

CAPÍTULO 6

TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Autores

Michiel R. J. Doorn (Países Bajos), Sirintornthep Towprayoon (Tailandia), Sonia Maria Manso Vieira (Brasil), William Irving (Estados Unidos), Craig Palmer (Canadá), Riitta Pipatti (Finlandia), y Can Wang (China)

Índice

6	Tratamiento y eliminación de aguas residuales	
6.1	Introducción	6
6.1.1	Cambios respecto de las Directrices de 1996 y la Orientación sobre las buenas prácticas	9
6.2	Emisiones de metano provenientes de las aguas residuales	9
6.2.1	Cuestiones metodológicas	9
6.2.2	Aguas residuales domésticas	10
6.2.3	Aguas residuales industriales	20
6.3	Emisiones de óxido nitroso provenientes de las aguas residuales	27
6.3.1	Cuestiones metodológicas	27
6.3.2	Coherencia de la serie temporal	29
6.3.3	Incertidumbres.....	29
6.3.4	GC/CC, Exhaustividad, generación de informes y documentación	30
	Referencias	6.31

Ecuaciones

Ecuación 6.1 Emisiones totales de CH ₄ procedentes de las aguas residuales domésticas.....	11
Ecuación 6.2 Factor de emisión de CH ₄ para cada vía o sistema de tratamiento y/o eliminación de aguas residuales domésticas.....	12
Ecuación 6.3 Total de materia orgánica degradable en las aguas residuales domésticas.....	14
Ecuación 6.4 Emisiones totales de CH ₄ procedentes de las aguas residuales industriales.....	22
Ecuación 6.5 Factor de emisión de CH ₄ para las aguas residuales industriales.....	23
Ecuación 6.6 Materia orgánica degradable en las aguas residuales industriales.....	24
Ecuación 6.7 Emisiones de N ₂ O provenientes de las aguas residuales efluentes.....	27
Ecuación 6.8 Nitrógeno total en los efluentes.....	28
Ecuación 6.9 Emisiones de N ₂ O provenientes de plantas de tratamiento centralizado de las aguas residuales.....	6.29

Figuras

Figura 6.1 Tratamiento y vías de eliminación de las aguas residuales.....	7
Figura 6.2 Árbol de decisión para estimar las emisiones de CH ₄ procedentes de las aguas residuales domésticas.....	10
Figura 6.3 Árbol de decisión para estimar las emisiones de CH ₄ procedentes de las aguas residuales industriales.....	21

Cuadros

Cuadro 6.1 Potenciales de emisión de CH ₄ y N ₂ O para sistemas de tratamiento y eliminación de aguas y lodos residuales.....	8
Cuadro Capacidad máxima de producción de CH ₄ (B ₀) por defecto para las aguas residuales domésticas.....	12
Cuadro 6.3 Valores de MCF por defecto para las aguas residuales domésticas.....	13
Cuadro 6.4 Valores de BOD ₅ estimados para las aguas residuales domésticas por regiones y países seleccionados.....	14
Cuadro 6.5 Valores sugeridos para la urbanización (U) y el grado de utilización de la vía del tratamiento o eliminación o del método por grupo de ingresos (T _{i,j}) para los países seleccionados.....	16

Cuadro 6.6 Ejemplo de aplicación de los valores por defecto por grados de utilización del tratamiento (T) por grupos de ingresos.....	17
Cuadro 6.7 Intervalos de incertidumbre por defecto para las aguas residuales domésticas	18
Cuadro 6.8 Valores de MCF por defecto para las aguas residuales industriales	23
Cuadro 6.9 Ejemplos de datos sobre aguas residuales industriales	25
Cuadro 6.10 Intervalos de incertidumbre por defecto para las aguas residuales industriales.....	25
Cuadro 6.10 (continuación) Intervalos de incertidumbre por defecto para las aguas residuales industriales	26
Cuadro 6.11 Datos por defecto para la metodología del N ₂ O	30

Recuadros

Recuadro 6.1 Emisiones de sub-categorías provenientes de plantas de tratamiento centralizado avanzado de las aguas residuales.....	29
--	----

6 TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

6.1 INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales pueden ser una fuente de metano (CH_4) cuando se las trata o elimina en medio anaeróbico. También pueden ser una fuente de emisiones de óxido nitroso (N_2O). Las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) procedentes de las aguas residuales no se consideran en las *Directrices del IPCC* porque son de origen biogénico y no deben incluirse en el total nacional de emisiones. Las aguas residuales se originan en una variedad de fuentes domésticas, comerciales e industriales y pueden tratarse *in situ* (no recolectadas), transferirse por alcantarillado a una instalación central (recolectadas), o eliminarse sin tratamiento en las cercanías o por medio de desagües. Se entiende por aguas residuales domésticas (o aguas servidas) los residuos de aguas utilizadas en los hogares, mientras que las aguas residuales industriales derivan exclusivamente de las prácticas industriales.¹ Los sistemas de tratamiento y eliminación pueden variar de forma abrupta de un país a otro. Los sistemas de tratamiento y eliminación pueden diferir también entre los usuarios urbanos y rurales, así como entre los usuarios urbanos de alto nivel de ingresos y los de bajo nivel de ingresos.

Las cloacas pueden ser abiertas o cerradas (alcantarillas). En las áreas urbanas de los países en desarrollo y de algunos países desarrollados, los sistemas de alcantarillado pueden consistir en redes de canales abiertos, canaletas y zanjas, a los que se denomina cloacas o alcantarillados abiertos. En la mayoría de los países desarrollados y en las zonas urbanas de alto nivel de ingresos de otros países, los alcantarillados en general son cerrados y subterráneos. Se considera que las aguas residuales de los alcantarillados cerrados subterráneos no constituyen una fuente importante de emisiones de CH_4 . En los alcantarillados abiertos, el caso de las aguas servidas es diferente, pues están expuestas al calentamiento por el sol y las cloacas pueden estancarse, lo que permite el desarrollo de condiciones anaeróbicas con emisión de CH_4 . (Doorn *et al.*, 1997).

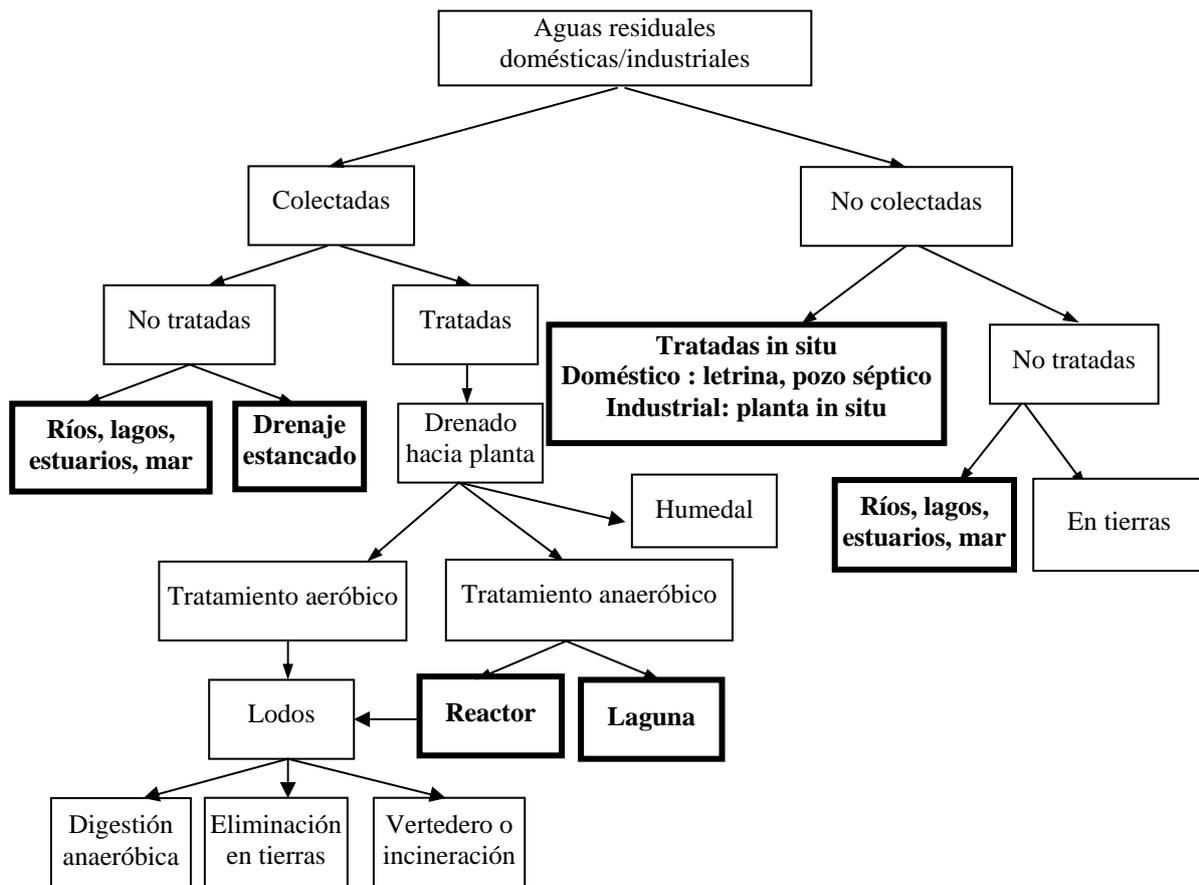
Los métodos de tratamiento de aguas residuales más difundidos en los países desarrollados son las instalaciones centralizadas para el tratamiento aeróbico de estas aguas y las lagunas para aguas residuales, tanto domésticas como industriales. Para evitar las altas tarifas del derecho a descargar aguas residuales o para cumplir con las exigencias reglamentarias, muchas de las grandes plantas industriales dan un tratamiento previo a sus aguas residuales antes de liberarlas en los sistemas de alcantarillado. Las aguas servidas domésticas también pueden tratarse en sistemas sépticos locales. Se trata de sistemas avanzados que pueden tratar las aguas de uno o varios hogares. Constan de un tanque anaeróbico subterráneo y un terreno de drenaje para el tratamiento de los efluentes del tanque. Algunos países desarrollados siguen eliminando sus aguas servidas domésticas no tratadas por medio de un desagüe o una tubería que las vierte en una masa de agua, como el océano.

El grado de tratamiento de las aguas residuales difiere en la mayoría de los países en desarrollo. En algunos casos, las aguas residuales industriales se eliminan directamente en masas de agua, mientras que las grandes plantas industriales pueden disponer de un tratamiento completo en la misma planta. Las aguas servidas domésticas se transfieren por medio de alcantarillas abiertas o cerradas, para recibir tratamiento en plantas centralizadas, letrinas de hoyo, sistemas sépticos, o ser eliminadas en lagunas no gestionadas o en las vías fluviales. En algunas ciudades costeras, las aguas servidas domésticas se vierten directamente en el océano. Las letrinas de hoyo son pozos con o sin revestimiento, de varios metros de profundidad, que pueden estar equipados con un inodoro para la comodidad. La Figura 6.1 presenta diferentes vías para el tratamiento y la eliminación de las aguas residuales. Los métodos de tratamiento centralizado de las aguas residuales pueden clasificarse como tratamientos primarios, secundarios y terciarios. En el tratamiento primario, los sólidos más voluminosos se separan de las aguas mediante barreras físicas. Luego se permite la decantación de las partículas residuales. Los tratamientos secundarios consisten en una combinación de procesos biológicos que fomentan la biodegradación por microorganismos. Estos procesos pueden incluir pozas aeróbicas de estabilización, filtros de goteo y procesos de lodo activado, así como reactores anaeróbicos y lagunas. Los tratamientos terciarios se usan para purificar aún más las aguas residuales de los agentes patógenos, contaminantes, y nutrientes residuales, como los compuestos de nitrógeno y fósforo. Esto se logra mediante uno o varios procesos combinados que pueden incluir pozas de maduración y/o depuración, procesos biológicos, filtraje avanzado, absorción por carbono, intercambio iónico y desinfección.

