



Protocolo para la cuantificación de emisiones de gases de efecto invernadero en actividades de gestión de residuos



La colaboración de:



Fundación Biodiversidad



Asociación de Empresas Gestoras de residuos y Recursos Especiales



Entreprises pour l'Environnement

Versión 4.0 - Junio de 2010

Tabla de contenidos

Tabla de contenidos

Agradecimientos y contacto	p. 4
Prólogo	p. 5
El sector de la gestión de residuos	p. 6
Característica del sector	p. 6
Actividades de tratamiento	p. 7
Objetivos y principios	p. 10
Objetivos del Protocolo	p. 10
Principios para el cálculo de emisiones de GEI	p. 10
Capítulo 1: Alcance	p. 11
Características de los datos	p. 11
Emisiones evitadas/directas/indirectas	p. 11
¿Qué actividades incluir en el cálculo?	p. 14
Capítulo 2: Inventario Anual	p. 15
Definiciones	p. 15
Exclusiones	p. 18
Identificar el listado de tipo de fuentes	p. 18
Cálculo de las emisiones anuales	p. 18
Ajustes en el listado de tipo de fuentes y emisiones anuales notificadas	p. 18
Ajustes debidos a la pérdida del control operativo	p. 18
Ajustes debidos a la adquisición del control operativo	p. 19
Ajustes de las emisiones históricas	p. 19
Capítulo 3: Cálculo de Emisiones	p. 20
Enfoque/Jerarquía	p. 20
Metodología	p. 20
Potenciales de Calentamiento Global	p. 20
Herramienta de cálculo	p. 20
Caso concreto de modelización de emisiones de vertedero	p. 21
Capítulo 4: Cómo Presentar el Informe	p. 23
Datos a notificar	p. 23
Informe de los datos de la actividad	p. 23
Capítulo 5: Como Gestionar la Incertidumbre	p. 24
Incertidumbre en inventarios de emisiones de GEI	p. 24
Fuentes de incertidumbre	p. 24
Recomendaciones para reducir la incertidumbre residual	p. 24
Controles internos	p. 25
Valores estándar de incertidumbre	p. 25
Capítulo 6: Verificación	p. 26
Alcance de la verificación	p. 26
Discrepancia significativa en las emisiones anuales	p. 26
Anexo 1: Potenciales de Calentamiento Global	p. 27
Anexo 2: Análisis comparativo de los Modelos de Gases de Efecto Invernadero para Vertederos	p. 28
Contexto - visión general de las fuentes de emisión	p. 28
Modelos existentes	p. 29
Comparación de los principales modelos	p. 31
Conclusiones	p. 33
Referencias	p. 34
Anexo 3: Secuestro de Carbono en Vertederos y Suelos después de Esparcir Compost	p. 35
1. Antecedentes sobre el secuestro de carbono	p. 35
2. Estimación de carbono secuestrado	p. 36
3. Opinión de EpE relativa a la incorporación del secuestro de carbono en el Protocolo	p. 40
Anexo 4: Compostaje - Factores de Emisión de N₂O y CH₄	p. 42
Anexo 5: Bibliografía	p. 44

Agradecimientos y contacto

Este protocolo fue desarrollado por el grupo de trabajo de Entreprises pour l'Environnement, compuesto por las empresas SECHE ENVIRONNEMENT, SUEZ ENVIRONNEMENT y VEOLIA ENVIRONMENTAL SERVICES

La redacción inicial la realizó Ernst & Young a partir de la segunda versión de la guía REGES-sobre cuantificación e información sobre emisiones de GEI - publicada por Entreprises pour l'Environnement <http://www.epe-asso.org>.

Esta versión del Protocolo tiene en cuenta los comentarios realizados por varias asociaciones de residuos, agencias y otros agentes involucrados.



Entreprises pour
l'Environnement

50 rue de la Chaussée d'Antin
Paris 75009

Tel : +(33) 1 49 70 98 50

Fax : +(33) 1 49 70 02 50

E-mail : contact@epe-asso.org

<http://www.epe-asso.org>

ASEGRE - Asociación de Empresas Gestoras de Residuos y Recursos Especiales- ha sido autorizada por EpE - Entreprises pour l'Environnement para editar y difundir en español "Protocol for the quantification of greenhouse gases emissions from waste management activities".

ASEGRE ha elaborado la edición en español con la colaboración de la Fundación Biodiversidad. Puesto que la edición española es una traducción del original en inglés, en caso de conflicto el texto válido es el original.



Asociación de Empresas Gestoras
de residuos y Recursos Especiales

ASEGRE - Asociación de Empresas Gestoras de Residuos y Recursos Especiales

Calle Orense, 8, 1º

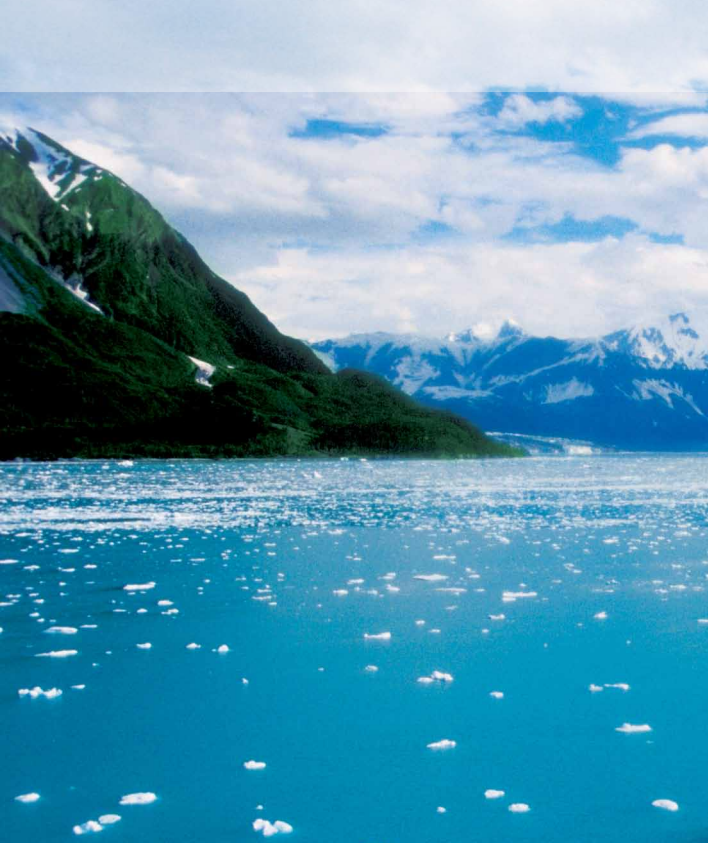
E 28020 Madrid

Tel.: +(34) 91 556 35 60

Fax: +(34) 91 556 16 41

E-mail : secretaria@asegre.com

<http://www.asegre.com>



Prólogo

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) son una de las principales preocupaciones medioambientales. Desde la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC) y el Protocolo de Kioto de 1997, tanto las autoridades como las empresas han desarrollado diversas políticas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, en adelante GEI.

Por ello, bajo la iniciativa del Consejo Empresarial Mundial de Desarrollo Sostenible (WBCSD) y el Instituto de Recursos Mundiales (WRI), se publicó el Greenhouse Gas Protocol, que ofrece orientación a las empresas para contabilizar sus emisiones de GEI, y se creó un sistema de comercio de derechos de emisión en América del Norte: la Bolsa del Clima de Chicago.

En Europa, la Directiva IPPC llevó a la creación del PRTR y a las industrias europeas a declarar anualmente sus emisiones a las autoridades. Paralelamente, el 1 de enero de 2005 se creó un mercado de derechos de emisión de GEI, aplicable a determinados sectores industriales.

La asociación francesa Entreprises pour l'Environnement (EpE) elaboró un protocolo de cuantificación, información y verificación de emisiones para la industria, que recoge protocolos específicos para 14 sectores. En consecuencia, 32 de las principales empresas francesas se comprometieron a reducir y controlar sus emisiones de GEI, para los periodos 2003-2004 y 2005-2007, utilizando el protocolo establecido por EpE.

En el año 2005, las emisiones mundiales de GEI correspondientes a las actividades de gestión de residuos se estimaron en 1,3 Gt de CO₂ equivalente que representan aproximadamente el 3-5% de las emisiones antropogénicas totales (IPCC 2007).

Durante varios años la mayoría de las empresas del sector de residuos han implementado sistemas de información sobre emisiones, entre ellos algunos GEI. Se han publicado varias herramientas de cálculo de emisiones específicas para diversos tipos de tratamientos de residuos. **El objetivo de este protocolo es armonizar los métodos de cálculo y disponer de un protocolo global de información de GEI que se pueda aplicar a todas las actividades de gestión de residuos. La herramienta de cálculo de este Protocolo está destinada únicamente a la información anual de gases de efecto invernadero.** No está pensada para comparar diferentes escenarios.

Este Protocolo es una herramienta de CUANTIFICACIÓN, INFORMACIÓN y VERIFICACIÓN de emisiones que tiene por objeto facilitar a las empresas de gestión de residuos la realización de un inventario de GEI, y como consecuencia de ello el establecimiento de compromisos sobre las emisiones de GEI.

Tres de los miembros de la asociación Entreprises pour l'Environnement –EpE–, Veolia Environmental Services, Séché Environnement y Suez Environnement, crearon un grupo de trabajo para aportar su experiencia en relación con las emisiones de GEI debidas la gestión de residuos.

Este documento, que se facilita junto con la hoja Excel para el cálculo de emisiones, constituye el protocolo específico para el sector de gestión de residuos del Protocolo EpE general.

Este protocolo ha sido editado en español por ASEGRE – Asociación de Empresas Gestoras de Residuos y Recursos Especial – con la colaboración de la Fundación Biodiversidad. Además EpE Protocol cuenta con el apoyo de la Federación Europea de Gestores de Residuos y Servicios Ambientales – FEAD – y las federaciones nacionales de empresas de gestión de residuos de Alemania (BDE), Francia (FNADE), Holanda (DWA) y Reino Unido (ESA).

1. <http://www.GHGprotocol.org>
2. Directiva relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación.
3. Registro europeo de emisiones y transferencias de contaminantes

Presentación del sector

El sector de la gestión de residuos

» Características del sector

El objetivo prioritario del sector de residuos es recoger, tratar y recuperar, de la manera más eficiente, los residuos y así limitar su impacto sobre el medio ambiente. Cada vez se da más importancia a la recuperación de energía y de materiales con el fin de considerar los residuos como un recurso en sí mismo. La principal peculiaridad de las empresas de este sector se encuentra en su posición paradójica: como actores “al final de la vida” de los productos generan impactos ambientales **de los que no son responsables**, puesto que ellos no generan los residuos. Además, no tienen siempre el control operacional de las instalaciones, puesto que generalmente se limitan a operar una instalación de la que no son propietarios.

En este contexto, una de las principales cuestiones es determinar el alcance (scope) de la responsabilidad de los impactos causados. Tanto en la fase de recogida y transporte como en la de tratamiento, las actividades de gestión de residuos generan emisiones a la atmósfera, y entre ellas de GEI. Las empresas de gestión de residuos deben trabajar junto con los productores de residuos para influir en la cantidad y calidad de los residuos que reciben. En este sentido, las actividades de pretratamiento permiten reducir las emisiones de GEI de los posteriores procesos de tratamiento y recuperación.

El sector de residuos se encuentra bajo la tutela de las Administraciones Públicas a fin de controlar su impacto ambiental y asegurar la trazabilidad de los residuos. Los operadores deben informar, con la máxima precisión, sobre las emisiones, vertidos y los residuos generados por las instalaciones de tratamiento.

Sin embargo, el control de las emisiones de gases de efecto invernadero presenta una incertidumbre importante, debido a varios factores:

- En el primer lugar, un número importante de actividades de tratamiento de residuos incorporan procesos complejos (principalmente biológicos) para los que es difícil cuantificar las emisiones de GEI con la misma precisión que en otras actividades industriales.
- En segundo lugar, las actividades de gestión de residuos son interdependientes puesto que el tratamiento de los residuos se puede realizar a varias fases en distintas instalaciones.
- Por último, la composición de los residuos tratados suele ser muy heterogénea, por lo que se recomienda determinar estadísticamente la composición de los residuos, aunque esto pueda producir un cierto sesgo en el cálculo de las emisiones de GEI.

Cabe destacar los siguientes conceptos:

- **Emisiones debidas a la biomasa:** los productos que contienen materia orgánica de origen animal o vegetal (residuos biodegradables, madera, residuos agrícolas y de la industria alimentaria) emiten gases de efecto invernadero debido a su descomposición o combustión. Los acuerdos internacionales¹ coinciden en que el dióxido de carbono procedente de la biomasa no se debería contabilizar, puesto que anteriormente fue capturado por los organismos vivos, y por tanto pertenece a un ciclo neutro de carbono.
- **Emisiones evitadas:** uno de los principales objetivos de las actividades de gestión de residuos es recuperar, en la medida posible, artículos (reutilización), materias (reciclaje y compostaje), y energía (recuperación de los gases de vertedero, incineración con recuperación de energía o valorización energética). Los materiales y la energía recuperada sustituyen a las materias primas y a la energía cuya producción habría emitido GEI. Por ejemplo, una tonelada de hierro reciclada evita la producción de una tonelada de hierro primario y las emisiones de GEI asociadas. En el párrafo 1.15 se presenta una definición de emisiones evitadas.

