: Biomass: Regenerable Energy, D.O. Hall, y R.P. Overhead (eds.). John Wiley, Chichester, Reino Unido, págs. 75 a 102.

Turn, S.Q., B.M., Jenkin, J.C. Show, L.C. Pritchett, D. Campbell, T. Cahill, y S.A. Whalen (1997) *Elemental characterization of particulate matter emitted from biomass burning: Wind tunnel derived source profiles for herbaceous and wood fuels*. Journal of Geophysical Research, Vol. 102 (D3): págs. 3683 a 3699.

EMISIONES INDIRECTAS DE N₂O PROCEDENTES DEL NITRÓGENO UTILIZADO EN LA AGRICULTURA

- Crutzen, P.J. y M.O. Andreae (1990) *Biomass burning in the tropics: Impact on Atmospheric chemistry and biogeochemical cycles*, Science 250: págs.1669 a 1678.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (1997). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996*, J.T. Houghton y otros, IPCC/OCDE/AIE, París, Francia.
- Smil, V., 1999, *Nitrogen in crop production: An account of global flows*, Global Biogeochemical Cycles 13: págs. 647 a 662.

EMISIONES DE CH₄ PROCEDENTES DE LA PRODUCCIÓN DE ARROZ

- Denier van der Gon, H.A.C. y H.U. Neue (1995) *Influence of organic matter incorporation on the methane emission from a wetland rice field*. Global Biogeochemical Cycles, 9: págs. 11 a 22.
- Ding Aijiu y Wang Mingxing (1996) *A model for methane emission from rice field and its application in southern China*, Advances in Atmospheric Sciences, Vol.13, págs. 159 a 168.
- Huang, Y., R.L. Sass, y F.M. Fisher Jr. (1998) *A semi-empirical model of methane emission from flooded rice paddy soils*. Global Change Biology 4:247-268.
- IGAC (1994) Global Measurement Standardisation of Methane Emissions from Irrigated Rice Cultivation, A Report of the Rice Cultivation and Trace Gas Exchange Activity (RICE) of the International Global Atmospheric Chemistry (IGAC) Project, IGAC Core Office, Cambridge, MA.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (1997). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996*, J.T. Houghton y otros, IPCC/OCDE/AIE, París, Francia.
- Instituto Internacional de Investigación sobre el Arroz (1995), World Rice Statistics 1993-1994. The International Rice Research Institute, Manila, Filipinas.
- Sass, R.L. (1999) *Methane from Rice Agriculture*, Documento de antecedentes presentado ante el programa IPCC/OCDE/IEA sobre los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Reunión del grupo de expertos sobre las buenas prácticas en la preparación de los inventarios. Fuentes agrícolas de metano y óxido nítrico, 24 a 26 de febrero de 1999, Wageningen, Países Bajos.

APÉNDICES 4A.1 Y 4A.2: EMISIONES DE CH₄ Y N₂O PROCEDENTES DE LA QUEMA DE SABANAS Y RESIDUOS AGRÍCOLAS

- Hao, Wei Min, D. Scharf, J.M. Lobert y P.J. Crutzen, *Emissions of N₂O from the burning of biomass in an experimental system*, Geophysical Research Lett., 18, págs. 999 a 1002, 1991.
- Hao, Wei Min, D.E. Ward, G. Olbu y S.P. Baker, *Emissions of CO₂, CO, and hydrocarbons from fires in diverse African savanna ecosystems*, Journal of Geophysical Research, 101, págs. 23577 a 23584, 1996.
- Hoffa, E.A., D.E. Ward, W.M. Hao, R.A. Susott y R.H. Wakimoto, *Seasonality of carbon emissions from biomass burning in a Zambian savanna*, Journal of Geophysical Research, 104, págs. 13841 a 13853, 1999.
- Kauffman, J.B., D.L. Cummings y D.E. Ward, "Relationships of fire, biomass and nutrient dynamics along a vegetation gradient in the Brazilian cerrado", Journal of Ecology, 82, págs. 519 a 531, 1994.
- Shea, R.W., B.W. Shea, J.B. Kauffman, D.E. Ward, C.I. Haskins y M.C. Scholes, "Fuel biomass and combustion factors associated with fires in savanna ecosystems of South Africa and Zambia", Journal of Geophysical Research, 101, págs. 23551 a 23568, 1996.
- Susott, R.A., G.J. Olbu, S.P. Baker, D.E. Ward, J.B. Kauffman y R.W. Shea, *Carbon, hydrogen, nitrogen and thermogravimetric analysis of tropical ecosystem biomass*, in Biomass Burning and Global Change, revisado por J.S. Levine, págs. 249 a 259, MIT Press, Cambridge, Massachusetts., 1996.
- Ward, D.E., R.A. Susott, J.B. Kauffman, R.E. Babbitt, D.L. Cummings, B. Dias, B.N. Holben, Y.J. Kaufman, R.A. Rasmussen y A.W. Setzer (1992) *Smoke and fire characteristics for cerrado and deforestation burns in Brazil: BASE-B Experiment*, Journal of Geophysical Research, 97, págs. 14601 a 14619, 1992.
- Ward, D.E., W.M. Hao, R.A. Susott, R.E. Babbitt, R.W. Shea, J.B. Kauffman y C.O. Justice (1996) *Effect of fuel composition on combustion efficiency and emission factors for African savanna ecosystems*, Journal of Geophysical Research, 101, págs. 23569 a 23576.