¹ Debido al hecho de que la metodología se basa en un criterio de cuantificación por persona, las emisiones provenientes de las aguas residuales comerciales se estiman como parte de las aguas servidas domésticas. Para evitar confusiones, en este texto no se utiliza el término «aguas residuales municipales». Las aguas residuales municipales son una mezcla de aguas servidas domésticas, aguas residuales comerciales e industriales no peligrosas, tratadas en plantas de tratamiento de aguas residuales.

Todas las etapas de los tratamientos primarios, secundarios y terciarios producen lodo. El lodo producido en el tratamiento primario consiste en sólidos que han sido separados de las aguas residuales y no se contabiliza en esta categoría. El lodo producido en los tratamientos secundarios y terciarios es producto del crecimiento biológico en la biomasa, así como de la incorporación de pequeñas partículas. Este lodo debe procesarse aún más antes de que pueda eliminarse sin riesgos. Los métodos de tratamiento de los lodos incluyen la estabilización (digestión) aeróbica y anaeróbica, el acondicionamiento, la centrifugación, la preparación de abono y el secado. La eliminación en tierras, preparación de abono (*compost*) e incineración de lodos son temas tratados en el Volumen 5, Sección 2.3.2 del Capítulo 2, Datos de generación, composición y gestión de desechos, la Sección 3.2 del Capítulo 3, Eliminación de desechos sólidos, la Sección 4.1 del Capítulo 4, Tratamiento biológico y eliminación, y en el Capítulo 5, Incineración e incineración abierta de desechos, respectivamente. Algunos lodos se incineran antes de su eliminación en tierra. Las emisiones de N₂O procedentes de los lodos y las aguas residuales esparcidas en tierras agrícolas se tratan en la Sección 11.2, Emisiones de N₂O de los suelos gestionados, en el Capítulo 11, Emisiones de N₂O de los suelos gestionados y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y urea, del Volumen 4 del Sector de Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU).

Figura 6.1 Tratamiento y vías de eliminación de las aguas residuales



Nota: Las emisiones correspondientes a los recuadros en negrita son las que se abordan en este capítulo.

Metano (CH₄)

Tanto las aguas residuales como los lodos que contienen pueden producir CH₄ por degradación anaeróbica. La cantidad de CH₄ producido depende principalmente de la cantidad de materia orgánica degradable contenido en las aguas residuales, de la temperatura y del tipo de sistema de tratamiento. El índice de producción de CH₄ aumenta con la temperatura. Esto es particularmente importante en los sistemas no controlados y en los climas cálidos. Por debajo de 15°C, la producción significativa de CH₄ es improbable, porque los metanógenos no están activos y la laguna servirá principalmente como tanque de sedimentación. Sin embargo, cuando la temperatura sobrepasa los 15°C, es probable que la producción de CH₄ se reinicie.

El factor principal para determinar el potencial de generación de CH₄ de las aguas residuales es la cantidad de materia orgánica degradable contenida en las aguas. Los parámetros usuales para medir el componente orgánico de las aguas residuales son el requisito bioquímico de oxígeno (BOD, del inglés, en *Biochemical Oxygen Demand*) y el requisito químico de oxígeno (COD, del inglés, en *Chemical Oxygen Demand*). En las mismas condiciones, las aguas residuales con mayor concentración de COD o BOD, producen, en general, más CH₄ que las de menor concentración de COD (o BOD).

La concentración de BOD sólo indica la cantidad de carbono biodegradable en condiciones aeróbicas. La medición estándar para el BOD es una prueba de 5 días, conocida como BOD₅. El término «BOD» en este capítulo se refiere al BOD₅. El COD mide el total de materia disponible para oxidación química (tanto biodegradable como no-biodegradable).² Puesto que el BOD es un parámetro aeróbico, puede resultar menos apropiado para la determinación de los componentes orgánicos en medios anaeróbicos. Además, tanto el tipo de aguas residuales como el tipo de bacterias presentes en ellas influyen sobre la concentración de BOD en las aguas residuales. Normalmente, el BOD se declara más a menudo para el caso de las aguas servidas domésticas, mientras que el COD se utiliza de preferencia para las aguas residuales industriales.

Óxido nitroso (N₂O)

El óxido nitroso (N₂O) está asociado con la degradación de los componentes nitrogenados en las aguas residuales, a saber: urea, nitrato y proteínas. Las aguas servidas domésticas incluyen desechos humanos mezclados con otras aguas servidas del hogar, que pueden incluir efluentes de drenajes de duchas, fregaderos, lavadoras, etc. Los sistemas centralizados de tratamiento de aguas servidas pueden incluir una variedad de procesos, que van desde el uso de lagunas hasta la tecnología avanzada de tratamientos terciarios para la eliminación de compuestos del nitrógeno. Típicamente, después de ser procesado, el efluente tratado se vierte en un medio acuoso de recepción (a saber: río, lago, estuario, etc.). Se pueden generar emisiones directas de N₂O durante la nitrificación y la desnitrificación del nitrógeno presente. Ambos procesos pueden ocurrir en la planta y en la masa de agua que recibe el efluente. La nitrificación es un proceso aeróbico que convierte el amoníaco y otros compuestos nitrogenados en nitrato (NO₃⁻), mientras que la desnitrificación se produce bajo condiciones anóxicas (sin oxígeno libre) e implica la conversión biológica del nitrato en gas di-nitrógeno (N₂). El óxido de nitrógeno puede ser un producto intermedio de ambos procesos, pero suele asociarse más a menudo con la desnitrificación.

Sistemas de tratamiento y eliminación y potencial de generación de CH₄ y N₂O

En general, los sistemas de tratamiento o vías de eliminación que constituyen medios anaeróbicos producen CH₄, mientras que los sistemas que ofrecen entornos aeróbicos suelen producir poco o nada de CH₄. Por ejemplo, para las lagunas sin agitación o aeración, el factor crítico para la producción de CH₄ es su profundidad. Las lagunas poco profundas, con menos de 1 metro de profundidad, suelen ofrecer condiciones aeróbicas y poco o nada de producción de CH₄. Las lagunas de más de 2-3 metros de profundidad ofrecen generalmente medios anaeróbicos y se puede esperar una significativa producción de CH₄.

El Cuadro 6.1 presenta los principales sistemas de tratamiento y eliminación en los países desarrollados y en los países en desarrollo, con sus respectivos potenciales de emisión de CH₄ y N₂O.

CUADRO 6.1 POTENCIALES DE EMISIÓN DE CH ₄ Y N ₂ O PARA SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE AGUAS Y LODOS RESIDUALES				
Tipo de tratamiento y eliminación		Potenciales de emisión de CH ₄ y N ₂ O		
Recolectadas	No tratadas	Eliminación en ríos	Ríos y lagos estancados y pobres en oxígeno pueden permitir la descomposición anaeróbica que produzca CH ₄ . Ríos, lagos y estuarios son probables fuentes de N ₂ O.	
		Alcantarillas (cerradas y subterráneas)	No son fuentes de CH ₄ /N ₂ O	
		Alcantarillas (abiertas)	Las cloacas o alcantarillas abiertas, acequias o los canales abiertos, sobrecargados y estancados suelen ser fuentes significativas de CH ₄	
	Tratadas	Tratamiento aeróbico	Plantas de tratamiento centralizado aeróbico de aguas servidas	Pueden producir poco CH ₄ en bolsones anaeróbicos. Los sistemas de tratamiento mal diseñados o gestionados producen CH ₄ . Las plantas avanzadas con eliminación de nutrientes (nitrificación y desnitrificación) son pequeñas, pero fuentes bien diferenciadas de N ₂ O.
			Tratamiento anaeróbico de los lodos en plantas centralizadas de tratamiento de aguas residuales	El lodo puede ser una importante fuente de CH ₄ si el CH ₄ emitido no se recupera ni se quema en antorcha.
		Tratamiento anaeróbico	Pozas aeróbicas poco profundas	Fuente poco probable de CH ₄ y/o N ₂ O Los sistemas de tratamiento mal diseñados o mal gestionados producen CH ₄ .
			Lagunas anaeróbicas	Fuente probable de CH ₄ No es fuente de N ₂ O.
			Reactores anaeróbicos	Puede ser una importante fuente de CH ₄ si el CH ₄ emitido no se recupera ni se quema en antorcha.
	No recolecta días	Pozo séptico	La separación frecuente de los sólidos reduce la producción de CH ₄	
		Pozos abiertos y/o letrinas	Los pozos y/o letrinas suelen producir CH ₄ cuando la temperatura y el tiempo de retención son favorables	
Eliminación en ríos		Véase arriba.		

² En estas directrices, el COD se refiere al requisito químico de oxígeno medido con el método del di-cromato. (American Public Health Association, American Water Works Association y Water Environment Federation, 1998)

6.1.1 Cambios respecto de las Directrices de 1996 y la Orientación sobre las buenas prácticas

Las *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996* (IPCC, 1997) incluía ecuaciones separadas para la estimación de las emisiones provenientes de las aguas residuales y de los lodos separados de ellas. Esta distinción se ha eliminado porque las capacidades de generación de CH₄ de los lodos y de las aguas residuales con sustancias orgánicas disueltas son generalmente las mismas y no requieren de ecuaciones diferentes. Las *Directrices de 2006* incluyen una nueva sección para la estimación de emisiones de CH₄ provenientes de las aguas no recolectadas. Igualmente, se han incluido orientaciones para la estimación de las emisiones de N₂O provenientes de las plantas avanzadas de tratamiento de aguas residuales. Además, la sección sobre aguas residuales industriales se ha simplificado, al sugerirse que sólo es necesario abordar el caso de las fuentes industriales más significativas. (Véase la Sección 6.2.3.)

6.2 EMISIONES DE METANO PROVENIENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES

6.2.1 Cuestiones metodológicas

Las emisiones dependen de la cantidad de desechos orgánicos generados y de un factor de emisión que caracteriza la proporción en la que estos desechos generan CH₄.

A continuación se resumen tres niveles metodológicos para estimar el CH₄ a partir de esta categoría.

El método de Nivel 1 aplica valores por defecto para el factor de emisión y para los parámetros de la actividad. Este método se considera de *buena práctica* para los países con escasa disponibilidad de datos.

El método de Nivel 2 sigue la misma metodología que el Nivel 1, pero permite la incorporación de un factor de emisión específico del país y de datos de la actividad específicos del país. Por ejemplo, un factor de emisión específico para un importante sistema de tratamiento, basado en mediciones en el terreno se podría incorporar con este método. Hay que tomar en cuenta la cantidad de lodos eliminados por incineración, en vertederos y en suelos agrícolas.

Para un país con buenos datos y metodologías avanzadas, se puede aplicar una metodología específica del país, como un método de Nivel 3. Un método aún más avanzado, específico del país, puede basarse en datos específicos de cada planta en las grandes instalaciones de tratamiento de aguas residuales.

Las instalaciones de tratamiento de aguas servidas pueden incluir etapas de procesos anaeróbicos. El CH₄ generado en ese tipo de instalaciones puede recuperarse y quemarse en antorcha o en un dispositivo de energía. La cantidad de CH₄ que se quema en antorcha o se recupera para generar energía debe restarse del total de las emisiones, mediante el uso de un parámetro separado para la recuperación de CH₄. La cantidad de CH₄ que se recupera se expresa en la Ecuación 6.1 como R.

Nótese que es posible que sólo unos pocos países dispongan de datos sobre la separación de lodos y sobre la recuperación de CH₄. El valor por defecto para la separación de lodos es cero. El valor por defecto para la recuperación de CH₄ es cero. Si un país decide declarar el CH₄ que recupera, es una *buena práctica* distinguir entre el CH₄ quemado en antorcha y el CH₄ recuperado para generar energía, que debe declararse en el Sector Energía, teniendo cuidado de evitar el cómputo doble de las emisiones provenientes de la quema en antorcha y de la energía utilizada.