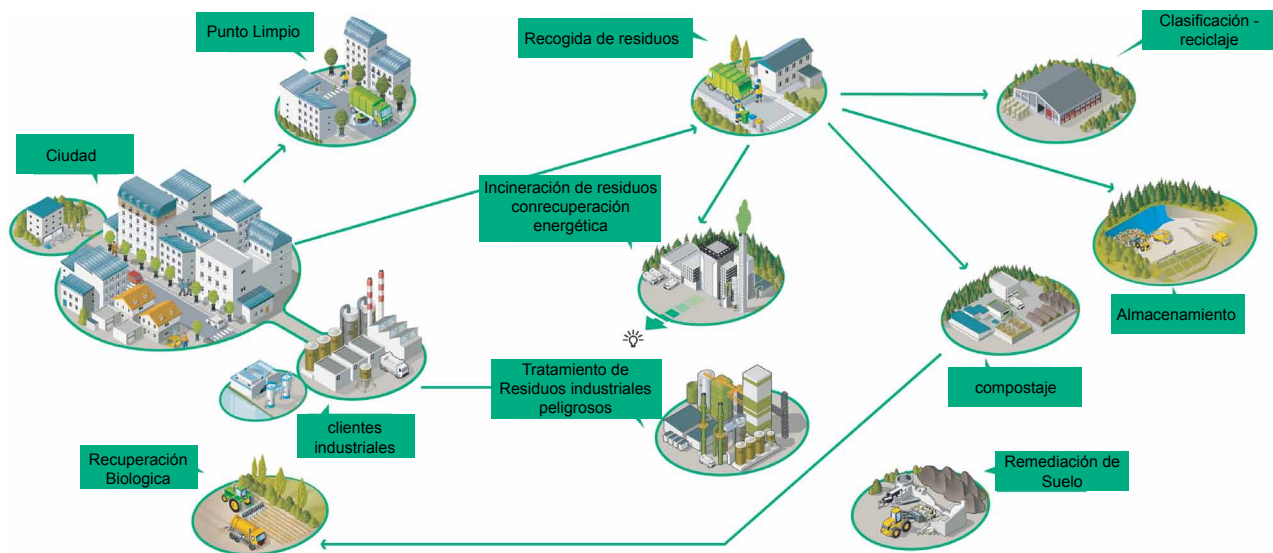
1. Véase por ejemplo: Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero de 2006

Volumen 1 - “Introducción”: “El dióxido de carbono resultante de la combustión o descomposición del material biogénico de vida corta que se elimina en donde se cultivó se considera cero en los sectores de la Energía, Residuos e IPPU, procesos industriales y uso de productos (por ejemplo, las emisiones de CO₂ de los biocombustibles y las emisiones de CO₂ del material biogénico en los vertederos de residuos urbanos).”

Volumen 5 - “Residuos”: “Los vertederos de residuos urbanos, el tratamiento de aguas residuales y la incineración de residuos no fósiles también producen CO₂, pero éste es de origen biogénico y, por lo tanto, no se incluye como un elemento a declarar en este sector.”



» Actividades de tratamiento



Este gráfico representa el ciclo de los residuos, con los flujos de gestión más comunes.

Cabe destacar que en este documento sólo se contemplan las emisiones relativas a las actividades de gestión de residuos. Para el cálculo de otro tipo de emisiones, que de forma indirecta pueden asociarse a estas actividades, se utilizarán otras herramientas (por ejemplo, para las emisiones relativas al transporte de personas se debe aplicar el Protocolo EpE de Transporte).

Recogida y transporte

Fuente de emisiones de GEI

No se atribuye ninguna fuente a los propios residuos. Los GEI emitidos proceden del combustible utilizado para el transporte. En este sentido, el cambio de combustible podría reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Transferencia

Principio

Los residuos que se recogen de las comunidades de vecinos, personas o empresas se pueden reunir en un centro de transferencia, para transportarlos posteriormente a una planta de tratamiento o de recuperación de materiales.

Fuente de emisiones de GEI

No se atribuye ninguna fuente a los propios residuos. Las emisiones de gases de efecto invernadero se asocian al consumo de electricidad y combustible del propio centro de transferencia.

Pretratamiento mecánico

Principio

Los residuos se pueden someter a varios métodos de pretratamiento para facilitar su recuperación o reciclaje. Por ejemplo, los residuos de equipos eléctricos y electrónicos se pueden desmontar.

Fuente de emisiones de GEI

Este paso no genera emisiones directas, salvo el posible consumo de combustible del equipo. Sin embargo, permite la optimización de las actividades de tratamiento posterior y reduce así su impacto ambiental.

Clasificación y acondicionamiento para valorización material y energética

Principio

Los residuos se clasifican para separar los distintos materiales. Los materiales recuperados (papel, vidrio, metal, etc.) se introducen en el ciclo productivo mediante sustitución total o parcial. Además, los residuos se pueden acondicionar para ser valorizados energéticamente y sustituir a los combustibles fósiles en instalaciones industriales de combustión autorizadas para este fin.

Fuente de emisiones de GEI

No se atribuye ninguna fuente a los propios residuos. Los gases de efecto invernadero emitidos provienen del consumo de energía asociado a la operación de clasificación y acondicionamiento en la instalación de recuperación.

Con el reciclaje y la valorización se evitan emisiones de GEI, ya que los combustibles y los materiales recuperados sustituyen a otros que habrían emitido GEI durante su producción.

Tratamiento físico-químico

Principio

Tratamiento físico-químico o mecánico de residuos peligrosos en instalaciones específicas. En estas instalaciones también se pueden formular combustibles, y recuperar materias para su reciclaje.

Fuente de emisiones de GEI

No se atribuye ninguna fuente a los propios residuos. Los GEI emitidos provienen del consumo de electricidad o combustible in situ. La recuperación de los materiales y de la energía contenidos en los residuos y el uso de los residuos peligrosos como combustibles alternativos, en instalaciones industriales autorizadas para valorización energética, evita emisiones de GEI, ya que sustituyen a materias primas y a combustibles que habrían generado emisiones de GEI en su producción.

Tratamiento biológico (compostaje, digestión anaerobia)

Principio

Este tipo de tratamiento permite la recuperación de los residuos orgánicos mediante fermentación anaerobia o aerobia para obtener una enmienda orgánica que se puede utilizar en agricultura. Este proceso se puede aplicar a los residuos de la industria agroalimentaria, los residuos biológicos y los lodos de depuradora.

Fuente de emisiones de GEI

El compostaje permite la estabilización de los residuos mediante la fermentación aerobia. Aunque en las instalaciones de compostaje se voltean los residuos regularmente, su descomposición sólo debería generar dióxido de carbono (que no se tiene en cuenta en el balance final, ya que proviene de biomasa), en realidad, los programas de investigación muestran que se pueden generar emisiones de metano (CH₄) y de óxido nitroso (N₂O), que sí se deberían contabilizar. El compost producido es una enmienda orgánica que mejora la fertilidad y características del suelo. Se puede utilizar en la recuperación y mejora de suelos y como sustituto de los fertilizantes químicos y la turba. El compost también ayuda a fijar el carbono en los suelos según se indica en el anexo 3.

En el caso de la **digestión anaerobia**, la fermentación controlada de los residuos en ausencia de oxígeno en un digestor produce biogás, compuesto principalmente por metano. Este biogás se captura y se puede quemar en una antorcha o destinar a la producción de energía eléctrica o térmica. De nuevo, el dióxido de carbono de la combustión no se tiene en cuenta en el balance final, ya que proviene de la biomasa. En este caso también se pueden producir emisiones (escapes en el digestor) de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O).

Existen programas de investigación para evaluar dichas emisiones. Los datos disponibles (documentos BREF sobre tratamiento de residuos¹) indican que dichas emisiones serían insignificantes.

1. Documento de referencia sobre las Mejores Técnicas Disponibles para la industria de tratamiento de residuos (BREF), 08/2005.



En el anexo 4 se recoge un resumen de los valores encontrados en la bibliografía para los factores de emisión de N₂O y CH₄ en las actividades de compostaje.

Depósito en vertederos

Principio

El depósito en vertederos se refiere a los centros adaptados a lo establecido por el derecho comunitario. En los vertederos, los residuos se depositan en un vaso aislado del exterior, para facilitar la descomposición anaeróbica de los residuos. Las mejores técnicas disponibles aconsejan que las emisiones producidas por la descomposición de los residuos (gas y lixiviados) se recuperen, mediante sistemas de recogida, y se traten. La cantidad y calidad de dichas emisiones varían con el tiempo y dependen de la composición de los residuos almacenados.

Fuente de emisiones de GEI

La fermentación anaeróbica de los residuos orgánicos produce un gas, compuesto de metano y dióxido de carbono prácticamente en la misma proporción. Parte de este gas se puede capturar y destruir, mediante antorchas, o recuperar para producir energía. La combustión convierte el metano capturado en dióxido de carbono, que tiene un impacto en los gases de efecto invernadero 21 veces menor. Además, este dióxido de carbono proviene de la biomasa y, por lo tanto, no se tiene en cuenta en el balance final.

Sin embargo, no se puede capturar todo el gas que se produce del vertedero que se produce y una parte se emite a la atmósfera (emisiones difusas). Estas emisiones son difíciles de medir y, por lo tanto, se estiman a partir de la modelización indicada en este protocolo.

Secuestro de carbono en vertederos

Puesto que en los vertederos se tienen en cuenta los potenciales metanogénicos de las fracciones de residuos depositados, al mismo tiempo, se puede considerar la capacidad que tienen de secuestro del carbono biogénico para las distintas fracciones de residuos. En el Anexo 3 se recoge una recopilación de los estudios existentes sobre este tema.

Incineración

Principio

Los residuos se degradan por el tratamiento térmico en incineradoras. Este tratamiento se puede aplicar a los residuos sólidos urbanos, a los residuos industriales e incluso a los lodos de

depuradora.

La energía producida se puede recuperar para alimentar sistemas de calefacción y producir electricidad. También se recupera chatarra de las escorias que se destina al reciclaje.

Fuente de emisiones de GEI

Como en cualquier proceso de combustión se produce dióxido de carbono y óxido nitroso. Parte de estas emisiones provienen de los residuos de biomasa, ya que los propios residuos tienen distintas composiciones en función de los hábitos de la población que los genera.

En el caso de la incineración de residuos sólidos urbanos se utiliza un factor de emisión para estimar las emisiones de GEI. Para la incineración de residuos peligrosos la composición de los residuos varía considerablemente, por eso es aconsejable cuantificar las emisiones mediante métodos de medición continua en chimenea.

La producción de energía asociada a la incineración de residuos evita las emisiones que se generarían al producir una cantidad equivalente de energía en una central eléctrica que usa combustible fósil.

Tratamiento Mecánico-Biológico (TMB)

Principio

El TMB es un tratamiento intermedio entre la recogida de residuos y las etapas posteriores de tratamiento (vertido, tratamiento térmico, reciclaje o cualquier otra forma de tratamiento existente). Normalmente se utiliza para tratar los residuos sólidos urbanos, aunque también es común en residuos industriales no peligrosos, con un contenido biodegradable adecuado para alimentar la etapa del tratamiento biológico. En algunos casos, los residuos industriales y comerciales o los biológicos pueden alimentar la planta.

La configuración del proceso de TMB puede variar. El proceso puede comenzar con un tratamiento mecánico y, luego, un tratamiento biológico, o al revés, dependiendo del objetivo de la planta: producción de compost, de combustible sólido recuperado - CSR - de energía a partir de biogás o de estabilizado.

Fuente de emisiones de GEI

El tratamiento biológico y el mecánico generan emisiones directas e indirectas debido a su propio consumo de electricidad y combustibles fósiles. Hay que recordar que durante el tratamiento biológico se producen emisiones de CH_4 y N_2O . También se deberá tener en cuenta el tratamiento final de los residuos del proceso de TMB (vertederos, etc.), siempre que la organización tenga el control operacional de dichas instalaciones.



Objetivos y principios

Objetivos del Protocolo

El objeto de este documento es orientar a las empresas y a las autoridades locales que gestionan residuos, así como a aquellas empresas que gestionan sus propios residuos, a cuantificar, verificar, en caso de que así lo decidan, y comunicar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Su propósito es establecer las mejores prácticas para la implementación de un inventario anual de emisiones de gases de efecto invernadero.

Los resultados que se obtengan y comuniquen deberán contemplar las directrices de este documento. Cualquier desviación de las mismas deberá describirse detalladamente en el informe que acompaña al inventario de emisiones de GEI.

Este protocolo es compatible con la edición revisada del Greenhouse Gas Protocol -A Corporate Accounting and Reporting Standard-, elaborado por el WBCSD¹ y el WRI²) y con las normas ISO relativas a inventarios de emisiones de GEI.

Además, es un documento dinámico, se puede modificar conforme se generen nuevos conocimientos y se mejoren las técnicas de cálculo y medición.

Principios para el cálculo de las emisiones de GEI

Es fundamental que se presenten los datos de la manera más completa y precisa posible. Los principios que se recomiendan a continuación para desarrollar un inventario de emisiones de GEI y comunicar sus resultados, se basan en las "Normas Internacionales de Información Financiera -NIIF- (IFRS)", establecidas para la información y contabilidad financiera.

Consistencia:

Los datos inventariados y notificados se deben preparar de tal modo que sea posible hacer comparaciones año a año. Cualquier cambio en la base del informe debe ser el resultado de un proceso de mejora continua en la calidad

del inventario. Los cambios se deben indicar y documentar de forma clara para permitir la comparación de un año con otro.

Integridad:

El alcance del inventario debe ser representativo de las actividades de la organización. En el inventario se deben incluir todos los tipos de fuentes de emisiones existentes dentro de los límites del inventario.

Sin embargo, en algunos casos, la organización puede definir un umbral mínimo por debajo del cual las emisiones quedan excluidas del inventario, o elegir no incluir algunos tipos de fuentes.

En estos casos la organización deberá documentarlo y justificar dicha decisión (véase el Capítulo 2).

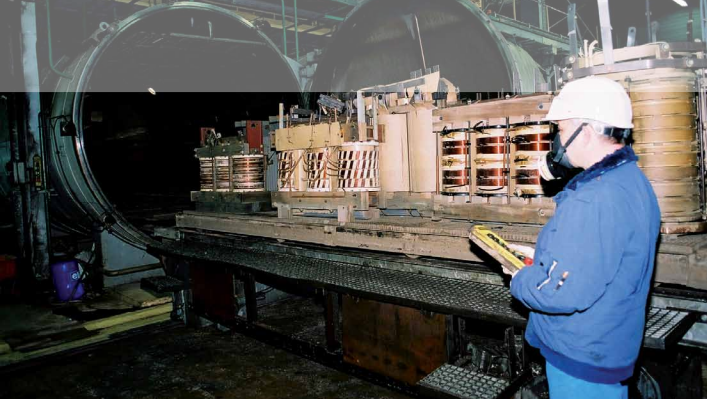
Precisión:

Es necesario prestar especial atención a la precisión de los datos para garantizar que se evitan errores sistemáticos, que se minimizan los errores aleatorios, mediante controles efectivos, y que se cuantifican las incertidumbres en la medida de lo posible (véase el Capítulo 5). Se recomienda que la organización disponga de factores de emisión específicos propios para poder reflejar con mayor detalle sus emisiones reales. En su defecto, se pueden utilizar factores nacionales o internacionales.

Transparencia/verificabilidad:

El origen de los datos que se comunican debe ser claro y explicar cualquier asunción y las metodologías utilizadas. A lo largo de todo el proceso se deben generar registros que faciliten el trabajo del auditor.

Hay que tener en cuenta que la elaboración de un inventario anual consiste en la evaluación de las emisiones procedentes de las actividades de gestión de residuos para un año concreto pero, debido a las emisiones diferidas de ciertos equipos, pueden corresponder a las del año anterior.



» Características de los datos

1.1 El protocolo se aplica a los siguientes gases de efecto invernadero

- Dióxido de carbono (CO_2)
- Metano (CH_4)
- Óxido nitroso (N_2O)

En este protocolo se incluyen los factores de emisión para el N_2O procedentes de la incineración de residuos urbanos.

Se continúa investigando para otras actividades del sector de residuos, como es el caso de emisiones de N_2O de los tratamientos biológicos. En la herramienta Excel que se proporciona con esta publicación se contemplan algunos ejemplos y en el Anexo 4 se recoge un resumen de los valores encontrados en la bibliografía.

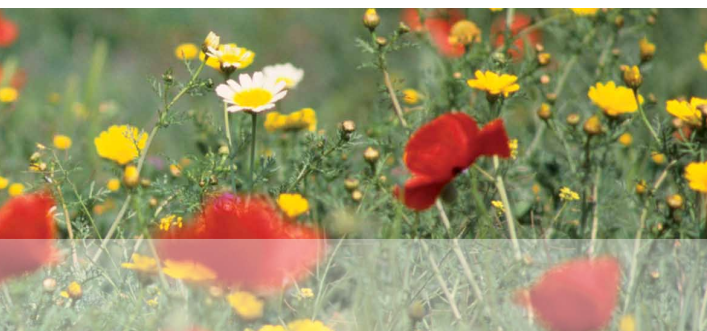
Además, se considera que la gestión de residuos no genera hexafluoruro de azufre (SF_6) y que en condiciones normales de operación no genera HFC (hidrofluorocarburos) o PFC (perfluorocarburos).

1.2 La Unidad empleada es: toneladas equivalentes de CO_2 (t CO_2 eq)

1.3 Periodo: Se notifican las emisiones de GEI basándose en los datos acumulados por la actividad a lo largo del ejercicio de un año.

1.4 Una organización es un grupo, una empresa, una filial, una autoridad local o una instalación que realice un inventario anual de emisiones de GEI.

1.5 Los límites notificados por la organización deben considerar todas las operaciones que recojan, reciban o traten residuos o que tengan actividad comercial.



» Emisiones evitadas/ directas/indirectas

1.6 A continuación se definen las emisiones de gases de efecto invernadero directas e indirectas. Cabe destacar que el término «emisiones de GEI directas» se aplica a las fuentes de emisiones que se detallan más adelante en este protocolo mientras que el término «emisiones de GEI indirectas» se refiere a las emisiones procedentes de fuentes indirectas.

1.7 **Emisiones de GEI directas (Capítulo 1):** las emisiones provenientes de procesos o equipos propiedad o bajo control de la organización. **Ejemplo:** emisiones de la instalación de combustión (CO_2 , N_2O), vertederos (CO_2 , CH_4), vehículos de la empresa (CO_2 , N_2O).

Este protocolo distingue entre emisiones **directas brutas** y emisiones **directas netas**.

Las **emisiones directas brutas** son las emisiones directas totales generadas por las actividades de gestión de residuos; tienen en cuenta las emisiones de GEI de la biomasa y las emisiones de CO_2 de la combustión del gas de vertedero.

Las **emisiones directas netas** son las que se tienen en cuenta en última instancia en el inventario y en el informe de emisiones, después de aplicar los ajustes relativos a la biomasa,² según los cuales las emisiones de GEI originadas en la combustión de biomasa se consideran como neutras y por tanto no se contabilizan.

La biomasa se define³ como la materia orgánica no fósil y biodegradable originada a partir de plantas, animales y microorganismos. La biomasa también tiene en cuenta los productos, subproductos, residuos de la agricultura, silvicultura e industrias asociadas, así como las fracciones orgánicas no fósiles y biodegradables de los residuos municipales e industriales. Además de los gases y los fluidos recuperados de la descomposición de la materia orgánica no fósil y biodegradable.

1. Se acordó, como en el caso del Protocolo de transporte de EPE y de los protocolos sectoriales del WBCSD, mencionar la existencia de las emisiones de N_2O relativas al transporte (combustión de carburante). Del mismo modo, se pueden mencionar las emisiones de N_2O procedentes de la combustión del gas de vertedero en motores. Actualmente no se cuantifican estas emisiones por ello no aparecen en la tabla resumen del Capítulo 2, Inventario Anual.

2. Véase, por ejemplo, el anexo IV de la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre de 2003, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.

3. Decisión de la Comisión, de 29 de enero de 2004, por la que se establecen directrices para el seguimiento y la notificación de las emisiones de gases de efecto invernadero de conformidad con la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.

1.8 Emisiones de GEI indirectas: las emisiones asociadas a la actividad de la organización pero que físicamente ocurren en emplazamientos o en operaciones, o bajo el control, de una empresa distinta a la organización que notifica.

Por lo tanto, las emisiones directas de las actividades de gestión de residuos coinciden con parte de las emisiones indirectas de los productores de residuos.

Ejemplos: emisiones de las siguientes actividades:

- Producción de electricidad (emisiones de CO₂ y N₂O¹) utilizada por la organización pero producida por una tercera parte.
- Transporte de residuos en vehículos que no son propiedad de la organización (o sobre los que no ejerce control) (emisiones de CO₂ y N₂O¹).

1.9 Las emisiones indirectas se dividen en dos partes:

- Emisiones provenientes del consumo de electricidad, calor o vapor, que no produce la organización para autoconsumo (alcance 2).
- Otras emisiones indirectas, por ejemplo, equipos de construcción y consumo de reactivo en cuya fabricación se han generado emisiones en otra instalación (alcance 3).

1.10 Inventario debe incluir las emisiones netas directas de GEI.

Las emisiones directas brutas también se pueden calcular y se conservará el cálculo.

1.11 Se requiere información de las emisiones procedentes de la electricidad y otras energías consumidas (alcance 2). Con objeto de obtener un inventario de emisiones tan completo como sea posible, las entidades también pueden plantearse informar sobre otras emisiones indirectas de gases de efecto invernadero (alcance 3), un ejemplo de estas emisiones serían las generadas por los empleados para acceder a las instalaciones o las relacionadas con la fabricación de reactivos, anteriormente citada.

- **La notificación de emisiones directas e indirectas debe quedar claramente diferenciada.**

1. Se acordó, como en el caso del Protocolo de transporte de EPE y de los protocolos sectoriales del WBCSD, mencionar la existencia de las emisiones de N₂O relativas al transporte (combustión de carburante). Del mismo modo, se pueden mencionar las emisiones de N₂O procedentes de la combustión del gas de vertedero en motores. Actualmente no se cuantifican estas emisiones por ello no aparecen en la tabla resumen del Capítulo 2, Inventario Anual.

1.12 Las emisiones indirectas asociadas a la compra/venta de electricidad, calor y vapor: El *Greenhouse Gas Protocol* editado por WBCSD/WRI recomienda indicar la cantidad de electricidad y energía térmica comprada y consumida.

Por tanto, las emisiones de GEI correspondientes se deben completar con la aplicación de los tipos de factores de emisión y su fuente.

Se recomienda utilizar los promedios nacionales de los factores de emisión de electricidad que aparecen en la hoja "Factores" de la herramienta en Excel, procedentes de la Agencia Internacional de la Energía. Sin embargo, se puede utilizar un factor de emisión específico cuando el usuario tenga documentación oficial (proveniente de una agencia ambiental o una agencia nacional) que demuestre que la electricidad generada con residuos, en efecto sustituye a la producción eléctrica generada con combustibles fósiles en lugar de a la media del mix energético. Estas referencias se deben reflejar claramente en el inventario.

1.13 Distribución y transporte de electricidad: El productor de electricidad facilita las emisiones de GEI asociadas al consumo. Por lo tanto, el consumidor puede calcular las emisiones de GEI correspondientes a la cantidad de electricidad adquirida utilizando la lectura de sus contadores.

1.14 El cálculo de las emisiones indirectas puede llevar a una doble contabilización cuando dos organizaciones distintas incluyan las mismas emisiones en sus respectivos inventarios. Para **evitarlo** las organizaciones deben identificar claramente en sus informes las emisiones directas e indirectas que contabilizan.

1.15 Emisiones evitadas:

Algunas actividades de gestión de residuos contribuyen a la generación de energía, al reciclaje de materiales o a la sustitución de combustibles. Estas actividades evitan la emisión de GEI asociados a la producción de una cantidad equivalente de energía, combustibles o materias primas. Se evitan emisiones en las siguientes situaciones:





- La producción de energía térmica y eléctrica como consecuencia de la valorización energética o de la eliminación de residuos por incineración: las emisiones evitadas equivalen a las emisiones de CO₂ que se habrían generado al producir una cantidad de energía equivalente.
- La producción de energía térmica y eléctrica a partir de gas de vertedero y de biogás de la digestión anaerobia: las emisiones evitadas equivalen a las emisiones de CO₂ que se habrían generado al producir una cantidad de energía equivalente.
- Reciclaje y valorización de los siguientes materiales:
 - Papel/cartón
 - Vidrio
 - Hierro
 - Aluminio
 - Plástico
 - Chatarra (escoria)
 - Combustibles de sustitución (ya sean combustibles sólidos recuperados de residuos no peligrosos o combustibles alternativos de residuos peligrosos): las emisiones evitadas equivalen a la diferencia entre las emisiones de CO₂ asociadas a la valorización energética del residuo y las que se hubiesen generado durante la combustión del combustible fósil convencional sustituido (teniendo en cuenta el mismo contenido energético).
 - Otros (recuperación de hidrocarburos, destilación de disolventes, regeneración de aceites, recuperación de cobre y zinc, etc)
- Las emisiones evitadas equivalen a las emisiones de CO₂ que se habrían generado al producir una cantidad equivalente de materiales.

Las emisiones evitadas no se pueden deducir de las emisiones directas o indirectas calculadas por la organización y se deben notificar por separado.

Las emisiones evitadas asociadas a la recuperación material se calculan usando un enfoque del análisis del ciclo de vida (ACV). Existen varios estudios que proporcionan los factores correspondientes a las emisiones evitadas por la recuperación de sustancias contenidas en los residuos. En la herramienta Excel asociada a este Protocolo, se proporcionan los factores de emisión resultantes de los seis estudios principales:

- Waste management options and climate change,

- AEA Technology, estudio para la DG de Medio Ambiente, 2001.
- Solid Waste Management and Greenhouse Gases: A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks, 3.ª edición, EPA (EUA, 2006).
- Etude technico-économique sur le bilan des filières de recyclage, ADEME/Ecobilan, 2007.
- Resource savings and CO₂ reduction potential in waste management in Europe and the possible contribution to the CO₂ reduction target in 2020. Prognos. Octubre de 2008.
- CO₂ kentallen afvalscheiding. JHB Benner et al. CE Delft, septiembre de 2007.
- Report on the Environmental Benefits of Recycling, Oficina Internacional de Recuperación (BIR), octubre de 2008.

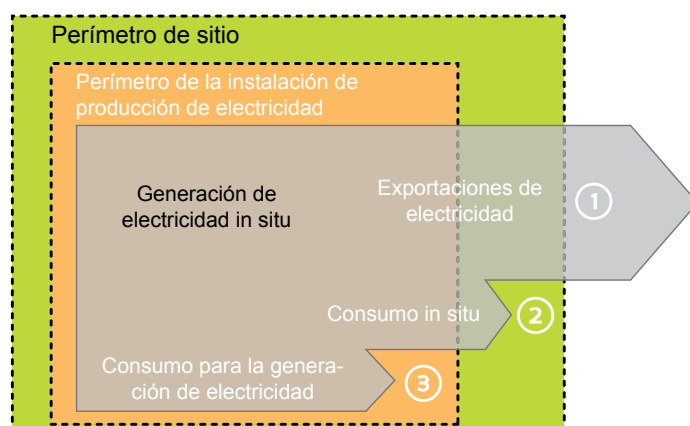
En función de su contexto geográfico los usuarios podrán seleccionar entre estas seis bases de datos. Si se prefiere utilizar otros valores distintos a los recogidos en la hoja de "Factores de reciclaje" tendrá que documentarlo y facilitar las referencias del estudio del ACV y el origen de sus cifras.

Las emisiones evitadas por la producción de energía a partir de gas de vertedero o de la incineración se pueden calcular del mismo modo que las emisiones indirectas asociadas a la energía.

Las emisiones evitadas asociadas a la generación de electricidad se tendrán en cuenta según se describe en el siguiente gráfico:

- ① y ② La electricidad generada in situ se considera una emisión evitada cuando se vierte a la red de suministro o se destina a otros consumos distintos del autoconsumo para producir la electricidad (es decir, otros usos que hubieran requerido la compra de electricidad de la red de suministro si no existiera la generación in situ);
- ③ El autoconsumo de electricidad por los equipos asociados a la producción de electricidad no se toma en cuenta a la hora de contabilizar las emisiones evitadas.