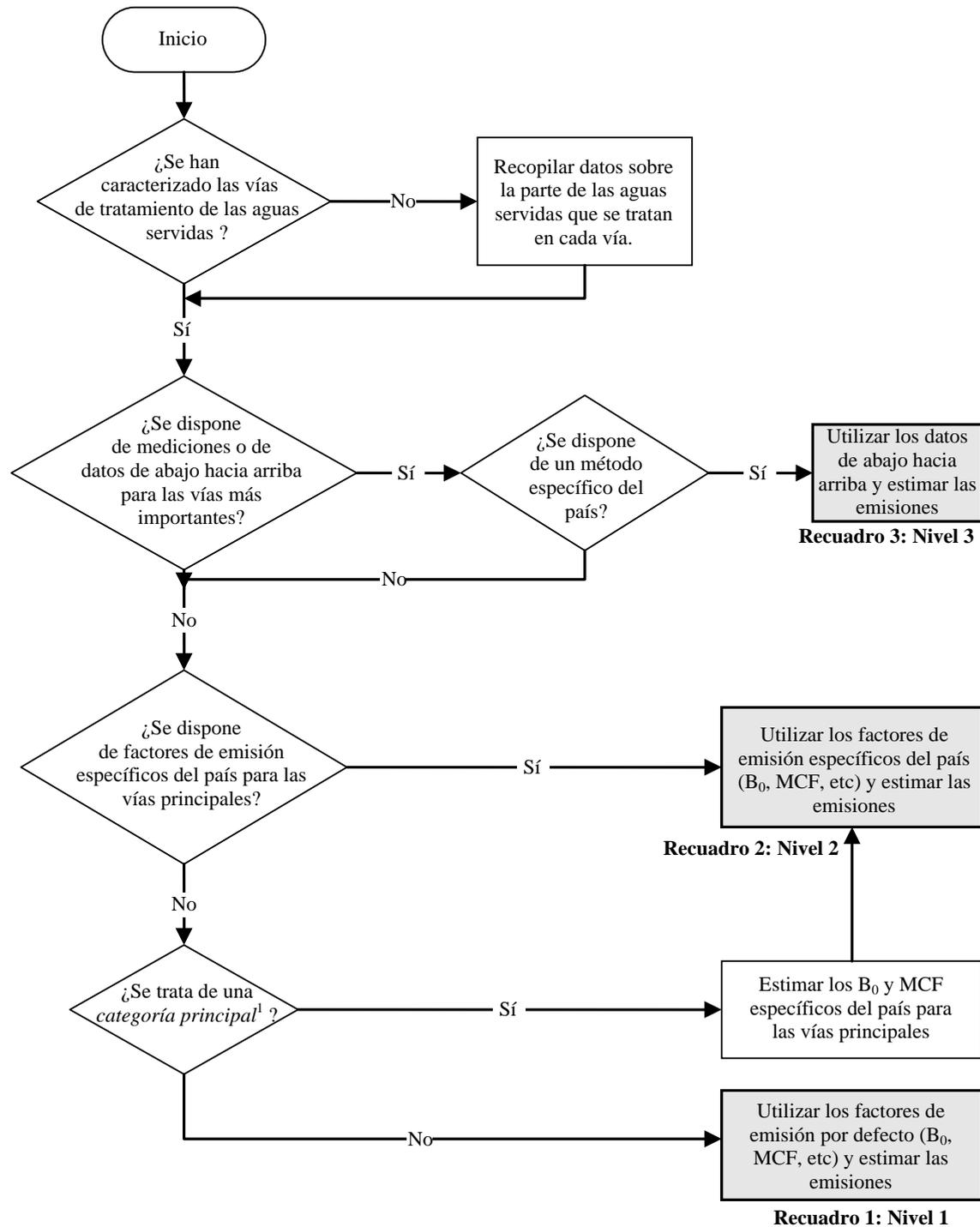
Las emisiones provenientes de la quema en antorcha son insignificantes, pues las emisiones de CO₂ son de origen biogénico y las emisiones de CH₄ y N₂O son muy pequeñas, de modo que en el Sector Desechos, la *buena práctica* no exige su estimación. No obstante, si se desea hacerlo, estas emisiones deben declararse en el Sector Desechos. En el Volumen 2, Energía, Capítulo 4.2, se presenta un análisis de las emisiones procedentes de la quema en antorcha y otra información más detallada. Las emisiones provenientes de la quema en antorcha no son tratadas en el Nivel 1.

6.2.2 Aguas residuales domésticas

6.2.2.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

La Figura 6.2 presenta un árbol de decisión para las aguas residuales domésticas o aguas servidas.

Figura 6.2 **Árbol de decisión para estimar las emisiones de CH₄ procedentes de las aguas residuales domésticas**



Nota:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

Según las *buenas prácticas*, los pasos para la preparación del inventario del CH₄ de aguas servidas domésticas, son:

- Paso 1:** usar la Ecuación 6.3 para estimar el contenido total de carbono orgánico degradable en las aguas servidas (TOW, del inglés *Total Organic Waste*)
- Paso 2:** elegir las vías y los sistemas (véase la Figura 6.1) según los datos de la actividad del país. Usar la Ecuación 6.2 para obtener el factor de emisión para cada vía o sistema de tratamiento y/o eliminación de aguas servidas domésticas
- Paso 3:** usar la Ecuación 6.1 para estimar las emisiones, hacer ajustes para las eventuales separaciones de lodos y/o recuperaciones de CH₄ y sumar los resultados para cada vía o sistema.

Como se describió anteriormente, la caracterización de las aguas servidas determinará la fracción de las aguas que son tratadas o eliminadas por un sistema en particular. Para determinar el uso de cada tipo de tratamiento o sistema de eliminación, es una *buen práctica* referirse a las estadísticas nacionales (p. ej., de las autoridades reguladoras). Si no se dispone de estos datos, las asociaciones de aguas servidas u organizaciones internacionales tales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) suelen disponer de datos sobre la utilización del sistema.

Por otra parte, puede ser útil recurrir a expertos en saneamiento, así como aplicar dictámenes de expertos (ver Capítulo 2, Métodos para la recopilación de datos, en el Volumen 1). Las estadísticas de urbanización pueden ofrecer valiosas herramientas, tales como el tamaño de las ciudades y la distribución de los ingresos.

Si se practica la separación de los lodos y se dispone de estadísticas adecuadas, esta categoría debe tratarse como subcategoría aparte. Si se usan los valores por defecto, las emisiones provenientes de aguas servidas y de lodos deben estimarse en conjunto. Independientemente de cómo se traten los lodos, es importante que las emisiones de CH₄ de los lodos eliminados en vertederos, incinerados o usados en la agricultura, no sean incluidas en la categoría de tratamiento y eliminación de aguas servidas. Si se dispone de datos acerca de la separación de los lodos, éstos deben ser coherentes en todos los sectores y categorías: en la Ecuación 6.1, las cantidades eliminadas en los SEDS, aplicadas en suelos agrícolas, incineradas o utilizadas de otra manera, deben ser iguales a la cantidad de componente orgánico separado como lodo. Las aguas servidas y los lodos que se utilizan en las tierras agrícolas deben considerarse en el Volumen 4, para el Sector AFOLU, Sección 11.2, Emisiones de N₂O de suelos gestionados, del Capítulo 11, Emisiones de N₂O de los suelos gestionados y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y urea.

El uso de sistemas y/o vías de tratamiento de aguas servidas suele diferir para los residentes rurales y urbanos. Igualmente, en los países en desarrollo, es probable que haya diferencias entre grupos urbanos de alto y de bajo nivel de ingresos. Por lo tanto, se introduce el factor U para expresar cada fracción de grupo de ingresos. Es una *buen práctica* tratar las tres categorías por separado: población rural, población urbana de alto nivel de ingresos, y población urbana de bajo nivel de ingresos. Se sugiere utilizar una hoja de cálculo como la presentada más abajo, en el Cuadro 6.5.

La ecuación general para estimar las emisiones de CH₄ derivadas de aguas servidas domésticas, es la siguiente:

ECUACIÓN 6.1

EMISIONES TOTALES DE CH₄ PROCEDENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

$$Emisiones\ de\ CH_4 = \left[\sum_{i,j} (U_i \cdot T_{i,j} \cdot EF_j) \right] (TOW - S) - R$$

Donde:

- Emisiones de CH₄ = emisiones de CH₄ durante el año del inventario, kg. de CH₄/año
- TOW = total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, kg. de BOD/año
- S = componente orgánico separado como lodo durante el año del inventario, kg. de BOD/año
- U_i = fracción de la población del grupo de ingresos *i* en el año de inventario, véase el Cuadro 6.5.
- T_{i,j} = grado de utilización de vía o sistema de tratamiento y/o eliminación *j*, para cada fracción de grupo de ingresos *i* en el año del inventario, véase el Cuadro 6.5.
- i* = grupo de ingresos: rural, urbano de altos ingresos y urbano de bajos ingresos.
- j* = cada vía o sistema de tratamiento/eliminación
- EF_j = factor de emisión, kg. de CH₄/kg. de BOD

R = cantidad de CH₄ recuperada durante el año del inventario, kg. de CH₄/año

6.2.2.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

El factor de emisión para una vía y sistema de tratamiento y eliminación de aguas servidas (bloques terminales con marcos en negrita de la Figura 6.1) es una función del potencial máximo de producción (B₀) de CH₄ y del factor de corrección para el metano (MCF) para el sistema de tratamiento y eliminación de aguas residuales, como se muestra en la Ecuación 6.2, B₀ corresponde a la cantidad máxima de CH₄ que puede generarse a partir de una cantidad dada de sustancias orgánicas (como lo expresan BOD y COD) contenidas en las aguas servidas. Como se ha indicado más arriba, el MCF indica la medida en la que se manifiesta el potencial máximo de producción de CH₄ (B₀) en cada tipo de método de tratamiento y vía o sistema de eliminación. Por lo tanto, es una indicación de la medida o grado en que cada sistema es anaeróbico.

ECUACIÓN 6.2
FACTOR DE EMISIÓN DE CH₄ PARA CADA VÍA O SISTEMA DE TRATAMIENTO
Y/O ELIMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

$$EF_j = B_o \cdot MCF_j$$

Donde:

EF_j = factor de emisión, kg. de CH₄/kg. de BOD

j = cada vía o sistema de tratamiento y/o eliminación

B₀ = capacidad máxima de producción de CH₄, kg. de CH₄/kg. de COD

MCF_j = factor corrector para el metano (fracción) (véase el Cuadro 6.3)

Para mantener la coherencia con los datos de la actividad, es una *buena práctica* utilizar, cuando existen, los datos específicos del país para B₀ expresados en términos de kg. de CH₄ / kg. de BOD eliminados. Si no se dispone de datos específicos del país, se puede usar un valor por defecto de 0,6 kg. de CH₄/kg. de BOD. Para las aguas servidas domésticas, un valor de B₀ basado en el COD se puede convertir en un valor basado en el BOD, multiplicándolo por un factor de 2,4. El Cuadro 6.2 incluye un valor por defecto para el potencial máximo de producción de CH₄ (B₀) para las aguas residuales domésticas.

CUADRO CAPACIDAD MÁXIMA DE PRODUCCIÓN DE CH₄ (B₀) POR DEFECTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS
0,6 kg. de CH ₄ /kg. de BOD
0,25 kg. de CH ₄ /kg. de BOD
Basado en dictamen de expertos realizado por los autores principales y en Doorn <i>et al.</i> , (1997)

El Cuadro 6.3 incluye los valores de MCF por defecto.

CUADRO 6.3
VALORES DE MCF POR DEFECTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Tipo de vía o sistema de tratamiento y eliminación	Comentarios	MCF ¹	Intervalo
Sistema sin tratamiento			
Eliminación en río, lago y mar	Los ríos con alto contenido de sustancias orgánicas pueden volverse anaeróbicos.	0,1	0 – 0,2
Cloaca estancada	Abierta y caliente.	0,5	0,4 – 0,8
Cloaca en movimiento (abierta o cerrada).	Correntosa, limpia. (cantidades insignificantes de CH ₄ desde las estaciones de bombeo, etc.)	0	0
Sistema tratado			
Planta de tratamiento centralizado aeróbico	Debe ser bien operada. Puede emitir algo de CH ₄ desde las cuencas de decantación y otros tanques.	0	0 – 0,1
Planta de tratamiento centralizado aeróbico	Mal operada. Sobrecargada.	0,3	0,2 – 0,4
Digestor anaeróbico para lodos	Aquí no se considera la recuperación de CH ₄ .	0,8	0,8 – 1,0
Reactor anaeróbico	Aquí no se considera la recuperación de CH ₄ .	0,8	0,8 – 1,0
Laguna anaeróbica poco profunda	Profundidad de menos de 2 metros: recurrir al dictamen de expertos.	0,2	0 – 0,3
Laguna anaeróbica profunda	Profundidad de más de 2 metros.	0,8	0,8 – 1,0
Sistema séptico	La mitad del BOD se decanta en tanques anaeróbicos.	0,5	0,5
Letrina	Clima seco, capa freática más baja que la letrina, familia reducida (3-5 personas)	0,1	0,05 – 0,15
Letrina	Clima seco, capa freática más baja que la letrina, uso comunitario (muchos usuarios)	0,5	0,4 – 0,6
Letrina	Clima húmedo/descarga por agua, capa freática más alta que la letrina	0,7	0,7 – 1,0
Letrina	Extracción frecuente de sedimentos para abono	0,1	0,1

¹ En base al dictamen de expertos de los autores principales de esta sección

6.2.2.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Los datos de la actividad para esta categoría de fuente son la cantidad total de materia orgánica degradable en las aguas servidas (TOW, del inglés, *Total Organic Waste*). Este parámetro es una función de la población humana y del índice de generación de BOD por persona. Se expresa en términos de requisito bioquímico de oxígeno (kg. de BOD/año). La ecuación para el TOW es:

ECUACIÓN 6.3
TOTAL DE MATERIA ORGÁNICA DEGRADABLE EN LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

$$TOW = P \cdot BOD \cdot 0.001 \cdot I \cdot 365$$

Donde:

- TOW = total de materia orgánica en las aguas residuales del año del inventario, kg. de BOD/año
- P = población del país en el año del inventario, (personas)
- BOD = BOD per cápita específico del país en el año del inventario, g/persona/día, véase el Cuadro 6.4
- 0,001 = conversión de gramos de BOD a kilogramos de BOD
- I = factor de corrección para BOD industrial adicional eliminado en las cloacas (si es recolectado el valor por defecto es 1,25, si no es recolectado el valor por defecto es 1,00.)

Los valores del factor *I* en la Ecuación 6.3 se basan en el dictamen de expertos realizado por los autores. *I* representa el BOD generado por las industrias y los establecimientos (p. ej., restaurantes, carnicerías, o tiendas de comestibles) que se co-descarga junto con las aguas servidas de origen doméstico. En algunos países, la información disponible basada en las licencias industriales para la descarga de desechos puede servir para mejorar *I*. En caso contrario, se recomienda el dictamen de expertos. Las estadísticas de población total pueden obtenerse fácilmente a través de organismos nacionales de estadísticas o de organismos internacionales (p. ej., Estadísticas de las Naciones Unidas, véase <http://esa.un.org/unpp/>). El Cuadro 6.4 incluye valores por defecto de BOD para algunos países. Si no se dispone de datos específicos del país, es una *buena práctica* elegir un valor por defecto de BOD de algún país vecino y similar. El grado de urbanización de un país puede obtenerse a partir de varias fuentes, (p. ej., *Global Environment Outlook*, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente e Indicadores Mundiales de Desarrollo, Organización Mundial de la Salud). Cuando no se dispone de información estadística u otra comparable, las fracciones de población urbana de altos ingresos y urbana de bajos ingresos se pueden determinar por dictamen de expertos. En el Cuadro 6.5 se incluyen los valores por defecto de U_i y T_{ij} para algunos países seleccionados.

CUADRO 6.4 VALORES DE BOD₅ ESTIMADOS PARA LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS POR REGIONES Y PAÍSES SELECCIONADOS			
País/Región	BOD₅ (g/persona/día)	Intervalo	Referencia
África	37	35 – 45	1
Egipto	34	27 – 41	1
Asia, Oriente Medio, América Latina	40	35 – 45	1
India	34	27 – 41	1
Cisjordania y Franja de Gaza (Palestina)	50	32 – 68	1
Japón	42	40 – 45	1
Brasil	50	45 – 55	2
Canadá, Europa, Rusia, Oceanía	60	50 – 70	1
Dinamarca	62	55 – 68	1
Alemania	62	55 – 68	1
Grecia	57	55 – 60	1
Italia	60	49 – 60	3
Suecia	75	68 – 82	1
Turquía	38	27 – 50	1
Estados Unidos	85	50 – 120	4

Nota: Estos valores están basados en una evaluación de la bibliografía. Por favor use valores nacionales, si los hay.

Referencia:

1. Doorn y Liles (1999).
2. Feachem *et al.* (1983).
3. Masotti (1996).
4. Metcalf y Eddy (2003).

CUADRO 6.5 VALORES SUGERIDOS PARA LA URBANIZACIÓN (U) Y EL GRADO DE UTILIZACIÓN DE LA VÍA DEL TRATAMIENTO O ELIMINACIÓN O DEL MÉTODO POR GRUPO DE INGRESOS (T _{ij}) PARA LOS PAÍSES SELECCIONADOS																		
País	Urbanización(U) ¹			Grado de utilización de la vía del tratamiento o eliminación o del método por cada grupo de ingresos (T _{ij}) ³														
	Fracción de la población			U=rural					U=urbana de ingresos altos					U=urbana de ingresos bajos				
	Rural	urbana-alta ²	urbana-baja ²	Pozo séptico	Letrina	Otro	Cloaca ⁴	Ninguno	Pozo séptico	Letrina	Otro	Cloaca ⁴	Ninguno	Pozo séptico	Letrina	Otro	Cloaca ⁴	Ninguno
África																		
Nigeria	0,56	0,32	0,31	0,00	0,37	0,00	0,17	0,24	0,05	0,34	0,20	0,56	0,32	0,31	0,00	0,37	0,00	0,17
Egipto	0,56	0,15	0,05	0,10	0,70	0,00	0,17	0,24	0,05	0,34	0,20	0,56	0,15	0,05	0,10	0,70	0,00	0,17
Kenia	0,56	0,32	0,31	0,00	0,37	0,00	0,17	0,24	0,05	0,34	0,20	0,56	0,32	0,31	0,00	0,37	0,00	0,17
Sudáfrica	0,48	0,15	0,15	0,00	0,70	0,00	0,17	0,24	0,05	0,34	0,20	0,48	0,15	0,15	0,00	0,70	0,00	0,17
Asia																		
China	0,3	0,18	0,08	0,07	0,67	0,00	0,14	0,10	0,03	0,68	0,05	0,3	0,18	0,08	0,07	0,67	0,00	0,14
India	0,33	0,18	0,08	0,07	0,67	0,00	0,14	0,10	0,03	0,53	0,20	0,33	0,18	0,08	0,07	0,67	0,00	0,14
Indonesia	0,43	0,18	0,08	0,00	0,74	0,00	0,14	0,10	0,03	0,53	0,20	0,43	0,18	0,08	0,00	0,74	0,00	0,14
Paquistán	0,43	0,18	0,08	0,00	0,74	0,00	0,14	0,10	0,03	0,53	0,20	0,43	0,18	0,08	0,00	0,74	0,00	0,14
Bangla Desh	0,43	0,18	0,08	0,00	0,74	0,00	0,14	0,10	0,03	0,53	0,20	0,43	0,18	0,08	0,00	0,74	0,00	0,14
Japón	0,00	0,00	0,00	0,10	0,90	0,00	0,10	0	0	0,90	0	0,00	0,00	0,00	0,10	0,90	0,00	0,10
Europa																		
Rusia	0,00	0,10	0,00	0,00	0,90	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,10	0,00	0,00	0,90	0,00	ND
Alemania ⁵	0,00	0,05	0,00	0,00	0,95	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,05	0,00	0,00	0,95	0,00	ND
Reino Unido	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	ND
Francia	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	ND
Italia	0,00	0,04	0,00	0,00	0,96	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,04	0,00	0,00	0,96	0,00	ND
América del Norte																		
Estados Unidos	0,00	0,05	0,00	0,00	0,95	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,05	0,00	0,00	0,95	0,00	ND
Canadá	0,00	0,05	0,00	0,00	0,95	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,05	0,00	0,00	0,95	0,00	ND
América Latina y el Caribe																		
Brasil	0,45	0,00	0,20	0,00	0,80	0,00	0,00	0,40	0,00	0,40	0,20	0,45	0,00	0,20	0,00	0,80	0,00	0,00
México	0,45	0,00	0,20	0,00	0,80	0,00	0,00	0,40	0,00	0,40	0,20	0,45	0,00	0,20	0,00	0,80	0,00	0,00
Oceanía																		
Australia y Nueva Zelanda	0,00	0,05	0,00	0,00	0,95	0,00	ND	ND	ND	ND	ND	0,00	0,05	0,00	0,00	0,95	0,00	ND

Notas: (ND = dato no disponible)

1. *Urbanization projections for 2005* (Proyecciones de urbanización para el 2005) (Naciones Unidas, 2002).
2. División sugerida entre ingresos altos urbanos y bajos ingresos urbanos. Se alienta a los países a utilizar sus propios datos o mejores apreciaciones.
3. Valores de T_{ij} basados en dictamen de expertos, (Doom y Liles, 1999).
4. Las cloacas pueden ser abiertas o cerradas (alcantarillados), lo cual determinará la elección de MCF, véase el Cuadro 3.3.
5. Destatis, 2001.

Nota: Estos datos se han tomado de la bibliografía o están basados en dictamen de expertos. Por favor use valores nacionales, si los hay.

Ejemplo:

El Cuadro 6.6 incluye un ejemplo. No se muestran las categorías que contribuyen de manera insignificante. Nótese que el cuadro puede extenderse fácilmente con una columna para el MCF de cada categoría. El grado de urbanización para este país es de 65 por ciento.

CUADRO 6.6			
EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LOS VALORES POR DEFECTO			
POR GRADOS DE UTILIZACIÓN DEL TRATAMIENTO (T) POR GRUPOS DE INGRESOS			
Vía o sistema de tratamiento y/o eliminación		T (%)	Notas
Urbanos de altos ingresos	Al mar	10	Ningún CH ₄
	Hacia planta aeróbica	20	Añadir componente industrial
	Hacia sistemas sépticos	10	No recolectadas
Urbanos de bajos ingresos	Al mar	10	Recolectadas
	Hacia letrinas de hoyo	15	No recolectadas
Rural	A ríos, lagos, mar	15	No recolectadas
	Hacia letrinas de hoyo	15	
	Hacia pozos sépticos	5	
Total		100%	Debe sumar 100 %
Referencia: Doorn y Liles (1999).			

6.2.2.4 COHERENCIA DE LA SERIE TEMPORAL

Se debe utilizar los mismos método y conjuntos de datos para la estimación de las emisiones de CH₄ provenientes de las aguas servidas para cada año. El MCF para los diferentes sistemas de tratamiento no debe cambiar de un año a otro, salvo si el cambio es justificable y documentado. Si la fracción de aguas servidas procesadas en los diferentes sistemas de tratamiento cambia con el tiempo, se deben documentar las razones para ese cambio.