Si no se dispone de mediciones in situ precisas para ① y ③, sólo se considerarán como emisiones evitadas las emisiones asociadas a ①.



» ¿Qué actividades incluir en el cálculo?

Debido a las características de las actividades de gestión de residuos, que en numerosas ocasiones son servicios prestados a otras entidades, parece necesario ampliar el perímetro sobre el que la organización tiene control y que se considera en el GHG Protocol.

1.16 Control operativo: En este enfoque se tienen en cuenta las emisiones procedentes de aquellas fuentes que están bajo el control operativo de la organización.

Se entiende que una organización tiene control operativo sobre un tipo de fuente cuando ejerce **una influencia dominante** sobre sus emisiones, porque dispone de la capacidad para dirigir las políticas operativas que determinan sus emisiones.

Con el enfoque de control operativo, la organización incluye en su inventario el 100% de las emisiones de una fuente dada.

1.17 Ejemplos :

- Una organización podría ejercer una influencia dominante sobre un tipo de fuente si se cumple una de las siguientes condiciones:

- Tiene la mayoría de los derechos de voto en el Consejo de Administración de la organización.
- Es titular de la autorización administrativa de la instalación.
- Tiene capacidad para imponer sus procedimientos de salud, seguridad y medio ambiente (HSE) en los centros considerados.
- Le ha sido delegada la capacidad de tomar decisiones económicas relativas al funcionamiento técnico de la instalación considerada.¹
- En virtud de los términos y las condiciones contenidos en el contrato que rige la operación de la fuente.

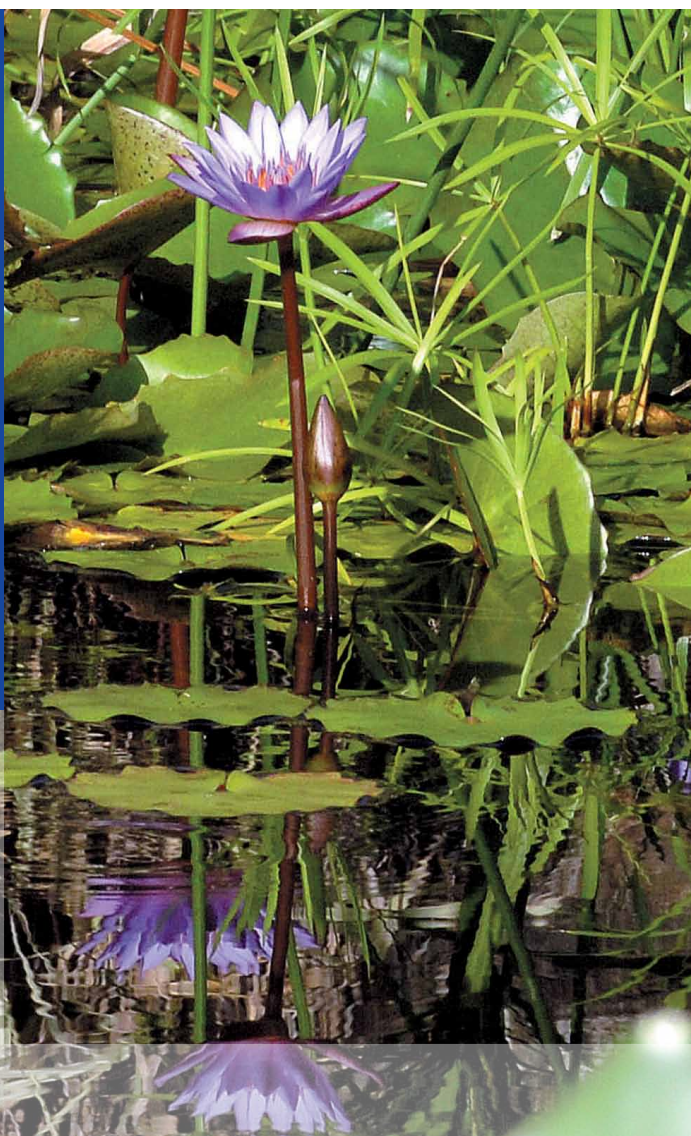
1.18 Este protocolo se ha adoptado el enfoque del “control operativo”

Cabe señalar que una organización que tiene control operativo no tiene necesariamente el poder para tomar todas las decisiones relativas a las fuentes de emisión. Por ejemplo, para inversiones importantes será necesaria la aprobación de todos los socios que son propietarios de la organización. Para ciertos tipos de fuentes, la organización puede tener el control financiero compartido con otras organizaciones sin tener el control operativo. En este caso, deberá consultar los acuerdos contractuales para determinar qué socio tiene la autoridad para introducir e implementar los procedimientos operativos y, por lo tanto, la responsabilidad de notificar las emisiones de GEI, de conformidad con el enfoque de control operativo.

1.19 El enfoque del control operativo también se aplica para los subcontratistas de la organización. Por lo tanto, las emisiones de GEI de los subcontratistas se incluirán en el informe de las emisiones directas de la organización, siempre que mantenga el control operativo sobre las actividades que ha delegado, es decir, si tiene la autoridad para tomar las decisiones sobre los procedimientos operativos que generan dichas emisiones. Si no tiene control operativo sobre las actividades delegadas, las emisiones de gases de efecto invernadero correspondientes se integrarán en las emisiones indirectas. En cualquier caso, la organización se coordinará con su subcontratista para garantizar la coherencia en los datos notificados, es decir, en sus inventarios concuerdan las emisiones, directas para uno e indirectas para el otro.

1.20 Consolidación en múltiples niveles: para que se aplique correctamente el principio de consistencia del informe de emisiones de GEI es necesario que todos los niveles de la organización sigan el mismo enfoque. Por lo tanto, todos deben seguir el enfoque de “control operacional”.

1. Directiva europea 2003/87/CE.



Inventario Anual

Capítulo 2: Inventario Anual



» Definiciones

2.1 Tipo de Fuente: proceso o equipamiento que libera a la atmósfera emisiones directas o indirectas de GEI. Los tipos de fuentes se caracterizan por tener una metodología de cálculo idéntica. Dentro del alcance definido, los tipos de fuentes homogéneas se deben añadir y tener en cuenta como un único tipo.

2.2 La siguiente tabla resume los tipos de fuentes asociados a las actividades de gestión de residuos. Dentro de las emisiones directas, distingue entre

las emisiones directas brutas, es decir, la cantidad total de emisiones de GEI directas, y las netas, las que se tienen en cuenta en el inventario tras aplicar los ajustes relativos a las emisiones de CO₂ de biomasa. El factor de emisión para la combustión de biomasa se considera cero¹.

En los tipos de fuente distintos, se consideran las emisiones de fuentes puntuales (chimeneas, quemadores, etc.) y las emisiones difusas (vertederos).

1. Según el anexo IV de la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo.

Actividad	Emisiones directas		Emisiones indirectas	Emisiones evitadas	Acciones de reducción de emisiones
	Emisiones brutas	Emisiones netas			
Recogida y transporte	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ de consumo de combustibles 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ de consumo de combustibles 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ de vehículos eléctricos • CO₂ de transporte externalizado 		<ul style="list-style-type: none"> • Uso de vehículos eléctricos • Uso de combustibles alternativos (diésel, biocombustibles, etc.) • Desarrollo de medios alternativos de transporte (transporte ferroviario y fluvial)
Transferencia	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ de consumo de combustible in situ 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ de consumo de combustible in situ 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ de consumo de electricidad 		<ul style="list-style-type: none"> • Acciones realizadas para mejorar la eficiencia energética de los equipos e instalaciones
Pretratamiento mecánico (desmontaje)	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ de consumo de combustible in situ 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ de consumo de combustible in situ 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ de consumo de electricidad 		<ul style="list-style-type: none"> • Acciones realizadas para mejorar la eficiencia energética de los equipos e instalaciones
Clasificación, reciclaje y recuperación	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ de consumo de combustible in situ 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ de consumo de combustible in situ 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ del consumo de electricidad adquirida 	<ul style="list-style-type: none"> • GEI evitados correspondientes a las emisiones que se generan en la producción de una cantidad equivalente de materiales • CO₂ evitado mediante la posible producción de combustibles sólidos recuperados (CSR) 	<ul style="list-style-type: none"> • Acciones realizadas para mejorar la tasa de clasificación selectiva • Recuperación de los rechazos de la clasificación
Tratamiento físico-químico	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ de consumo de combustible in situ 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ de consumo de combustible in situ 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ del consumo de electricidad adquirida 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ evitado mediante la posible producción de combustibles alternativos 	<ul style="list-style-type: none"> • Acción realizada para optimizar la producción de combustible alternativo

Actividad	Emisiones directas		Emisiones indirectas	Emisiones evitadas	Acciones de reducción de emisiones
	Emisiones brutas	Emisiones netas			
Tratamiento biológico (compostaje, digestión anaerobia)	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ de biomasa • CO₂ de consumo de combustible in situ • CH₄ y N₂O 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ del consumo de combustible in situ • CH₄ y N₂O 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ del consumo de electricidad adquirida 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ evitado mediante la producción de energía • CO₂ evitado mediante el uso de compost en la recuperación agrícola • CO₂ evitado mediante la recuperación de calor producida por el proceso de compostaje. 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimización de las condiciones aerobias para los procesos de compostaje • Optimización de la recuperación de energía y/o material
Vertederos	<ul style="list-style-type: none"> • CH₄ de gas de vertedero • CO₂ de gas de vertedero • CO₂ del consumo de combustible in situ 	<ul style="list-style-type: none"> • CH₄ de gas de vertedero • CO₂ del consumo de combustible in situ 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ del consumo de electricidad adquirida 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ evitado mediante la producción de energía 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimización de la combustión, captura y oxidación del CH₄ • Optimización de la recuperación de energía
Incineración	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ de residuos • CO₂ de combustibles fósiles adicionales • N₂O 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ de residuos (excepto la fracción de biomasa) • CO₂ de combustibles fósiles adicionales • N₂O 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ del consumo de electricidad adquirida 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ evitado mediante la producción de energía • CO₂ evitado mediante el reciclaje de las escorias y la ceniza 	<ul style="list-style-type: none"> • Optimización de la recuperación de energía
Tratamiento Mecánico Biológico (TBM)	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ del consumo de combustible in situ • CO₂ de biomasa • CH₄ y N₂O 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ del consumo de combustible in situ • CH₄ y N₂O 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ del consumo de electricidad adquirida 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ evitado mediante la producción de energía • CO₂ evitado mediante el empleo del compost • CO₂ evitado mediante la recuperación material • CO₂ evitado mediante la posible producción de combustibles alternativos 	<ul style="list-style-type: none"> • Acciones realizadas para mejorar la calidad del compost y la separación • Optimización de la recuperación de material y energética

»» Exclusiones

2.3 Según la definición del principio de integridad que aparece en la introducción, en el inventario se deben incluir todos los tipos de fuentes que estén en el perímetro elegido.

Sin embargo, en la práctica, la organización puede encontrarse con obstáculos en la cuantificación de algunos tipos de fuentes:

- La ausencia de datos.
- Emisiones insignificantes.
- Un coste desproporcionado asociado a la recogida de datos.
- Un alto nivel de incertidumbre de los datos, etc.

En estos casos, la organización puede eliminar del inventario las emisiones de algunos tipos de fuentes, siempre que esté documentado y claramente justificado.

El verificador externo podrá evaluar el posible impacto y la relevancia de la exclusión.

Cuando el informe haga referencia a varios centros, deberá indicar la tasa de cobertura de sus datos. Es decir, el porcentaje de actividad o de facturación que está cubierta por los centros que notifican datos, sobre el perímetro total de notificación, expresada mediante un indicador relevante (datos de actividad, facturación, etc.).

»» Identificar el listado de fuentes

2.4 **Listado de tipos de fuentes:** Lista que detalla los tipos de fuentes incluidos por la organización en el inventario, de acuerdo con la clasificación recogida en la tabla de las páginas 16 y 17.

En la herramienta Excel, concretamente en la hoja "Listado de tipo de fuentes", se ayuda al usuario a identificar las fuentes de emisión que se deberían incluir en su perímetro de notificación.

2.5 **El inventario anual se elabora a partir de las emisiones anuales consolidadas de todas las fuentes.** Por ello, para calcular las emisiones del inventario anual, la organización debe identificar cada año las fuentes que considera.

La organización debería llevar un registro escrito de las decisiones tomadas durante la identificación de las fuentes.

2.6 Para determinar su listado de fuentes, la organización debe **identificar todas las fuentes sobre las que tiene control operativo.** La lista debe ser lo más exhaustiva, completa y precisa posible.

»» Cálculo de las emisiones anuales

2.7 **Se proponen los siguientes pasos para el cálculo de las emisiones:**

1. Cuantificar las emisiones de GEI a lo largo del año considerado para todos los tipos de fuentes del listado.
2. Si alguna de las fuentes incluidas en el inventario anual no se recoge en la herramienta de cálculo anexa a este protocolo, la organización debería indicar y documentar el protocolo de cálculo específico que utiliza para la misma y presentar una estimación de la incertidumbre en el cálculo de emisiones inherente a su uso.

2.8 Una vez realizados estos dos pasos, la organización habrá completado su inventario anual.

»» Ajustes en el listado del tipo de fuentes y emisiones anuales notificadas

2.9 Pueden producirse cambios en la estructura de grupo de la organización o en sus operaciones debido a la adquisición o desinversión de filiales o activos. Por lo tanto, los tipos de fuente de la lista no pueden ser fijos a lo largo del tiempo.

2.10 Cada vez que una organización cambia su estructura u operaciones, debe realizar ajustes en el listado de fuentes y en los correspondientes cálculos de emisiones anuales.

2.11 Cualquier ajuste en el listado tiene que realizarse a finales del año en el que se produjo el cambio operativo o estructural.

»» Ajustes debidos a la pérdida del control operativo

2.12 Una organización puede ceder el control operativo de algunas de las fuentes recogidas en su lista debido a:

- Una desinversión o escisión.
- Externalización de una o varias actividades.
- La reorganización del control operativo (cambio de contratista, etc.).
- Finalización de una actividad (tipo de fuente).