La estimación de los valores anuales de la separación de lodos y de la recuperación de CH₄ debe realizarse de manera coherente en la serie temporal. La recuperación del metano debe incluirse únicamente si se disponen de suficientes datos específicos de la planta. La cantidad de metano recuperado debe restarse de la del metano producido, como lo muestra la Ecuación 6.1.

Puesto que los datos de la actividad se derivan de los datos de población, que son conocidos para todos los países y para cada año, los países están en condiciones de construir una serie temporal completa para las aguas servidas recolectadas y no-recolectadas. Si llegaran a faltar datos de uno o más años, véase en el Capítulo 5, Coherencia de la serie temporal, del Volumen 1, Orientación general y generación de informes, la descripción de los datos sustitutos y las técnicas de empalme por extrapolación/interpolación que se pueden utilizar para estimar las emisiones. Por lo general, las emisiones procedentes de las aguas servidas no varían significativamente de un año a otro.

6.2.2.5 INCERTIDUMBRES

En el Volumen 1, Capítulo 3, Incertidumbres, se proporcionan consejos relativos a la cuantificación de las incertidumbres en la práctica. Allí se incluye orientación sobre cómo solicitar y utilizar dictámenes de expertos, lo cual, combinado con los datos empíricos, puede proporcionar estimaciones generales de la incertidumbre. El Cuadro 6.7 presenta intervalos de incertidumbre por defecto para el factor de emisión y los datos de la actividad de las aguas residuales domésticas. Se piensa que los siguientes parámetros son muy inciertos:

- Los grados en los que, en los países en desarrollo, las aguas servidas se tratan en las letrinas, pozos sépticos, o se eliminan por alcantarillas en las poblaciones rurales, urbanas de alto nivel de ingreso, y urbanas de bajo nivel de ingreso (T_{ij}).
- La fracción de cloacas o alcantarillas «abiertas» en los países en vías de desarrollo, así como el grado en el que éstas son anaeróbicas y propensas a emitir CH_4 . Esto depende del tiempo de retención, de la temperatura y de otros factores, incluida la presencia de una eventual capa de cubierta y de posibles componentes tóxicos para las bacterias anaeróbicas (p. ej., ciertas descargas de aguas residuales industriales).
- La cantidad de TOW industrial que se elimina en alcantarillados domésticos abiertos o cerrados en cada país es muy difícil de cuantificar.

CUADRO 6.7 INTERVALOS DE INCERTIDUMBRE POR DEFECTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	
Parámetros	Intervalo de incertidumbre
Factor de emisión	
Capacidad máxima de producción de CH_4 (B_0)	$\pm 30\%$
Fracción tratada en condiciones anaeróbicas (MCF)	El MCF depende de la tecnología. Véase el Cuadro 6.3. Por lo tanto, el intervalo de incertidumbre también depende de la tecnología. El rango de incertidumbre debe determinarse por medio de dictamen de expertos, teniendo presente que el MCF es una fracción y que debe situarse entre 0 y 1. Los intervalos sugeridos se presentan a continuación: Sistemas no-tratados y letrinas, $\pm 50\%$ Lagunas, plantas de tratamiento mal gestionadas, $\pm 30\%$ Planta centralizada bien gestionada, digestor, reactor, $\pm 10\%$
Datos de la actividad	
Población humana (P)	$\pm 5\%$
BOD por persona	$\pm 30\%$
Fracción del grupo de ingresos de la población (U)	Se dispone de buenos datos sobre urbanización, sin embargo, puede ser necesario que la distinción entre los sectores urbanos de altos ingresos y urbanos de bajos ingresos se base en el dictamen de expertos, $\pm 15\%$
Grado de utilización de la vía o el sistema de tratamiento y/o eliminación para cada grupo de ingresos (T_{ij})	Puede ser tan bajo como $\pm 3\%$ para los países que tienen buenos registros y sólo uno o dos sistemas. Puede ser de $\pm 50\%$ para una vía y/o método individual. Asegurarse de que el total T_{ij} sea igual a 100%
Factor de corrección para BOD industrial adicional eliminado en alcantarillas (I)	Para las aguas no-recolectadas, la incertidumbre es cero %. Para las recolectadas, la incertidumbre es de $\pm 20\%$.
Fuente: Dictamen de grupo de expertos (los autores de esta sección)	

6.2.2.6 GC/CC, EXHAUSTIVIDAD, GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* implementar procedimientos de garantía de calidad y control de calidad como los que se describen en el Capítulo 6 del Volumen 1. A continuación, se incluyen algunos procedimientos de GC/CC.

Datos de la actividad

- Hay que caracterizar todas las aguas servidas según los porcentajes que entran a los diferentes sistemas de tratamiento (aeróbico y anaeróbico), y el porcentaje de aguas servidas no tratadas. Hay que asegurarse de que todas las aguas servidas se caractericen de manera tal que los flujos de aguas servidas sumen el 100 por ciento de las aguas servidas generadas en el país.
- Los compiladores del inventario deben comparar los datos específicos del país sobre BOD en las aguas servidas domésticas con los valores por defecto del IPCC. Si utilizan datos específicos del país, deben

justificarlos con documentos que expliquen las razones para considerarlos más adecuados a sus circunstancias nacionales.

Factores de emisión

- Para las aguas servidas domésticas, los compiladores del inventario pueden comparar los valores específicos del país para B_0 con los valores por defecto de IPCC (0,25 kg. de CH_4 /Kg. de COD ó 0,6 Kg. de CH_4 /kg. de BOD). Pese a que no hay valores por defecto del IPCC para la fracción de aguas servidas que se tratan en condiciones anaeróbicas, los compiladores deben comparar sus valores de MFC con los de otros países con similares prácticas de manejo de las aguas servidas.
- Los compiladores deben confirmar la correspondencia entre las unidades utilizadas para expresar el carbono degradable contenido en los desechos (TOW) con las unidades empleadas para B_0 . Para calcular las emisiones, ambos parámetros deben estar expresados con las mismas unidades (tanto BOD como COD). Igual cuidado se debe tener al comparar las emisiones.

Recuperación de CH_4 y separación de los lodos

- Se puede implementar un control del saldo del balance de carbono para garantizar que el contenido de carbono en el flujo de entrada y en el de salida (BOD efluente, emisión de metano y recuperación de metano) sean comparables.
- Si en el inventario de aguas servidas se declara la separación de los lodos, hay que verificar la coherencia entre las cantidades de los lodos aplicados a suelos agrícolas, lodos incinerados, y lodos depositados en sitios de eliminación de desechos sólidos.

Comparación de las estimaciones de emisiones obtenidas mediante los diferentes enfoques

- Para los países que usan parámetros específicos del país o métodos de Nivel 2 o superiores, los compiladores del inventario pueden cotejar la estimación nacional con las emisiones calculadas utilizando el método y los parámetros por defecto del IPCC.

EXHAUSTIVIDAD

La exhaustividad puede verificarse sobre la base del grado de utilización de un sistema o vía de tratamiento o eliminación (T). La suma de T debe ser igual al 100 por ciento. Es una *buena práctica* trazar un diagrama similar al de la Figura 6.1 para el país, con el fin de considerar todos los sistemas o vías de tratamiento y eliminación que sean potencialmente anaeróbicos, tanto para las aguas recolectadas y no-recolectadas, como para las tratadas y las no-tratadas. Todas las aguas residuales industriales tratadas en instalaciones de tratamiento de aguas servidas domésticas deben incluirse en la categoría de aguas recolectadas. Si se separan los lodos para su incineración, descarga en vertederos o uso como abono en tierras agrícolas, la cantidad de materia orgánica separada en calidad de lodo debe ser coherente con los datos utilizados en los sectores pertinentes (véase el texto en la Sección 6.2.2).

GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y declarar un resumen de los métodos utilizados, datos de la actividad y factores de emisión. Al final de este volumen se incluyen hojas de cálculo. Cuando se utilicen métodos y/o factores de emisión específicos del país, la justificación de las opciones así como las referencias a los métodos utilizados para obtener los datos específicos del país (mediciones, bibliografía, dictamen de expertos, etc.) deben documentarse e incluirse en el informe.

Si algunos lodos se incineran, se eliminan en vertederos o se esparcen en las tierras agrícolas, las cantidades de lodos y emisiones asociadas deben declararse en las categorías: incineración de desechos, SEDS o agrícolas, respectivamente.

Si se recupera CH_4 para usos energéticos, las emisiones de gas de efecto de invernadero resultantes deben declararse en el Sector Energía. Como ya se analizó en la Sección 6.2.1, las *buenas prácticas* del Sector Desechos no exigen estimaciones del CH_4 ni del N_2O derivados de la recuperación ni de la quema de CH_4 en antorcha. No obstante, si se desea hacerlo, las emisiones por quema en antorcha deben declararse en el Sector Desechos.

Se puede encontrar más información sobre generación de informes y documentación, en el Volumen 1, Capítulo 6, Sección 6.11, Documentación, archivo y generación de informes.

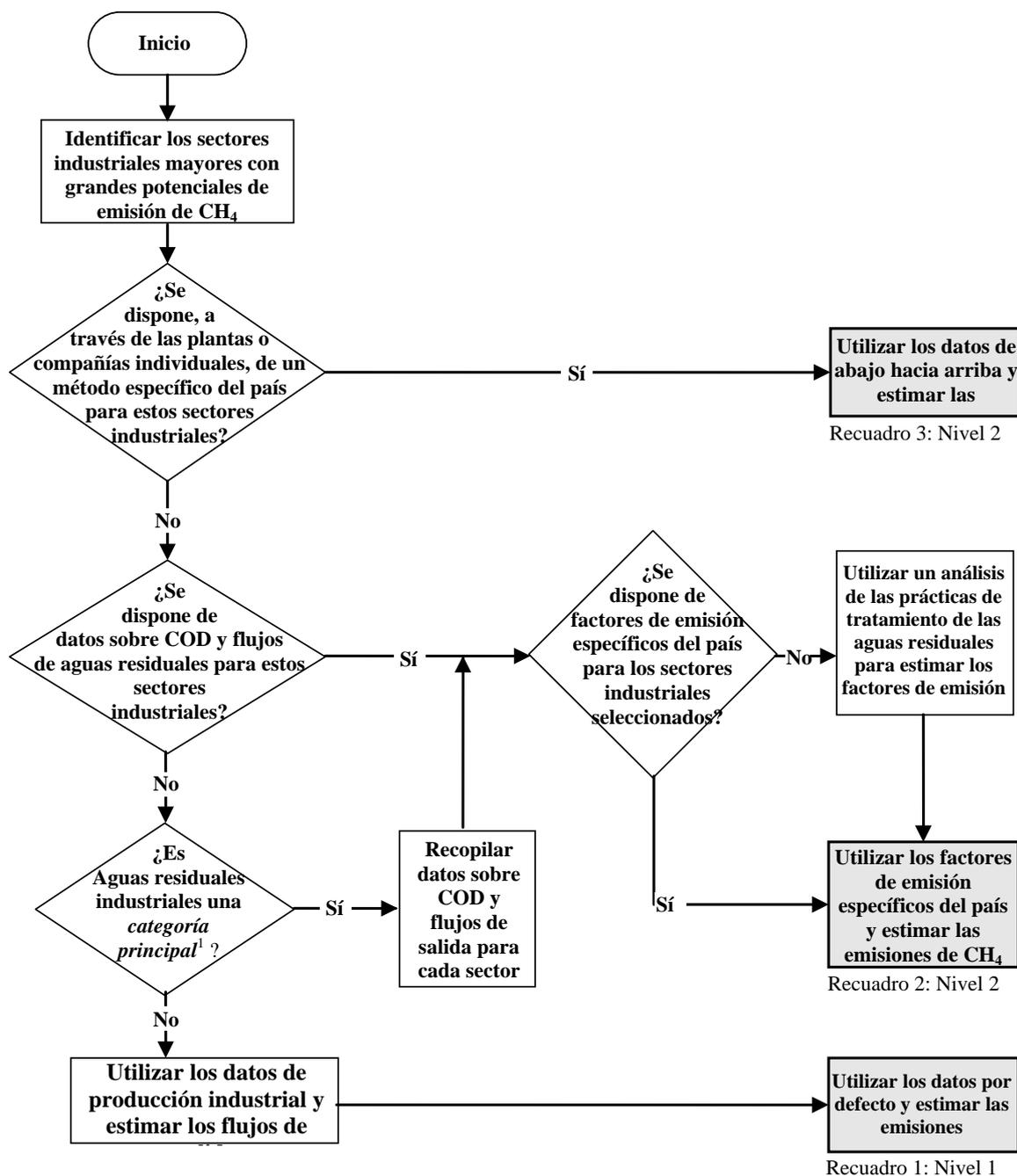
6.2.3 Aguas residuales industriales

Las aguas residuales industriales pueden tratarse *in situ* o evacuarse hacia los sistemas de cloacas o alcantarillados domésticos. Si se las evacua hacia el sistema de alcantarillado doméstico, las emisiones deben incluirse en las emisiones de aguas servidas domésticas. Esta sección trata de las estimaciones de las emisiones de CH₄ procedentes del tratamiento *in situ* de aguas residuales industriales. Sólo produce CH₄ el agua residual industrial que contiene significantes cargas de carbono y que se trata bajo condiciones anaeróbicas, sean éstas previstas o no. Las sustancias orgánicas contenidas en las agua residuales industriales suelen expresarse en términos de COD, como se hace aquí.