2.13 Si una organización cede el control operativo sobre algún tipo de fuente de su listado tiene que hacer un ajuste en el mismo y en las emisiones anuales de GEI.

2.14 En caso de clausura de una actividad asociada a un tipo de fuente, las emisiones de GEI se tendrán en cuenta hasta el cierre final.

2.15 Se debe explicar el método para tener en cuenta los cambios en la propiedad que repercutan en los límites organizacionales u operacionales.

» Ajustes debidos a la adquisición del control operativo

2.16 Una organización puede adquirir control operativo sobre tipos de fuentes, que no están en su lista cuando se produce:

- Una fusión.
- Una adquisición.
- La internalización de una actividad.
- Una reorganización del control operativo (cambio de contratista,...).
- El inicio de una actividad nueva (tipo de fuente).

2.17 Si una organización adquiere el control operativo sobre tipos de fuentes que no están en su lista, tiene que hacer un ajuste en el mismo y en las emisiones anuales de GEI.

2.18 Si se inicia una nueva actividad, las emisiones de gases de efecto invernadero se tendrán en cuenta a partir de la fecha de inicio.

2.19 Se debe explicar el método para tener en cuenta cambios en la propiedad que repercutan en los límites organizacionales u operacionales.

» Ajustes de las emisiones históricas

2.20 Las emisiones históricas se modifican en los siguientes casos:

- Cambio en el listado de tipos de fuentes (fusiones, adquisiciones, cesiones, externalización o internalización de tipos de fuentes).
- Cambio en el método de cuantificación de emisiones.
- Detección de errores en la cuantificación de emisiones.

2.21 Las emisiones históricas deben recalcularse cuando la organización considere que tiene un impacto relevante en el inventario.

El proceso debe quedar perfectamente documentado y justificado.

2.22 Las emisiones históricas no se ajustan cuando se detiene o se inicia una actividad.

2.23 Si los datos históricos no están disponibles la organización debe indicarlo. En este caso puede optar por no ajustar los datos históricos afectados.



Cálculo de Emisiones

Capítulo 3: Cálculo de Emisiones

»» Enfoque/Jerarquía

3.1 El objetivo de este capítulo es presentar un enfoque y una metodología común para cuantificar las emisiones de GEI, utilizando la herramienta de cálculo Excel asociada a este protocolo.

3.2 Dependiendo del tipo de metodología utilizada (uso de factores de emisión estándar, mediciones periódicas, mediciones continuas, etc.), se pueden alcanzar distintos niveles de precisión.

3.3 Para asegurar una mejora continua del cálculo de emisiones se recomienda, siempre que sea posible, aplicar los métodos más precisos. Sin embargo, es un hecho que el método elegido dependerá de la importancia del tipo de fuente y de las incertidumbres asociadas a los métodos de evaluación disponibles. De hecho, el nivel de incertidumbre asociado con ciertos métodos sigue siendo un obstáculo a la hora de establecer métodos universales. Además, incluso en las mediciones pueden existir diferencias de precisión, dependiendo de las técnicas de medición alternativas.

3.4 Para las emisiones de GEI debidas a la incineración de residuos peligrosos, se puede utilizar la normativa existente para mediciones de emisiones de CO₂ en chimeneas, siempre que se pueda justificar que este método es más preciso que el cálculo a partir de los datos de la actividad (por ejemplo, consumo de carburante) y un factor de emisión.

En este caso, se debería comprobar el buen funcionamiento del analizador de emisiones y aplicar un programa de mantenimiento, para evitar cualquier desviación en el funcionamiento del aparato de medición. Además, se deben archivar los informes de mantenimiento.

»» Metodología

3.5 En algunos casos se pueden utilizar varios métodos.

Para las mediciones en continuo pueden existir varios protocolos de muestreo aplicables para obtener una muestra representativa. Del mismo modo, para un mismo cálculo se pueden utilizar varios factores de emisión procedentes de distintas fuentes bibliográficas.

La organización debe documentar la metodología utilizada y los motivos de su elección.

3.6 Este documento no hace ninguna recomendación sobre las técnicas específicas de muestreo, medición o análisis. Todos los métodos de muestreo, medición y análisis se emplearán de conformidad con las normas nacionales e internacionales aplicables. Si no existiesen dichas normas, se archivará toda la documentación relativa a los métodos aplicados.

»» Potenciales de Calentamiento Global

3.7 En el anexo 1 se recogen los potenciales de calentamiento global –PCG– para el CO₂, CH₄ y N₂O para un horizonte de 100 años. (Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión de 1996 - Manual de Referencia - Volumen 3). Los valores de los PCG que se tienen en cuenta provienen del segundo Informe de Evaluación del IPCC₁ y se utilizan en el contexto del Protocolo de Kioto para el primer periodo de cumplimiento (2008-2012).

Los potenciales de calentamiento global se han revisado y actualizado en el tercer y cuarto informe del IPCC.

»» Herramienta de Cálculo

3.8 Con este protocolo se anexa una herramienta de cálculo en formato Excel que se ha desarrollado como parte del mismo.

1. Siglas en inglés del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.





3.9 Esta herramienta está compuesta de varias hojas de cálculo:

- Listado de tipos de fuentes: creación de la lista de los tipos de fuentes incluidos en el perímetro de notificación.
- Transporte: cálculo de las emisiones debidas a la recogida y el transporte de los residuos. Esta tabla se basa en la hoja de cálculo de emisiones GEI del transporte, publicada por EpE, y se centra en las principales actividades del transporte en la gestión de residuos.
- Clasificación/Transferencia: cálculo de las emisiones debidas a los centros de clasificación y transferencia.
- Digestión anaerobia: cálculo de las emisiones debidas a la digestión anaerobia de residuos.
- Compostaje: cálculo de las emisiones debidas al proceso de compostaje.
- CSR: cálculo de las emisiones debidas a la preparación de combustibles sólidos recuperados.
- TBM: cálculo de las emisiones debidas a los Tratamientos Mecánico-Biológicos.
- Vertederos: esta hoja presenta las recomendaciones y los requisitos relativos al cálculo de las emisiones de vertederos. Se muestran cuatro modelos teóricos de producción y emisión de metano (ecuación del cálculo de la producción de metano, parámetros principales...).
- Incineración: cálculo de las emisiones debidas a la incineración de residuos (todos los tipos).
- Evitadas: cálculo de emisiones evitadas mediante la recuperación de residuos, siguiendo los principios de este protocolo.
- Listado de tipos de fuentes con resultados: hoja que detalla los resultados de las emisiones evitadas y las emisiones directas/indirectas asociadas a las actividades cubiertas por el inventario.
- Síntesis: hoja que resume los resultados del inventario.
- Factores: hoja que resume los factores de emisión recomendados para el informe.
- Factores de reciclaje: factores recomendados para las emisiones evitadas asociadas a la recuperación material.

3.10 La aplicación permite introducir los datos a través de dos tipos de campos:

- Campos donde el usuario debe introducir los valores específicos del centro (datos de actividad, toneladas de residuos tratados, etc.).
- Campos donde se presentan los valores por defecto (factores de emisión). Estos valores se refieren a los aceptados a nivel nacional o internacional, cuando están disponibles. En la tabla se adjuntan las fuentes. El usuario puede adaptar estos valores para aportar una visión más precisa de la situación de su centro pero tiene que documentar y justificar los valores seleccionados.

3.11 Durante el proceso de cumplimentación, la aplicación irá mostrando diferentes mensajes de ayuda, para facilitar el proceso, las precauciones que se deben tomar y algunas de las recomendaciones recogidas en este protocolo.

3.12 Caso concreto de la incineración de residuos peligrosos: emisiones debidas a la incineración de residuos peligrosos utilizando un cálculo que asocia el tonelaje de las distintas categorías de residuos incinerados y los correspondientes factores de emisión, o, preferiblemente, utilizando las mediciones realizadas en la chimenea, siempre que se pueda demostrar que este método es más preciso.

En este segundo caso, el usuario debe evitar un doble cálculo:

- Aplicar un cálculo basado en el tonelaje de residuos incinerados requiere rellenar la sección del cálculo relativo a la incineración y la sección 1, relativo a los combustibles fósiles utilizados como combustible extra.
- Las mediciones en las chimeneas se aplican a todos los productos incinerados que contienen carbono. Por lo tanto, no es necesario hacer un segundo cálculo para las emisiones de combustibles adicionales.

»» Caso concreto: modelización de emisiones de vertedero

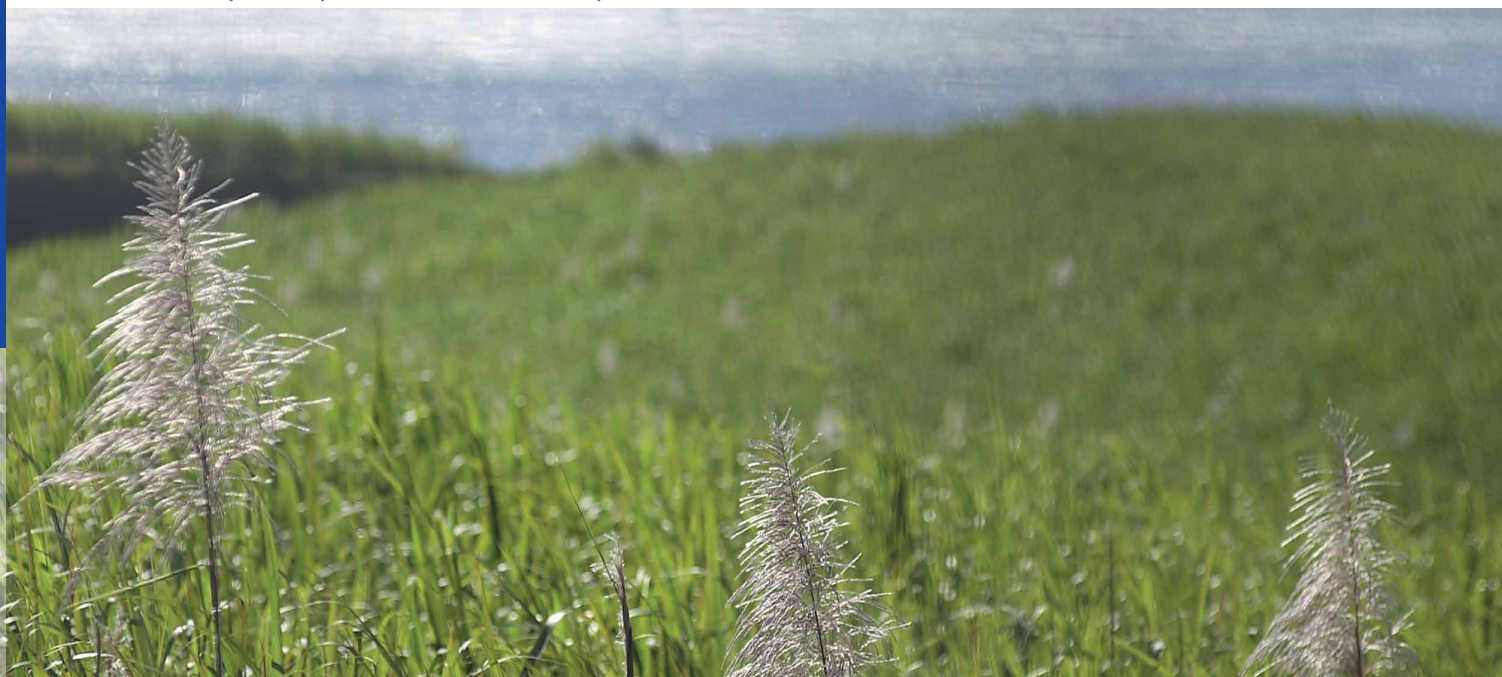
3.13 El cálculo del metano capturado en los vertederos se puede realizar fácilmente si se usan caudalímetros en el sistema de recogida de gas de vertedero y se analiza su composición. Sin embargo, las condiciones de campo pueden dificultar el cálculo de las emisiones difusas. Por ello, hasta la fecha, lo más usual es modelizar la producción de gas de vertedero para estimar las emisiones difusas.

En el Anexo 2 se presenta un estudio comparativo de los modelos existentes. A continuación se recogen sus conclusiones y recomendaciones, útiles para realizar un inventario de emisiones de GEI:

- El uso de modelos debe estimar las emisiones difusas. Entre la diversidad de modelos existentes, sólo los modelos que utilizan ecuaciones de primer orden pueden tener en cuenta los factores que afectan a la producción de gas de vertedero. Por lo tanto, la organización debería usar estos modelos y limitar el uso de los que utilizan ecuaciones de orden "cero" (o factores de emisión estándares).
- Algunos modelos se crearon para describir condiciones concretas y para proporcionar factores estándares para los residuos a los que se pueden adaptar. Cada uno tiene sus ventajas e inconvenientes y los resultados que se obtienen pueden diferir mucho. Se necesita tiempo para entender la especificidad y funcionalidad de cada modelo.
- Debido a la propia naturaleza del ejercicio de modelización, no se recomienda un modelo en concreto, en primer lugar es preferible utilizar el que aceptan las autoridades para las

declaraciones administrativas. Si no existiese esta recomendación, la organización deberá utilizar el que esté publicado, aceptado y disponible en la bibliografía técnica y científica (en la herramienta de cálculo asociada a este protocolo se relacionan los modelos preferidos) y adaptar sus parámetros, para que reflejen las condiciones específicas del centro. Además, hay que documentar y justificar la elección de dicho modelo y la adaptación de los parámetros.