6.2.3.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

La Figura 6.3 presenta un árbol de decisión para las aguas residuales industriales.

Figura 6.3 **Árbol de decisión para estimar las emisiones de CH₄ procedentes de las aguas residuales industriales**



Nota:

1. Para un análisis de las *categorías principales* y el uso de los árboles de decisión, Véase el Volumen 1 Capítulo 4. Opción metodológica e identificación de categorías principales (considérese la Sección 4.1.2 sobre recursos limitados).

La estimación del potencial de producción de CH₄ derivado de los flujos de agua residual industrial se basa en la concentración de materia orgánica degradable en el agua residual, en el volumen de ésta, y en la propensión del sector industrial a tratar sus aguas residuales en sistemas anaeróbicos. Utilizando estos criterios, las fuentes más

importantes de agua residual industrial con alto potencial de producción de gas CH₄, pueden identificarse como sigue:

- manufactura de la pulpa y el papel
- procesamiento de carne y aves (mataderos)
- producción de alcohol, cerveza, almidón
- producción de sustancias químicas orgánicas
- otros procesamientos de alimentos y bebidas (productos lecheros, aceite vegetal, frutas y verduras, envasadoras, fabricación de zumos, etc.).

Tanto la industria de la pulpa y de papel como las industrias de procesamiento de carne y aves producen grandes volúmenes de agua residual que contiene elevados niveles de sustancias orgánicas degradables. Típicamente, las plantas de procesamiento de carne y aves utilizan lagunas anaeróbicas para tratar sus aguas residuales, y la industria de la pulpa y el papel también utiliza lagunas y reactores anaeróbicos. Las industrias de alimentos no derivados de animales y las industrias de bebidas producen considerables volúmenes de aguas residuales con niveles significativos de carbono orgánico, y se conocen también por utilizar procesos anaeróbicos como las lagunas y los reactores anaeróbicos. Los reactores anaeróbicos que tratan efluentes industriales con instalaciones de biogás se relacionan generalmente con la recuperación del CH₄ generado para fines energéticos. Las emisiones procedentes del proceso de combustión para obtener energía deben declararse en el Sector Energía.

El método para la estimación de las emisiones procedentes del agua residual industrial es similar al utilizado para las aguas servidas domésticas. Véase el árbol de decisión de la Figura 6.3. El desarrollo de los factores de emisión y de los datos de la actividad es más complejo pues hay muchos tipos de aguas residuales y muchas industrias diferentes que controlar. Las estimaciones de emisiones más exactas para esta categoría de fuente deben basarse en datos medidos desde fuentes por puntos. Debido al alto costo de las mediciones y al gran número eventual de fuentes por puntos, la recopilación completa de datos sobre mediciones resulta muy difícil. Se sugiere que los compiladores del inventario utilicen un enfoque «de arriba hacia abajo» que incluya los pasos generales siguientes:

- Paso 1:** usar la Ecuación 6.6 para estimar el total de carbono degradable de manera orgánica en las aguas servidas (TOW) para el sector industrial *i*
- Paso 2:** elegir la vía y los sistemas (Figura 6.1) según los datos de la actividad en el país. Usar la Ecuación 6.5 para obtener el factor de emisión. para cada sector industrial, estimar el factor de emisión utilizando la capacidad máxima de producción de metano y el promedio del factor de corrección para el metano específico de la industria.
- Paso 3:** utilizar la Ecuación 6.4 para estimar las emisiones, ajustar para la eventual separación de los lodos y/o recuperación de CH₄, y sumar los resultados.

La ecuación general para estimar las emisiones de CH₄ procedentes de las aguas residuales industriales es la siguiente:

ECUACIÓN 6.4

EMISIONES TOTALES DE CH₄ PROCEDENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

$$Emisiones\ de\ CH_4 = \sum_i [(TOW_i - S_i) EF_i - R_i]$$

Donde:

- Emisiones de CH₄ = emisiones de CH₄ durante el año del inventario, kg. de CH₄/año
- TOW = total de la materia orgánica degradable contenida en las aguas residuales de la industria *i* durante el año del inventario, kg. de COD/año
- i* = sector industrial
- S_{*i*} = componente orgánico separado como lodo durante el año del inventario, kg. de COD/año
- EF_{*A*} = factor de emisión para la industria *i*, kg. de CH₄/kg. de COD para la vía o sistema(s) de tratamiento y/o eliminación utilizado(s) en el año del inventario

Si en una industria se utiliza más de una práctica de tratamiento, este factor debe corresponder a un promedio ponderado.

R_i = cantidad de CH₄ recuperada durante el año del inventario, kg. de CH₄/año

La cantidad de CH₄ que se recupera se expresa en la Ecuación 6.4 como R. El gas recuperado debe tratarse como se describe en la Sección 6.2.1.

6.2.3.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

En los diferentes tipos de aguas residuales industriales se pueden notar significativas diferencias en el potencial de emisión de CH₄. En lo posible, deben recopilarse datos para determinar la capacidad máxima de producción de CH₄ (B₀) de cada industria. Como se ha señalado anteriormente, el MFC indica en qué medida se manifiesta el potencial máximo de producción de CH₄ (B₀) en cada tipo de método de tratamiento. Por lo tanto, es una indicación del grado al cual el sistema es de tipo anaeróbico. Véase la Ecuación 6.5.

ECUACIÓN 6.5
FACTOR DE EMISIÓN DE CH₄ PARA LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES
 $EF_j = B_o \cdot MCF_j$

Donde:

- EF_j = factor de emisión para cada vía o sistema de tratamiento y/o eliminación, kg. de CH₄/kg. de COD
- j = cada vía o sistema de tratamiento y/o eliminación
- B₀ = capacidad máxima de producción de CH₄, kg. de CH₄/kg. de COD
- MCF_j = factor de corrección para el metano (fracción) (véase el Cuadro 6.8)

Es una *buena práctica* emplear datos específicos del país y específicos del sector industrial que se puedan obtener a través de las autoridades gubernamentales, organizaciones industriales o peritos industriales. Sin embargo, la mayoría de los compiladores del inventario podrán comprobar que los datos detallados específicos del sector no están disponibles o que son incompletos. Si no se dispone de los datos específicos del país, es una *buena práctica* utilizar para B₀ el factor del COD por defecto del IPCC (0,25 kg. de CH₄/kg. de COD).

Para la determinación del factor de corrección para el metano (MCF), que es la fracción de los desechos tratados en condiciones anaeróbicas, se recomienda recurrir a un dictamen de expertos. Una técnica útil para estimar estos datos consiste en realizar un estudio de las prácticas de tratamiento de las aguas residuales industriales revisado por pares. Los sondeos deben realizarse con una frecuencia suficiente como para detectar las principales tendencias en las prácticas industriales (p. ej., cada 3 a 5 años). En el Volumen 1, Capítulo 2, Métodos para la recopilación de datos, se describe cómo solicitar dictámenes de expertos para estimar los intervalos de incertidumbre. Si no se dispone de datos publicados ni de estadísticas, para obtener la información necesaria para otros tipos de datos se pueden utilizar protocolos similares de solicitud de dictámenes. El Cuadro 6.8 contiene datos por defecto para los valores de MFC, basados en dictámenes de expertos.

CUADRO 6.8			
VALORES DE MCF POR DEFECTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES			
Tipo de vía o sistema de tratamiento y eliminación	Comentarios	MCF¹	Intervalo
No tratadas			
Eliminación en río, lago y mar	Los ríos con altas cargas de orgánicos pueden volverse anaeróbicos, pero esta situación no se considera aquí.	0,1	0 – 0,2
Tratado			
Planta de tratamiento aeróbico	Debe ser bien gestionada. Puede emitir algo de CH ₄ desde las cuencas de decantación y otros tanques.	0	0 – 0,1
Planta de tratamiento aeróbico	Mal operada. Sobrecargada	0,3	0,2 – 0,4
Digestor anaeróbico para lodos	Aquí no se considera la recuperación de CH ₄ .	0,8	0,8 – 1,0
Reactor anaeróbico (e. ej., UASB Reactor de membrana fija)	Aquí no se considera la recuperación de CH ₄ .	0,8	0,8 – 1,0
Laguna anaeróbica poco profunda	Profundidad de menos de 2 metros, recurrir al dictamen de expertos.	0,2	0 – 0,3
Laguna anaeróbica profunda	Profundidad de más de 2 metros	0,8	0,8 – 1,0

¹ Basado en dictamen de expertos realizado por los autores principales de esta sección

6.2.3.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Los datos de la actividad para esta categoría de fuente son la cantidad de materia orgánica degradable contenida en las aguas residuales (TOW). Este parámetro depende de la producción industrial P (toneladas/año), de la generación de aguas residuales W (m^3 /tonelada de producto) y de COD ($Kg. COD/m^3$), la concentración de sustancias orgánicas degradables en las aguas residuales. Véase la Ecuación 6.6. Para determinar TOW se requieren los siguientes pasos :

- (i) Identificar los sectores industriales que generan aguas residuales con altos contenidos de carbono orgánico, mediante la evaluación de la producción industrial, las sustancias orgánicas degradables en las aguas residuales, y el volumen de aguas residuales producidas.
- (ii) Identificar los sectores industriales que usan tratamiento anaeróbico. Incluir a los que puedan recibir un tratamiento anaeróbico no previsto, como resultado de la sobrecarga del sistema de tratamiento. La experiencia demuestra que, en general, tres o cuatro sectores industriales son *principales*.

Para cada sector elegido, estímesese el total del carbono degradable de manera orgánica (TOW).