- El modelo elegido deberá tener en cuenta la composición de los residuos.
- Puesto que es necesario adaptar los parámetros del modelo, la organización tiene que garantizar que cada año se usa el mismo, excepto si justifica el uso de otro que permite representar mejor las condiciones del vertedero.
- El buen uso del modelo de estimación de emisiones de un vertedero requiere un elevado nivel de conocimiento y experiencia, esto es debido a la gran sensibilidad de los datos de entrada. La precisión de los resultados también depende mucho del conocimiento del vertedero a modelizar (contenido de carbono biogénico, edad de los residuos, tasa de captura de gas de vertedero), así como de los residuos depositados (composición, prácticas de separación de residuos). Además, es importante que el personal operativo del centro trabaje en estrecha colaboración con el diseñador del modelo. Hay varias investigaciones en curso para estimar las emisiones difusas de metano a partir de medidas de control en campo. La organización debería proporcionar datos adecuados para los parámetros de entrada y controlar que los calculados son coherentes, incluso realizando un cálculo con los datos proporcionados por los Directores de Operaciones.
- El uso de estos modelos implica un alto nivel de incertidumbre que es difícil de evaluar.



Cómo Presentar el Informe

Capítulo 4: Cómo Presentar el Informe

4.1 Se debe documentar el proceso de confección del informe de emisiones para garantizar la transparencia y la comprobación de los datos, tanto para un control interno como para una verificación externa.

»» Datos a notificar

4.2 La información mínima que se debe notificar en el informe de gestión del inventario de emisiones de GEI, es la siguiente:

- Carta de la dirección, certificando que los datos notificados son una fiel representación de las emisiones de la organización y que cumplen con los requisitos del protocolo.
- El listado de las fuentes para el año N y los cambios realizados en ese año (por ejemplo: cambios estructurales).
- Las emisiones anuales directas de GEI, con sus niveles de incertidumbre y las metodologías utilizadas.
- Datos de la actividad.

4.3 Como mínimo, la **documentación**, necesaria para el control interno y la verificación externa, debería incluir los siguientes elementos:

- Protocolo de cálculo desarrollado por la organización, incluidos los métodos de contabilización y cálculo y los registros de las fuentes bibliográficas con los factores de emisión utilizados. Cuando una organización utiliza un método de cálculo diferente del protocolo, tiene que describir su metodología de forma precisa y explicar su elección.
- Una explicación de las inclusiones y exclusiones que se han realizado al definir el listado de fuentes.
- Cualquier cambio en la metodología que pueda influir en la comparación de los datos notificados con los históricos.
- La descripción de cualquier hecho que pueda repercutir en los datos notificados.
- Cualquier información contextual que sea necesaria para evaluar la calidad de los datos.

4.4 La información proporcionada deberá ser clara y concisa.

4.5 La organización debe registrar de modo sistemático (por ejemplo, usando una base de

datos electrónica) los datos y los métodos que respaldan la recogida de datos y su consolidación. El registro debería incluir todas las emisiones anuales y las emisiones del año de referencia.

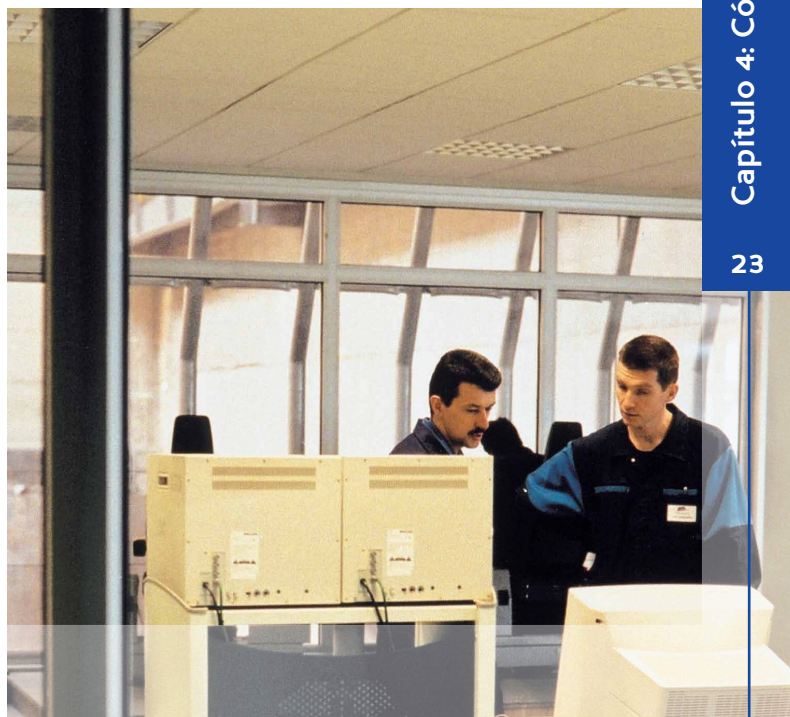
»» Informe de los datos de la Actividad

4.6 **Los Datos de la actividad**: son los datos representativos de una actividad que tienen lugar durante un periodo de tiempo determinado. La organización es libre para seleccionarlos siempre y cuando justifique su elección.

4.7 Los datos pueden estar directamente relacionados con la actividad, como son las toneladas de residuos recogidos, clasificados, tratados, o reciclados o no, por ejemplo, la unidad de PIB, la facturación, etc.

4.8 Los indicadores tipo ratio suelen proporcionar información sobre la eficiencia de una actividad, la intensidad de un impacto o el avance en un objetivo específico.

Estos indicadores se pueden presentar como emisiones relativas o específicas de GEI que expresan un impacto por unidad de actividad o unidad de valor. Por Ejemplo: toneladas de CO₂ equivalentes por tonelada de residuos tratados.



Gestionar la Incertidumbre

Capítulo 5: Cómo Gestionar la Incertidumbre

5.1 En el protocolo EpE sobre la cuantificación, notificación y verificación de emisiones de GEI (Capítulo 5 del protocolo «REGES») se facilita un método simplificado para calcular la incertidumbre global. La organización puede consultarlo para hacer el cálculo.

5.2 Sin embargo, para el caso de la gestión de residuos el cálculo de las emisiones ofrece resultados con un cierto grado de dispersión. Los motivos para que exista dicha imprecisión en el cálculo son:

- La mayoría de los métodos de tratamiento de residuos se basan en procesos complejos (principalmente biológicos) para los que es difícil alcanzar el mismo nivel de precisión que en otros sectores industriales.
- Los métodos de tratamiento de residuos son interdependientes.
- Algunas emisiones son difusas y, por lo tanto, se estiman mediante modelos teóricos.
- Los residuos tratados muestran composiciones heterogéneas, por lo que es imprescindible un enfoque estadístico, que introduce un sesgo importante en el resultado. Se pueden utilizar factores estándar, cuya precisión es desconocida.

»» Incertidumbre en inventarios de emisiones de GEI

5.3 Por su naturaleza, los inventarios, la evaluación y la recogida de datos conllevan incertidumbres. Es necesario evaluar dicha incertidumbre e incluirla en el informe de emisiones de GEI. El objeto no es cuestionar la validez de los datos del inventario, sino determinar su nivel de fiabilidad. Además ayuda a identificar posibles áreas de mejora en la precisión de los informes y a tomar decisiones en la elección de la metodología y en su aplicación.

5.4 Las organizaciones suelen notificar sus emisiones totales mediante una única cifra con un margen de error explícito o implícito. Por ejemplo, en lugar de notificar unas emisiones totales de 125.000 toneladas de CO₂ equivalente es más preciso notificar que «las emisiones totales están entre las 115.000 y las 135.000 toneladas» o «las emisiones totales son de 125.000 toneladas, más o menos el 10%». El grado de incertidumbre variará mucho para las distintas estimaciones de emisiones

en función del tipo de fuente, del método de cálculo utilizado y del esfuerzo realizado en la recopilación y validación de los datos.

»» Fuentes de incertidumbre

5.5 Existen muchas fuentes de incertidumbre para las emisiones totales de gases de efecto invernadero, incluso cuando se usan las mejores metodologías de cálculo disponibles:

- Estimación para compensar algunos datos no disponibles (por ejemplo, centros que no notifican, facturas de combustibles perdidas).
- Mediciones imprecisas de las actividades que producen emisiones.
- Errores y omisiones de cálculos.
- Uso de factores de emisión «promedio» que no se corresponden exactamente con las circunstancias.
- Simplificación de la estimación de las emisiones en procesos complejos.
- Uso de factores de emisión aproximados.

»» Recomendaciones para reducir la incertidumbre

5.6 Aunque la incertidumbre es inherente a la elaboración de los inventarios de emisiones de GEI, la organización debe aspirar a reducirla y a mantener la incertidumbre residual en el mínimo posible.

5.7 Para ello, debe aplicar los siguientes principios:

- Garantizar que se utilizan los instrumentos de análisis y medición, así como todos los medios necesarios para elaborar un inventario de GEI, más adecuados y reconocidos por el sector.
- Implementar un programa de mantenimiento preventivo y calibración de los instrumentos de análisis y medición, con el apoyo de procedimientos y registros que eviten una posible desviación de los instrumentos. Estos documentos tienen que archivarse, y, si es necesario, mostrarlos al verificador.
- Implantar procedimientos internos de control que serán archivados como registros (véase más abajo), así como un proceso de validación de la gestión para la organización que realiza el informe.

- Garantizar la coherencia en el proceso de cuantificación de las emisiones de GEI, en los métodos utilizados y en la presentación de informes a lo largo de los años.

- Examen de la coherencia de los datos calculados con los datos de actividad.
- Validación de los cálculos por una tercera parte dentro de la organización.

»» Controles internos

5.8 La organización tendrá que implementar los controles internos necesarios para reducir el riesgo de errores significativos a un nivel aceptable. Estos controles, que estarán documentados y formalizados. Podrían ser, por ejemplo:

- Comprobación de la coherencia de los datos notificados año tras año.
- Revisión del orden magnitud de los datos notificados.

»» Valores estándar de incertidumbre

5.9 La siguiente tabla recoge las incertidumbres asociadas a los instrumentos que normalmente utilizan las instalaciones de gestión de residuos y los datos introducidos en el cálculo de emisiones de GEI. La tabla es orientativa y se ha elaborado con la información proporcionada por expertos de Veolia Environmental Services, Séché Environnement y Suez Environment.

Tipo de aparato/ medida	Ejemplos de uso	Tipo de incertidumbre	Observaciones
Caudalímetro	Medición de caudal del gas natural utilizado para instalaciones de incineración	2%	Medición comercial o integrada en un enfoque de mantenimiento preventivo. No se puede utilizar el valor del fabricante. Hay que tener en cuenta el uso real y las condiciones de mantenimiento. Se recomienda archivar los certificados de calibración y los documentos de mantenimiento y control.
	Medición del gas del vertedero capturado	5 - 10%	Los instrumentos y la medición no comercial se usan para el control de las operaciones diarias. Sólo mantenimiento correctivo.
	Mediciones del flujo de gases de chimenea en incineradoras	5 - 10%	Las condiciones de operación son difíciles debido a la situación del caudalímetro, variabilidad del flujo medido y hay riesgo de fallo del equipo.
Puente báscula	Determinar las toneladas de residuos recogidos, tratados o reciclados	2%	Medición comercial o integrada en un programa de mantenimiento preventivo. Se recomienda archivar los certificados de calibración y los documentos de control del mantenimiento.
Niveles de los tanques	Trazado visual del nivel de los tanques de los combustibles líquidos adicionales	10%	Incertidumbre debida a la imprecisión de los métodos que determinan el nivel de los tanques de aceite doméstico o combustible.
Analizador	Determinar el contenido de CO ₂ de los gases de chimenea utilizando los aparatos in situ	5 - 10%	Las condiciones de operación son difíciles (localización), el riesgo de fallo es frecuente. En cualquier caso, los analizadores deben superar unos controles normativos estrictos.
	Determinar el contenido de carbono del combustible usando analizadores de laboratorio (cromatografía de gases)	5%	Aparatos que requieren mantenimiento preventivo y calibración periódica. Se recomienda archivar los documentos de control de mantenimiento. Es necesario establecer una frecuencia de muestreo que garantice la representatividad de los valores medidos y documentar la elección de dicha frecuencia.

5.10 Además, estos principios de incertidumbre se aplican únicamente a los datos de medición y análisis. Por ello dichos principios no pueden aplicarse

a la modelización que se realiza para estimar las emisiones de metano en vertederos.

Verificación

Capítulo 6: Verificación

6.1 Se recomienda que el inventario anual de emisiones de gases de efecto invernadero sea verificado por una tercera parte.

» Alcance de la verificación

6.2 El objetivo de la verificación es evaluar:

- Que se ha desarrollado un protocolo interno y que cumple con estas directrices (incluyendo la verificación del principio de integridad de los tipos de fuentes que se consideran en el listado de tipo de fuentes).
- Que los datos notificados no tienen discrepancias significativas (validación de las emisiones de GEI e incertidumbre asociada a cada tipo de fuente).

» Discrepancia significativa en las emisiones anuales

6.3 El verificador debe incluir la cantidad y la naturaleza de los errores en la valoración de la materialidad. Por ejemplo, una omisión relativamente pequeña o un error repetido frecuentemente, al acumularse, podría tener un impacto significativo en la cifra total de emisiones. Un verificador evaluará la materialidad de cualquier inexactitud, así como el total de discrepancias no corregidas.

De ahí que los verificadores tengan en cuenta cualquier omisión o error que pueda llevar a discrepancias significativas en las cifras anuales.



Anexo 1: Potenciales de Calentamiento Global

Gas	Potencial de Calentamiento Global (horizonte temporal de 100 años) ¹
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310

Los Potenciales de Calentamiento Global (PCG) que se utilizan en la herramienta de cálculo de Excel son los propuestos en el segundo informe del IPCC (Directrices del IPCC para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, versión revisada en 1996 - Manual de Referencia - Volumen 3). Estos son los PCG que se han utilizado en el marco del Protocolo de Kioto y en los mecanismos de sus proyectos asociados.

A pesar de las revisiones periódicas por parte del IPCC se acordó su uso hasta el año 2012 (fin del periodo de aplicación del protocolo). Además, se decidió utilizar estos valores de PCG para que fueran coherentes con los valores del Protocolo de Kioto.

1. Directrices del IPCC para Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, versión de 1996 - Manual de Referencia (Volumen 3) - Versión en inglés: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invst.htm>

Anexo 2

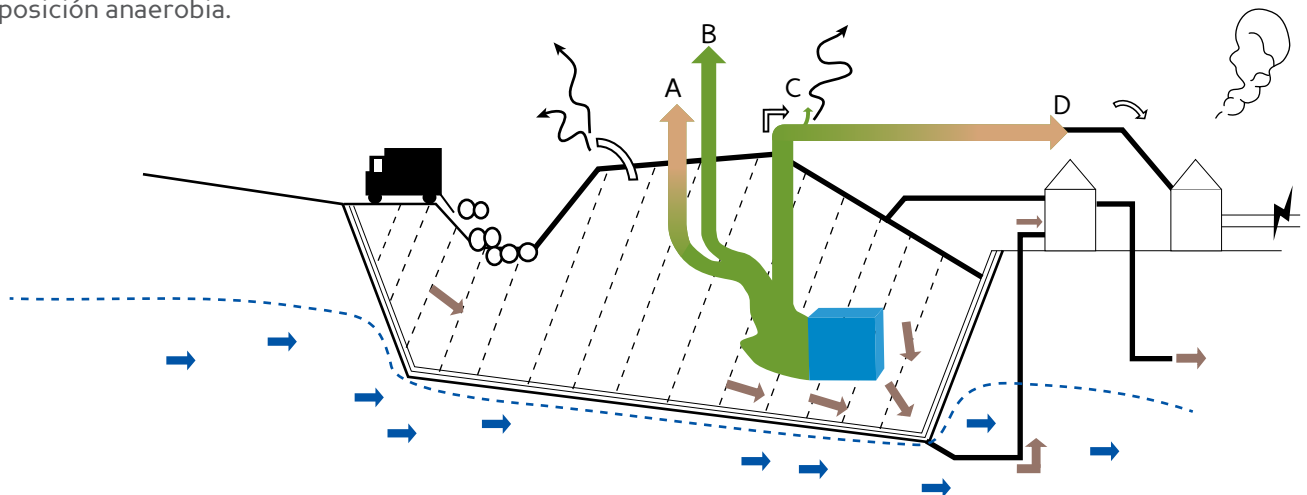
Anexo 2: Análisis comparativo de los Modelos de Emisión de Gases en Vertedero

Contexto - visión general de fuentes de emisión

Los vertederos son una de las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en el sector de la gestión de residuos. La eliminación de residuos en vertedero genera gas debido a su descomposición. Este gas de vertedero básicamente está compuesto por CO_2 y CH_4 y, en menor proporción, por N_2 , O_2 , H_2S , CO , NH_3 , H_2 y COV. El dióxido de carbono proviene de la descomposición aerobia de los componentes orgánicos de los residuos, y el metano de la descomposición anaerobia.

En la actualidad la mayoría de los vertederos cuentan con sistemas de recuperación del gas producido en las celdas. Su eficiencia puede variar entre el 10% y más del 90%. Los gases recuperados se pueden eliminar en una antorcha o utilizarse para producir electricidad o calor. Sin embargo, una proporción de los gases producidos no son recuperables y pueden convertirse en emisiones fugitivas, que llegan a la atmósfera después de atravesar la cubierta de las celdas, y tras sufrir un proceso de oxidación parcial.

El siguiente esquema muestra las distintas fuentes de emisión (fuente: EAA 2005):



A: El gas se oxida dentro de la capa de cubrición y migra a la atmósfera: únicamente CO_2 .

B: Difusión del gas de vertedero a la atmósfera: CO_2 y CH_4 .

C: Fuga en el sistema de recogida de gas del vertedero: CO_2 y CH_4 .

D: Eliminación o valorización del gas en una turbina o en una caldera: CO_2 .

Además, hay que tener en cuenta que la vida de un vertedero atraviesa distintas fases y que en cada una de ellas las condiciones para la formación de gas son distintas:

1. **Celda operativa:** condiciones aerobias, sin recuperación de gas de vertedero.
2. Celda completa pero **sin cubrir:** condiciones aerobias y anaerobias, importante difusión a la atmósfera, y sin recuperación óptima de gas.
3. **Celda sellada:** condiciones aerobias y anaerobias, recuperación óptima de gas de vertedero, se reduce la difusión del gas a la atmósfera.

La cantidad de gas producida por un vertedero (y, por tanto, la cantidad de gases de efecto invernadero) y su composición dependen de varios factores. Los principales son:

- La cantidad de residuos vertidos.
- La edad de los residuos vertidos.
- La composición de los residuos vertidos.¹
- Las condiciones físico-químicas ambientales (humedad, temperatura, pH, etc.).
- La eficiencia del sistema de recogida del gas del vertedero.
- El tipo de cubierta.

1. Este factor es muy variable entre regiones (hábitos alimentarios, eficiencia en la separación de residuos, etc.). Explica las discrepancias significativas que se pueden observar entre los modelos de distintos países.



Los gases de efecto invernadero capturados se calculan mediante la lectura de los caudalímetros del sistema de recogida de gas y analizando su composición. Sin embargo, calcular las emisiones difusas tiene sus limitaciones debido a la dificultad de determinar en campo, la cantidad de gas emitido a la atmósfera. De hecho, se pueden hacer mediciones de las emisiones difusas, pero su ejecución es cara, compleja y no del todo precisa.

Para solucionar este problema, diversas investigaciones han desarrollado modelos que permiten estimar las emisiones de gas de los vertederos. A continuación se presenta una relación de estos modelos y un análisis comparativo de los principales. La modelización de las emisiones generadas en un vertedero es un ejercicio complejo que requiere tener en cuenta numerosos factores.

➤ Modelos existentes

Diversidad de modelos

Existen varios modelos para determinar las emisiones de los vertederos, cuyos objetivos y complejidad varían considerablemente. En este caso nos interesan los modelos que permiten realizar una estimación de la producción de gas, para poder evaluar las emisiones de gas de efecto invernadero.

Los modelos basados en cálculos teóricos requieren como datos de entrada la cantidad de residuo depositada en el vertedero. Según su precisión, distinguimos:

- **Modelos de grado «0» (nivel I del IPCC):** los métodos utilizados requieren factores de emisión y tienen en cuenta las toneladas vertidas en el año del cálculo. Como recurren a los valores estándar, no tienen en cuenta la complejidad de las condiciones específicas del vertedero y sirven, más bien, para hacer cálculos estimados, normalmente a nivel nacional o regional. Por ello, no permite alcanzar la precisión necesaria para el cálculo de emisiones que se considera necesario en este protocolo.
- **Modelo de 1^{er} grado (nivel II del IPCC):** estos modelos tienen en cuenta el historial de llenado del vertedero o el promedio de entradas anuales y su vida útil (años). Se basan en ecuaciones cinéticas de primer grado, y son más o menos complejas, dependiendo de si tienen en cuenta el gas de vertedero recuperado, la oxidación del metano a través de la cubierta u otros tipos de parámetros. Los modelos más sofisticados (conocidos como multifase) distinguen varios tipos de residuos según la velocidad a la que se degradan.

Los modelos de nivel II del IPCC más utilizados en la bibliografía son el modelo Landgem (desarrollado por la EPA Americana, Agencia de Protección de Medio Ambiente Americana), GasSim (desarrollado por la Administración británica) y el modelo de ADEME en Francia.

Contexto específico del PRTR europeo

La aplicación del Registro Europeo de Emisiones y Fuentes Contaminantes (PRTR europeo), que sustituyó en 2006 al Registro Europeo de Emisiones Contaminantes (EPER), aceleró el desarrollo de modelos de estimación de emisiones nacionales de GEI para vertederos.

De conformidad con el Reglamento 166/2006 del Parlamento Europeo y el Consejo (conocido como PRTR europeo), las actividades registradas en el anexo I de la Directiva IPPC (sobre prevención y control integrado de la contaminación) que sobrepasen los umbrales establecidos en el anexo I del Reglamento PRTR europeo deben declarar sus emisiones contaminantes a las autoridades competentes. Los vertederos pueden entrar en la categoría 5c «Instalaciones para la eliminación de residuos no peligrosos (>50t/día)» o en la categoría 5d «vertederos (>10t/día)».

Como se establece en el PRTR, los Estados Miembros deben recopilar los datos procedentes de los centros sujetos a declaración y remitirlos a la Comisión Europea. Cada Estado Miembro puede elegir el modelo que utilizará para evaluar las emisiones.

Modelos nacionales utilizados para el PRTR europeo

A continuación se relacionan los modelos usados por los Estados Miembros dentro de la Unión Europea (fuente: PRTR europeo, 2004):

País	Modelo utilizado	Breve descripción
Alemania	Modelo nacional	Orden 0 – adaptación del modelo de nivel I del IPCC + algunos elementos del nivel II para las emisiones de CH ₄
Austria	2 modelos (nacionales) dependiendo de si los residuos son fracción resto (metodología de Tabasaran y Rettenberger) o no (metodología de Marticorena).	Orden 1 – tiene en cuenta las emisiones históricas. Deduce el gas de vertedero capturado, la oxidación en cubierta - 2 tipos de residuos (media vida de 1-20 y 20-100 años).
Bélgica	Modelo nacional	Orden 1, basado en el nivel II del IPCC - Deduce el gas de vertedero capturado, la oxidación en cubierta - solo 1 tipo de residuos.
Dinamarca	<i>Sin datos disponibles</i>	
España	<i>Sin datos disponibles</i>	
Finlandia	Adaptado al modelo de nivel 2 del IPCC	Modelo del IPCC: orden 1 con un cambio en el factor de corrección del metano.
Francia	Modelos nacionales (ADEME) - un modelo del tipo de nivel 2 y otro basado en el gas de vertedero capturado.	1º modelo: orden 1 - gas de vertedero capturado, oxidación en cubierta - 3 categorías de residuos y 4 categorías de edad de los residuos 2º modelo: orden 0 – utiliza la eficiencia del sistema de recogida y la cantidad de gas de vertedero capturado.
Grecia	<i>Modelo de nivel 1 del IPCC</i>	Orden 0
Irlanda	LandGem (USEPA)	Orden 1 - solo 1 categoría de residuo; tiene en cuenta la oxidación en cubierta y el gas de vertedero capturado. - Se creó para modelizar la producción de gas de vertedero y no las emisiones difusas.
Italia	<i>Tomado del modelo de nivel 2 del IPCC</i>	Orden 1
Luxemburgo	<i>Sin datos disponibles</i>	
Holanda	2 modelos nacionales (TNO)	Los 2 modelos son de orden 1 - Tienen en cuenta el gas de vertedero capturado y la oxidación en cubierta. La diferencia entre los 2 modelos radica en el número de categorías de residuos; 1 o 3. El gobierno utiliza estos modelos TNO para presentar informes, pero los gestores de vertederos utilizan otros modelos, desarrollados por consultores.
Portugal	LandGem (USEPA)	<i>Véase Irlanda</i>
Reino Unido	Modelo nacional (GasSim)	Orden 1 - tiene en cuenta la oxidación al atravesar la cubierta y deduce la recuperación según las características de la cubierta - 3 categorías de residuos
Suecia	<i>Sin datos disponibles</i>	

Fuera del alcance del PRTR europeo y del modelo desarrollado por la EPA Americana (véase más abajo), Noruega también ha desarrollado un modelo nacional de descomposición de primer orden, que tiene en cuenta varios tipos de residuos almacenados.

» Comparación de los principales modelos

A continuación se presenta una comparación de los modelos más utilizados, que incluso se utilizan fuera de su país de origen:

- Modelo de ADEME (Francia, modelo nacional para PRTR europeo).
- GasSim (Reino Unido, modelo nacional para PRTR europeo).
- LandGem (USA, modelo de la EPA).
- Modelo de nivel II del IPCC (referencia internacional).

Metodología de modelización

Todos los modelos estudiados se basan en una ecuación cinética de primer orden del siguiente tipo:

$$Q_{CH_4} = L_o \cdot M \cdot k \cdot e^{-k(t-x)}$$

Donde:

Q_{CH_4} : Cantidad de metano producida por año (Nm_3 /año).

L_o : potencial de generación de metano ($Nm_3 CH_4$ / t de residuos).

M: toneladas de residuos vertidos (t).

k: constante cinética (año⁻¹).

x: año en el que se depositaron los residuos.

t: año del inventario de emisiones ($t \geq x$).

Esta fórmula es la ecuación principal del modelo. L_o y M dependen de "x". En ocasiones el resultado se expresa por categorías de residuos, puesto que los valores de L_o , M y k dependen de las categorías de los residuos.

Dependiendo de los modelos, también se pueden tener en cuenta otros parámetros como la captura de gas de vertedero, la oxidación a través de la cubierta, factores físico-químicos, etc.

En la siguiente tabla se resumen las principales características técnicas (datos por defecto*) de los diversos modelos (fuente: Ogor y Guerbois 2005).

	Nivel II IPCC	LandGem (EPA) (8)	GasSim	ADEME
Tipo de modelo	Monofase (1)		Multifase (6)	
Datos de entrada	Histórico de las toneladas de residuos vertidos + % de los residuos inertes		Histórico de las toneladas de residuos vertidos + % de la composición de los residuos	
Potencial de generación de metano L_o	110 (no tiene en cuenta los residuos inertes) (5)	170 (no tiene en cuenta los residuos inertes)	Calculado automáticamente	(2) Rápido: 88 Medio: 44 Lento: 0
Constante cinética k	Determinada por el usuario	0,05	Rápido: 0,016 Medio: 0,076 Lento: 0,046	Rápido: 0,50 Medio: 0,10 Lento: 0,04
Eficiencia en la captura de biogás	Calculado (índice de captura / producción teórica)	Calculado (índice de captura / producción teórica) - máximo del 85%	Calculado (índice de captura / producción teórica)	(3) Promedio de la eficiencia de captura, según el tipo de cubierta
Entradas debido a la captura	Promedio del flujo de metano capturado durante el año			(4) superficie de cada tipo de cubierta
Oxidación (7)	10%	10%	Calculado automáticamente	10%

(*) En la mayoría de modelos, el usuario puede modificar estos factores (L_o , k, etc.) para representar mejor las condiciones reales de los vertederos modelizados.