ECUACIÓN 6.6
MATERIA ORGÁNICA DEGRADABLE EN LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

$$TOW_i = P_i \cdot W_i \cdot COD_i$$

Donde:

- TOW_i = total de la materia degradable de manera orgánica en las aguas residuales de la industria i ,
kg. de COD/año
- i = sector industrial
- P_i = producto industrial total del sector industrial i , t/año
- W_i = aguas residuales generadas, m^3/t_{producto}
- COD_i = requerimiento químico de oxígeno (componente industrial orgánico degradable en las
aguas residuales),
kg. de COD/ m^3

Se pueden obtener datos sobre la producción industrial y las aguas residuales resultantes a partir de las estadísticas nacionales, los organismos reguladores, las asociaciones industriales o de tratamiento de aguas residuales. En algunos casos, la cuantificación de la carga de COD en las aguas residuales puede necesitar un dictamen de expertos. En algunos países, se pueden obtener datos sobre el COD y la utilización total de agua por sector, directamente de un organismo regulador. Una alternativa es la de obtener datos sobre la producción industrial y buscar en la bibliografía las toneladas de COD generado por tonelada de producto. El Cuadro 6.9 ofrece ejemplos que se pueden utilizar como valores por defecto. Estos deben usarse con precaución, por ser parámetros específicos del país, de la industria y del proceso.

CUADRO 6.9
EJEMPLOS DE DATOS SOBRE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES

Tipo de industria	Generación de aguas residuales W (m ³ /tonelada)	Intervalo para W (m ³ /tonelada)	COD (kg./m ³)	Intervalo del COD (kg./m ³)
Refinado de alcohol	24	16 – 32	11	5 – 22
Malta y cerveza	6,3	5,0 – 9,0	2,9	2 – 7
Café	ND	ND –	9	3 – 15
Productos lácteos	7	3 – 10	2,7	1,5 – 5,2
Procesamiento del pescado	ND	8 – 18	2,5	
Carnes y aves	13	8 – 18	4,1	2 – 7
Sustancias químicas orgánicas	67	0 – 400	3	0,8 – 5
Refinerías de petróleo	0,6	0,3 – 1,2	1,0	0,4 – 1,6
Plásticos y resinas	0,6	0,3 – 1,2	3,7	0,8 – 5
Pulpa y papel (combinados)	162	85 – 240	9	1 – 15
Jabón y detergentes	ND	1,0 – 5,0	ND	0,5 – 1,2
Producción de almidón	9	4 – 18	10	1,5 – 42
Refinación del azúcar	ND	4 – 18	3,2	1 – 6
Aceites vegetales	3,1	1,0 – 5,0	ND	0,5 – 1,2
Verduras, frutas y zumos	20	7 – 35	5,0	2 – 10
Vino y vinagre	23	11 – 46	1,5	0,7 – 3,0

Notas: ND = No disponible.
Fuente: Doorn *et al.* (1997).

6.2.3.4 COHERENCIA DE LA SERIE TEMPORAL

Una vez incluido un sector industrial en los cálculos para el inventario, debe incluirse en cada año subsiguiente. Si el compilador del inventario introduce un nuevo sector industrial en los cálculos, debe re-calcular toda la serie temporal, de modo que el método sea coherente de año en año. Véase el Volumen 1, Capítulo 5, Coherencia de la serie temporal, donde se brinda orientación general para recalcular las estimaciones para toda la serie temporal.

Al igual que para las aguas servidas domésticas, la separación de los lodos y la recuperación de CH₄ debe tratarse de manera coherente a través de los años de la serie temporal. Debe incluirse la recuperación de CH₄ únicamente si se disponen de datos específicos de la planta. La cantidad de CH₄ recuperado debe restarse de la del CH₄ producido, como se muestra en la Ecuación 6.4.

6.2.3.5 INCERTIDUMBRES

En el Cuadro 6.10 se proporcionan estimaciones de incertidumbre para B₀, MCF, P, W y COD. Las estimaciones se basan en un dictamen de expertos.

CUADRO 6.10 INTERVALOS DE INCERTIDUMBRE POR DEFECTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES	
Parámetro	Intervalo de incertidumbre
Factor de emisión	
Capacidad máxima de producción de CH ₄ (B ₀)	± 30%
Factor de corrección para el metano (MCF)	El intervalo de incertidumbre debe determinarse por dictamen de expertos, teniendo presente el hecho de que se trata de una fracción y que las incertidumbres no pueden situar el valor fuera del intervalo de 0 a 1.

CUADRO 6.10 (CONTINUACIÓN) INTERVALOS DE INCERTIDUMBRE POR DEFECTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES	
Parámetro	Intervalo de incertidumbre
Datos de la actividad	
Producción industrial (P)	± 25%. Recurrir al dictamen de expertos en relación con la calidad de las fuentes de datos con el fin de atribuir un intervalo de incertidumbre más exacto.
Producción de aguas residuales / unidad de producción (W)	Estos datos pueden ser muy inciertos, pues el mismo sector puede usar diferentes procedimientos de gestión de desechos en diferentes instalaciones y en diferentes países. Es esperable que el producto de los parámetros (W•COD) sea menos incierto. Se puede asignar directamente un valor de incertidumbre a kg. de COD/tonelada de producto. Se sugiere -50 %, +100% (o sea, un factor de 2)
cantidad de COD / unidad de aguas residuales (COD)	
Fuente: Dictamen de grupo de expertos (copresidentes, editores y autores de este sector)	

6.2.3.6 GC/CC, EXHAUSTIVIDAD, GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* implementar procedimientos de garantía de calidad y controles de calidad como los descritos en el Capítulo 6, GC/CC y verificación, Volumen 1. A continuación, se señalan algunos procedimientos fundamentales de GC/CC que incluyen:

- Para las aguas residuales industriales, los compiladores del inventario pueden revisar los conjuntos de datos secundarios (p. ej., tomados de estadísticas nacionales, organismos reguladores, asociaciones de tratamiento de aguas servidas o asociaciones industriales), que se utilizan para estimar y clasificar la producción de desechos que contienen COD. Algunos países pueden ejercer control regulador sobre las descargas industriales, en cuyo caso ya pueden estar en aplicación protocolos significativos de GC/CC para desarrollar las características de las aguas residuales por industrias.
- Para las aguas residuales industriales, los compiladores del inventario deben cotejar los valores para los MFC, con los de otros inventarios nacionales con características de aguas residuales similares.
- Los compiladores del inventario deben revisar los datos específicos de las instalaciones respecto de la recuperación de CH₄, para garantizar que se hayan declarado en conformidad con los criterios sobre mediciones esbozados en el Capítulo 2, Métodos para la recopilación de datos, del Volumen 1.
- Úsese un control de saldo del balance de carbono para garantizar que el carbono contenido en la recuperación de CH₄ sea menor que el carbono contenido en el BOD que entra a la instalación que declara recuperación de CH₄.
- Si en el inventario de aguas residuales se declara la separación de lodos, hay que verificar la coherencia con las estimaciones de los lodos aplicados a suelos agrícolas, los lodos incinerados, y los lodos depositados en los sitios de eliminación de desechos sólidos.
- Para los países que usan parámetros específicos del país o métodos de nivel superior, los compiladores deben cotejar las estimaciones nacionales con las emisiones calculadas utilizando el método por defecto y los parámetros del IPCC.

EXHAUSTIVIDAD

La exhaustividad en la estimación de las emisiones procedentes de las aguas residuales industriales depende de una caracterización exacta de los sectores industriales que producen aguas residuales orgánicas. En la mayoría de los países, alrededor de 3 ó 4 sectores industriales dan cuenta de la mayor parte del volumen de aguas residuales orgánicas, de modo que los compiladores del inventario deben garantizar que esos sectores sean cubiertos. Los compiladores del inventario deben realizar revisiones periódicas de las fuentes industriales, en particular si algunas industrias crecen rápidamente.

Esta categoría debe cubrir sólo las aguas residuales que se tratan *in situ*. Las emisiones procedentes de las aguas residuales industriales evacuadas hacia los sistemas de alcantarillados de aguas servidas domésticas deben abordarse e incluirse con las aguas residuales domésticas.

Algunos lodos derivados del tratamiento de las aguas residuales industriales pueden incinerarse o depositarse en vertederos o en tierras agrícolas. Esto constituye una cantidad de desechos orgánicos que debe restarse del TOW disponible. Es una *buena práctica* ser coherente a través de los sectores: la cantidad de lodo que se separa del TOW deberá ser igual a la cantidad de lodo depositado en los vertederos, aplicado en los suelos agrícolas, incinerado o tratado de otro modo.

GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y declarar una reseña de los métodos utilizados, los datos de actividad y los factores de emisión. Al final de este volumen se incluyen hojas de cálculo para estos efectos. Cuando se utilicen métodos y/o factores de emisión específicos del país, las razones de las opciones, así como las referencias a los métodos utilizados para obtener los datos específicos del país (mediciones, bibliografía, dictamen de expertos, etc.) deben documentarse e incluirse en el informe.

Si se incineran los lodos, se eliminan en vertederos o se esparcen en tierras agrícolas, las cantidades de lodos y las emisiones asociadas deben declararse en las categorías de incineración de desechos, SEDS o agrícolas, respectivamente.

Si se dispone de datos sobre la recuperación de CH₄ procedente del tratamiento de las aguas residuales industriales, éstos deben documentarse por separado para la quema en antorcha y la recuperación con fines energéticos. El tratamiento del CH₄ recuperado y la manera de declarar las emisiones provenientes de la quema en antorcha deben ser iguales a los de la orientación brindada para las aguas residuales domésticas en la Sección 6.2.2.6.

Se puede encontrar más información sobre generación de informes y documentación, en el Volumen 1, Capítulo 6, Sección 6.11, Documentación, archivo y generación de informes.

6.3 EMISIONES DE ÓXIDO NITROSO PROVENIENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES

6.3.1 Cuestiones metodológicas

6.3.1.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO

Las emisiones de óxido nitroso (N₂O) pueden producirse como emisiones directas provenientes de las plantas de tratamiento o como emisiones indirectas provenientes de las aguas residuales después de la eliminación de los efluentes en vías fluviales, lagos o en el mar. Las emisiones directas derivadas de la nitrificación y desnitrificación en instalaciones de tratamiento de aguas servidas pueden considerarse fuentes menores; se brinda orientación para estimar estas emisiones en el Recuadro 6.1. Típicamente, estas emisiones son mucho menores que las de los efluentes y sólo pueden interesar a países donde predominan las plantas centralizadas avanzadas de tratamiento de aguas servidas con etapas de nitrificación y desnitrificación.

No se entregan métodos de niveles más elevados, por lo que es *buena práctica* estimar el N₂O de efluentes de aguas servidas domésticas utilizando el método presentado aquí. No se incluyen árboles de decisión. Las emisiones directas tan sólo deben estimarse en países donde predominan las plantas centralizadas avanzadas de tratamiento de aguas servidas con etapas de nitrificación y desnitrificación.

Por lo tanto, esta sección trata de las emisiones indirectas de N₂O derivadas de efluentes de tratamiento de aguas servidas que se eliminan en medios acuáticos. La metodología para las emisiones derivadas por efluentes es similar a la de las emisiones indirectas de N₂O explicada en el Volumen 4, Sección 11.2.2, Capítulo 11, Emisiones de N₂O de suelos gestionados, y emisiones de CO₂ resultantes de aplicación de cal y de urea. La ecuación general simplificada es la siguiente:

<p>ECUACIÓN 6.7</p> <p>EMISIONES DE N₂O PROVENIENTES DE LAS AGUAS RESIDUALES EFLUENTES</p> $Emisiones\ de\ N_2O = N_{EFLUENTE} \bullet EF_{EFLUENTE} \bullet 44 / 28$
--

Donde:

Emisiones de N₂O = emisiones de N₂O durante el año del inventario, kg. de N₂O/año

N_{EFLUENTE} = nitrógeno en el efluente eliminado en medios acuáticos, kg. de N/ año

EF_{EFLUENTE} = factor de emisión para las emisiones de N_2O provenientes de la eliminación en aguas servidas, kg. de N_2O /kg. de N

El factor 44/28 corresponde a la conversión de kg. de N_2O -N en kg. de N_2O .

6.3.1.2 ELECCIÓN DE LOS FACTORES DE EMISIÓN

El factor de emisión por defecto del IPCC para las emisiones de N_2O derivadas de aguas servidas domésticas con efluentes con nitrógeno es de 0,005 (0,0005 – 0,25) Kg. N_2O -N/Kg. N. Este factor de emisión se basa en escasos datos de terreno y sobre hipótesis específicas en lo tocante a la nitrificación y desnitrificación en ríos y estuarios. La primera hipótesis es que todo el nitrógeno se elimina con el efluente. La segunda hipótesis es que la producción de N_2O en ríos y estuarios está directamente relacionada con la nitrificación y desnitrificación, y, por lo tanto, con el nitrógeno que se descarga en el río. (véase el Volumen 4, Cuadro 11.3 de la Sección 11.2.2 del Capítulo 11, Emisiones de N_2O de suelos gestionados, y emisiones de CO_2 resultantes de la aplicación de cal y de urea.)

6.3.1.3 ELECCIÓN DE LOS DATOS DE LA ACTIVIDAD

Los datos de la actividad requeridos para la estimación de emisiones de N_2O son el contenido de nitrógeno en el efluente de aguas servidas, la población del país, y el promedio anual de generación de proteína *per cápita* (Kg./persona/año). La generación de proteína *per cápita* consiste en la ingesta (consumo), que se puede obtener de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2004), multiplicada por factores que den cuenta de la proteína adicional “no-consumida” y de la proteína industrial descargada en el sistema de alcantarillado. Los restos de alimentos que no se consumen y se pueden eliminar por el drenaje (p. ej., como resultado del uso de trituradores de desechos en algunos países desarrollados), así como las aguas de baño y lavado de ropa, pueden contribuir a las cargas de nitrógeno. Para los países desarrollados que utilizan trituradores de desechos, el valor por defecto para la proteína no-consumida descargada en flujos de aguas servidas es de 1,4, mientras que para los países en desarrollo esta fracción es de 1,1. Las aguas residuales de fuentes industriales o comerciales que se descargan en los alcantarillados pueden contener proteína (p. ej., de las tiendas de abarrotes y carnicerías). El valor por defecto para esta fracción es 1,25. El nitrógeno total en los efluentes se estima como sigue:

<p>ECUACIÓN 6.8 NITRÓGENO TOTAL EN LOS EFLUENTES</p> $N_{\text{EFLUENTE}} = (P \cdot \text{Proteína} \cdot F_{\text{NPR}} \cdot F_{\text{NON-CON}} \cdot F_{\text{IND-COM}}) - N_{\text{LODO}}$
--

Donde:

N_{EFLUENTE} = cantidad total anual de nitrógeno en los efluentes de aguas residuales, kg. de N/año

P = población humana

Proteína = consumo per cápita anual de proteínas, kg./persona/año

F_{NPR} = fracción de nitrógeno en las proteínas, por defecto = 0,16, kg. de N/kg. de proteína

$F_{\text{NON-CON}}$ = factor de las proteínas no consumidas añadidas a las aguas residuales

$F_{\text{IND-COM}}$ = factor para las proteínas industriales y comerciales co-eliminadas en los sistemas de alcantarillado

N_{LODO} = nitrógeno separado con el lodo residual (por defecto = 0), kg. de N/año

RECUADRO 6.1

EMISIONES DE SUB-CATEGORÍAS PROVENIENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO CENTRALIZADO AVANZADO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Típicamente, las emisiones provenientes de las plantas centralizadas avanzadas de tratamiento de aguas residuales son mucho menores que las de los efluentes y es probable que sólo sean de interés para los países donde predominan las plantas centralizadas avanzadas de tratamiento de aguas servidas con etapas controladas de nitrificación y desnitrificación. El factor de emisión global para la estimación de las emisiones de N₂O de tales plantas es de 0,32 G. N₂O/persona/año. Este factor de emisión fue determinado durante pruebas de campo en una planta de tratamiento de aguas servidas domésticas en el norte de Estados Unidos (Czepiel *et al.*, 1995). Los valores de emisión se obtuvieron en una planta que recibía únicamente aguas servidas domésticas. Esta agua ya contenía proteína de no-consumo, pero no contenía agua co-descargada industrial ni comercial. No se dispone de otros factores de emisión específicos del país. Las emisiones de N₂O derivadas de los procesos de tratamiento centralizado de aguas servidas se calculan como sigue:

ECUACIÓN 6.9
EMISIONES DE N₂O PROVENIENTES DE PLANTAS DE TRATAMIENTO CENTRALIZADO DE LAS AGUAS RESIDUALES

$$N_2O_{PLANTAS} = P \cdot T_{PLANTA} \cdot F_{IND-COM} \cdot EF_{PLANTA}$$

Donde:

N₂O_{PLANTAS} = total de las emisiones de N₂O procedentes de las plantas durante el año del inventario, Gg de N₂O

P = población humana

T_{PLANTA} = grado de utilización de las plantas WWT centralizadas modernas, %

F_{IND-COM} = fracción de las proteínas industriales y comerciales co-eliminadas (por defecto = 1,25, basado en datos de Metcalf & Eddy (2003) y en dictamen de expertos)

EF_{PLANTA} = factor de emisión, 3,2 g de N₂O/persona/año

Nota: Cuando un país decide declarar las emisiones de N₂O procedentes de las plantas de tratamiento, la cantidad de nitrógeno asociado con esas emisiones (N_{WWT}) debe retro-calcularse y restarse del N_{EFLUENTE}. El N_{WWT} puede calcularse multiplicando N₂O_{PLANTAS} por 28/44, utilizando los pesos moleculares.

6.3.2 Coherencia de la serie temporal

Si un país decide incorporar emisiones de instalaciones en la estimación, este cambio se debe hacer en toda la serie temporal. Las separaciones potenciales de lodo deben tratarse de manera coherente a través de los años de la serie.

6.3.3 Incertidumbres

Las grandes incertidumbres están asociadas con los factores por defecto del IPCC para las emisiones de N₂O procedentes del efluente. Actualmente no existen suficientes datos de terreno para mejorar estos factores. Por igual, el factor de emisión de N₂O para las plantas es incierto, porque se basa en una sola prueba de campo. En el Cuadro 6.11, a continuación, se incluyen intervalos de incertidumbre basados en el dictamen de expertos.

CUADRO 6.11
DATOS POR DEFECTO PARA LA METODOLOGÍA DEL N₂O

	Definición	Valor por defecto	Intervalo
Factor de emisión			
EF _{EFLUENTE}	Factor de emisión, (kg. de N ₂ O-N/kg. de N)	0,005	0,0005 – 0,25
EF _{PLANTA}	Factor de emisión, (g de N ₂ O/persona/año)	3,2	2 – 8
Datos de la actividad			
P	Cantidad de personas en el país	Específico del país	± 10 %
Proteína	Consumo anual de proteína per cápita	Específico del país	± 10 %
F _{NPR}	Fracción de nitrógeno contenido en la proteína (kg. de N/kg. de proteína)	0,16	0,15 – 0,17
T _{planta}	Grado de utilización de las grandes plantas WWT	Específico del país	± 20 %
F _{NON-CON}	Factor de ajuste para la proteína no consumida	1,1 para los países sin eliminación de basuras 1,4 para los países con eliminación de basura	1,0 – 1,5
F _{IND-COM}	Factor introducido para tomar en cuenta las co-descargas de nitrógeno industrial en los alcantarillados. Para los países con una cantidad significativa de plantas de procesamiento de pescado, este factor puede ser más elevado. Se recomienda recurrir al dictamen de expertos.	1,25	1,0 – 1,5

6.3.4 GC/CC, Exhaustividad, generación de informes y documentación

Este método utiliza varios parámetros por defecto. Se aconseja solicitar la opinión de expertos para evaluar si los factores por defecto propuestos son apropiados.

EXHAUSTIVIDAD

Salvo cuando se dispone de datos sobre la separación de los lodos, la metodología para la estimación de las emisiones del efluente se basa en la población y en la hipótesis de que todo el nitrógeno asociado con el consumo y el uso doméstico, así como el nitrógeno co-descargado procedente de las aguas residuales industriales, entra en algún momento en una vía fluvial. En estos términos, se puede considerar esta estimación conservadora y que cubre todas las fuentes asociadas con el uso de aguas servidas domésticas.

La metodología no incluye las emisiones de N₂O procedentes de fuentes industriales, excepto las aguas residuales industriales co-descargadas junto con las aguas servidas domésticas en el sistema de alcantarillados. Las emisiones de N₂O procedentes de fuentes industriales se consideran no significativas en comparación con las emisiones procedentes de las aguas servidas domésticas.

Muy pocos países recopilan datos sobre la gestión de los lodos de las aguas residuales. Cuando estos datos existan, se sugiere ponerlos a disposición de los grupos de trabajo del inventario que corresponda.

El factor de emisión utilizado para las emisiones de N₂O provenientes del efluente es igual al factor de emisión empleado para las emisiones indirectas de N₂O en el Sector AFOLU.

GENERACIÓN DE INFORMES Y DOCUMENTACIÓN

Es una *buena práctica* documentar y declarar una reseña de los métodos utilizados, los datos de la actividad y los factores de emisión. Al final de este volumen se incluyen hojas de cálculo para estos efectos. Cuando se utilicen métodos y/o factores de emisión específicos del país, las razones de las opciones, así como las referencias a los métodos utilizados para obtener los datos específicos del país (mediciones, bibliografía, dictamen de expertos, etc.), deben documentarse e incluirse en el informe.

Si los lodos se incineran, se eliminan en vertederos o se esparcen en tierras agrícolas, deben declararse las cantidades de lodos y las emisiones asociadas en las categorías de incineración de desechos, SEDS o agrícolas, respectivamente.

Se puede encontrar más información sobre la generación de informes y documentación, en el Volumen 1, Capítulo 6, Sección 6.11, Documentación, archivo y generación de informes.

Referencias

- American Public Health Association and American Water Works Association (1998). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th edition, Water Environment Federation, ISBN 0-87553-235-7.
- Czepiel, P., Crill, P. and Harriss, R. (1995). 'Nitrous oxide emissions from domestic wastewater treatment' *Environmental Science and Technology*, vol. 29, no. 9, pp. 2352-2356.
- Destatis (2001). "Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 2001, Tabelle 1 "Übersichtstabelle Anschlussgrade" (Statistical Office Germany (<http://www.destatis.de/>))
- Doorn, M.R.J., Strait, R., Barnard, W. and Eklund, B. (1997). *Estimate of Global Greenhouse Gas Emissions from Industrial and Domestic Wastewater Treatment*, Final Report, EPA-600/R-97-091, Prepared for United States Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, USA.
- Doorn, M.R.J. and Liles, D. (1999). Global Methane, Quantification of Methane Emissions and Discussion of Nitrous Oxide, and Ammonia Emissions from Septic Tanks, Latrines, and Stagnant Open Sewers in the World. EPA-600/R-99-089, Prepared for U.S. EPA, Research Triangle Park, NC, USA.
- FAO (2004). *FAOSTAT Statistical Database*, United Nations Food and Agriculture Organization. Available on the Internet at <<http://faostat.fao.org/>>
- Feachem, R.G., Bradley, D.J., Gareleck H. and Mara D.D. (1983). *Sanitation and Disease – Health Aspects of Excreta and Wastewater Management*, World Bank, John Wiley & Sons, USA.
- IPCC (1997). Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Lim, B., Tréanton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D.J. and Callander, B.A. (Eds). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), IPCC/OECD/IEA, Paris, France.
- Masotti, L. (1996). "Depurazione delle acque. Tecniche ed impianti per il trattamento delle acque di rifiuto". Eds Calderini. pp. 29-30
- Metcalf & Eddy, Inc. (2003) *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*. McGraw-Hill: New York, ISBN 0-07-041878-0.
- United Nations (2002). World Urbanization Prospects, The 2001 Revision Data Tables and Highlights. Population Division, Department of Economic and Social Affairs, United Nations Secretariat. ESA/P/WP.173. March 2002.