(1) Los términos multifase o monofase se refieren a si el modelo tiene en cuenta uno o varios tipos de residuos. Para LandGem, los expertos consultados han mencionado su utilización en multifase.

(2) Tiene en cuenta que ADEME considera que durante el primer año la producción de metano es cero (condiciones aerobias) – los factores iniciales son 100, 50 y 0 respectivamente.

(3) Las eficiencias de captura utilizadas son: sin captura (0%), si la zona operativa está conectada a una unidad de combustión (35%), cubierta semipermeable (65%), cubierta impermeable natural (85%) y geomembrana (90%).

(4) ADEME ha desarrollado una segunda propuesta. Utiliza las mismas tasas de captura que en los modelos teóricos pero la aplica a la producción medida.

(5) La metodología de nivel II no establece ningún valor para el potencial de generación de metano, pero indica un método de cálculo en función de la calidad de los residuos vertidos. El valor recogido en la tabla, y utilizado en un estudio interno de VEOLIA PROPRETÉ, se calculó suponiendo una composición del 25% de residuos putrescibles y un 30% de papel y textil, pero se tiene que adaptar a cada instalación.

(6) 3^{er} categorías de residuos: altamente degradables, moderadamente degradables e inertes. Para los residuos altamente y moderadamente degradables se consideran 3 constantes cinéticas (rápido, medio, lento) que se asocian al 15, 55 y 30% de residuos, respectivamente.

(7) La velocidad de oxidación se aplica sólo al metano no capturado.

(8) Parámetros AP42. Parámetros utilizados para la notificación según la normativa de calidad del aire de Estados Unidos (Clean Air Act, CAA)

Facilidad de uso

Todos los modelos muestran cierta complejidad¹ y requieren tiempo para conocerlos a fondo, para poder utilizarlos en las mejores condiciones posibles y conseguir una imagen precisa de las características de un vertedero. Los modelos de ADEME y GasSim se consideran los más complejos porque los de la EPA y del IPCC sólo tienen en cuenta un tipo de residuos. Además, las ecuaciones utilizadas por GasSim están integradas en el software de cálculo y, a diferencia de otras herramientas, son inaccesibles para los

usuarios.

Se ha llegado a la conclusión de que en todos los modelos, es fundamental saber modificar los factores clave del modelo (sobre todo, la composición de los residuos y la constante cinética) para adaptarlos a las condiciones específicas de cada instalación. Este trabajo tiene que formar parte de una planificación a largo plazo, que hace de la constancia un objetivo principal a la hora de elegir el modelo.

Además, con toda seguridad, los datos de mediciones disponibles (medidas de gas capturado y medidas de emisiones difusas) son una fuente de mejora y fiabilidad para la determinación de los parámetros del modelo utilizado.

Coherencia de los resultados

Se realizaron diferentes estudios para comparar los distintos modelos y aplicarlos en los vertederos típicos. Los resultados obtenidos varían considerablemente y muestran la extrema complejidad de la modelización (los resultados son muy sensibles a la variación de factores, sobre todo de k y L_0). Además, cabe destacar la dificultad para medir las emisiones difusas de metano; los distintos métodos utilizados, en los estudios comparativos, pueden mostrar desviaciones muy importantes.

Con el fin de resolver esta dificultad metodológica, se debería evaluar el rendimiento de los modelos comparando las estimaciones de **producción total de metano** realizadas por cada uno de ellos con la cantidad de **metano capturada**. Inevitablemente, esta comparación introduce una desviación, debido al gas de vertedero no capturado, pero cuando la captura de gas en la salida es alta, permite validar el orden de magnitud de los resultados obtenidos por los modelos.

Un estudio de este tipo muestra que:

- Cuando se hacen pruebas en varios vertederos aparecen tendencias generales: algunos modelos (EPA, Nivel II) predicen sistemáticamente producciones mayores que otros (GasSim, Ademe). Las estimaciones varían en casi **el doble unas de otras**, independientemente del vertedero.
- Sin embargo, las estimaciones de **producción total de gas hechas por los modelos, a veces, están por debajo de la cantidad de gas capturado** (y, por lo tanto, por debajo de la cantidad de gas de vertedero que realmente se produce).

La comparación entre los resultados estimados para las emisiones difusas de metano y sus

1. Nota: el término "complejidad" aquí se refiere a la concepción y uso del modelo (datos de entrada necesarios, tipos de cálculo empleados, etc.). La complejidad del modelo y de los métodos de cálculo no están necesariamente asociadas a la precisión de los resultados finales.

mediciones in situ es mucho más aleatoria, y no se encuentra fácilmente una regla general:

- En función del tipo de medición, las emisiones difusas pueden variar entre 1 y 10
- Para los modelos que calculan la diferencia entre la medida del metano capturado y el estimado, el resultado, a veces, es negativo y, por lo tanto, incoherente. ADEME solventó este problema haciendo una propuesta única (estimar la tasa de captura) y la EPA definiendo en su modelo un umbral de tasa de captura del 85%.
- Cuando los resultados no son negativos no es posible identificar tendencias: los resultados de estos modelos varían significativamente, tanto si comparamos los resultados de los distintos modelos, como los modelos con las mediciones en campo.
- La incertidumbre para las emisiones medidas es mucho más alta que para la producción teórica.

» Conclusiones

Conclusión general

El resultado de este estudio es que, por su propia naturaleza y salvo que se instalen costosos aparatos de control de emisiones, la mejor forma de estimar las emisiones difusas es utilizar modelos de emisiones.

La modelización es un ejercicio difícil, debido a la variedad de factores físicos, químicos y, sobre todo, biológicos que rigen el proceso de degradación de los residuos. No obstante, existen varios modelos que intentan simular las condiciones reales de los vertederos.

Por lo tanto:

- El uso de modelos es decisivo para evaluar las emisiones difusas.
- Entre todos los modelos, únicamente los de grado 1 pueden tener en cuenta los factores que tienen un impacto en la producción de gas de vertedero. Por lo tanto, se aconseja dar prioridad a estos modelos y evitar los de orden 0 (o modelos que usan factores de emisión estándar).
- Hay que recordar que el uso de estas herramientas implica un alto nivel de incertidumbre, difícil de evaluar, y que no se puede comparar con el que se puede alcanzar en el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero en otras instalaciones industriales.
- Los modelos existentes se crearon para reflejar ciertas condiciones e incluyen factores estándar que se pueden adaptar. Cada uno tiene sus ventajas e inconvenientes y pueden mostrar grandes variaciones en

sus resultados. Por lo que debido a la propia naturaleza del ejercicio de modelización, no se recomienda un modelo concreto. Sin embargo, se recomienda utilizar el modelo aceptado por las autoridades locales para los informes emitidos en cumplimiento de la legislación. Si no existe un modelo aceptado localmente, la organización deberá utilizar un modelo que esté publicado, aceptado y disponible en la bibliografía técnica y científica y adaptar los parámetros del modelo para reflejar la situación concreta de su emplazamiento. La elección del modelo, así como la adaptación de los parámetros, deberá estar documentada y justificada.

- Puesto que hay que adaptar los parámetros del modelo, la organización tendrá que garantizar que cada año utiliza el mismo modelo, salvo que existiese otro que represente mejor la situación de los vertederos.

Validez de los modelos

- Con los conocimientos actuales, es imposible validar los resultados obtenidos por los modelos para las emisiones difusas y proponer una estimación de su incertidumbre.
- La evaluación de la producción total de metano parece coherente cuando se comparan los distintos modelos y las mediciones de gas capturado. Los resultados pueden tener una incertidumbre de +/- 50%.
- No parece realista establecer una clasificación en función de los resultados de cada modelo por dos motivos principales:
 - Las incertidumbres debidas a todo el ejercicio de modelización son demasiado importantes.
 - Existe una gran sensibilidad de los resultados asociada a los factores de entrada (sobre todo k y L_0), de tal modo que los resultados obtenidos para un sólo modelo pueden tener muchas variaciones. Además, no parece pertinente utilizar un modelo que sólo haya utilizado valores por defecto; se debe considerar una herramienta básica que se debe perfeccionar para que refleje la situación local.

On the long term, methane production potential is a crucial parameter since it will influence directly the total cumulated methane production from a landfill. It is therefore important to make sure that these parameters' values are consistent from one model to another,
- A largo plazo, el potencial de producción de metano es un parámetro crucial porque influye directamente en la producción total de metano acumulado de un vertedero. Por ello, es muy importante garantizar la coherencia de los valores de estos parámetros entre modelos.

- La oxidación del metano por su paso a través de la cubierta se ha fijado en el 10% en casi todos los modelos, de acuerdo con las recomendaciones del IPCC. Sin embargo, es difícil validar esta hipótesis con precisión.
- Se recomienda que el usuario convierta los resultados de producción de gas de vertedero en Nm₃, para disponer de una base de comparación constante con otros emplazamientos.

Recomendaciones de uso

- Los modelos multifase son más precisos para la modelización de los mecanismos bioquímicos y deberían permitir a los centros obtener una imagen más precisa de sus emisiones.
- El modelo de ADEME (en ambas versiones) es interesante dado que propone una estimación de la cantidad de gas de vertedero difuso para todos los casos, a diferencia de otros modelos. Este modelo se creó para mostrar la evolución de un vertedero durante 30 años.
- La medición del gas de vertedero capturado sigue siendo, con diferencia, el dato más preciso, por lo tanto no debe despreciarse esta información. Sin embargo, hoy en día no existe ningún método para evaluar la eficiencia del sistema de recogida (o la eficiencia en la cubierta).
- La correcta utilización de estos modelos de estimación de emisiones en vertedero requieren de amplios conocimientos y experiencia (debido a la gran sensibilidad de los datos de entrada). Además, la precisión de los resultados depende en gran medida del conocimiento que se tenga del vertedero que se pretende modelizar (porcentaje de carbón biogénico, edad de los residuos, eficiencia del sistema de recogida), y de los de criterios culturales (alimentación, hábitos de separación residuos). Por ello se recomienda que el personal operativo trabaje en estrecha colaboración con los responsables del cálculo de las emisiones en la organización. La organización debería proporcionar los elementos indicativos pertinentes sobre los parámetros de entrada y realizar un control de coherencia de los datos calculados, e incluso hacer el cálculo usando datos procedentes de mediciones en campo.
- Se debe considerar la «gestión» de las constantes del modelo en función de los resultados medidos (emisiones difusas y capturadas), puesto que es la clave para mejorar sus resultados. Pero se debe realizar con extremo cuidado:
 - Se debe considerar la «gestión» de las constantes del modelo en función de los resultados medidos (emisiones difusas y

capturadas), puesto que es la clave para mejorar sus resultados. Pero se debe realizar con extremo cuidado:

- Para no sobreestimar el resultado del sistema de captura, provocando una reducción de las emisiones difusas (lo que llevaría a equiparar la producción total de metano con la cantidad de metano capturado).
- Técnicamente, las mediciones de metano difuso son inciertas y se deben realizar en las mejores condiciones posibles para garantizar que los resultados sean representativos.
- Es recomendable actualizar los parámetros cada año, para tener en cuenta las variaciones de las características de los residuos.

» Referencias

- Entrevistas con expertos de ADEME, CTEPA, ETC/RWM, Centro Temático Europeo sobre Recursos y Gestión de Residuos, VEOLIA PROPRETÉ, SITA y SECHE ENVIRONNEMENT.
- ADEME: Calculation tool of emissions to air of CH₄, CO₂, SO_x, NO_x from waste storage sites and comparable – user manual (2003).
- COWI, 2000, A Study on the Economic Valuation of Environmental Externalities from Landfill Disposal and Incineration of Waste, Final Appendix Report for the European Commission.
- E-PRTR: Supporting Document for the determination of diffuse methane emissions from landfill sites (2004).
- European Environment Agency: Waste Management in Europe and the Landfill Directive – Background paper from the ETC/RWM to the ETC/ACC workshop 'Inventories and Projections of Greenhouse Gas Emissions from Waste' (2005).
- GIEC: Tier 2 method, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Emission Greenhouse Gas Inventories – Manual de referencia.
- JACOBS J., SCHARFF H.: Comparison of methane emission models and methane emission measurements (2004).
- OGOR Y., GUERBOIS M., "Comparison of Landfill Methane Emission Models: a Case Study", Actas de Cerdeña 2005, X Conferencia Internacional de Vertederos y Gestión de Residuos, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italia, 3-7 de octubre de 2005.
- UK Environment Agency: GasSIM – landfill gas risk assessment tool (2002).
- USEPA: LandGEM User's Manual Landfill Gas Emissions Model - Version 2.0 (1998).
- Taller sobre Inventarios y proyecciones de emisiones de gases de efecto invernadero a partir de residuos – Organizado por la Agencia Europea de Medio Ambiente – Copenhague (Dinamarca), 2-3 de mayo de 2005.
- http://airclimate.eionet.eu.int/docs/meetings/050502_GHGEM_Waste_WS/meeting050502.html

Anexo 3: Secuestro de Carbono en Vertederos y Suelos después de Esparcir Compost

1. Antecedentes sobre el secuestro de carbono

1.1. Definiciones

Se considera que el carbono está «almacenado» cuando se retira del ciclo global de carbono durante largos periodos de tiempo.

El carbono está presente en la atmósfera en estado gaseoso, sobre todo, en forma de gases de efecto invernadero (principalmente dióxido de carbono). El almacenamiento de carbono, ya sea natural (fotosíntesis, absorción por el océano) o artificial

(fabricación de productos de origen biogénico), ayuda a reducir la cantidad de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Por lo tanto, colabora positivamente en la mitigación del cambio climático.

1.2. El secuestro de carbono en la gestión de residuos

¿Qué papel juega exactamente el sector de la gestión de residuos en el secuestro de carbono? En realidad están implicadas dos actividades: el vertido y el esparcimiento de compost. Ambas contribuyen al secuestro de carbono, concretamente prolongan este fenómeno (véase la figura 1) y, en este sentido, hacen el papel de sumideros de carbono.

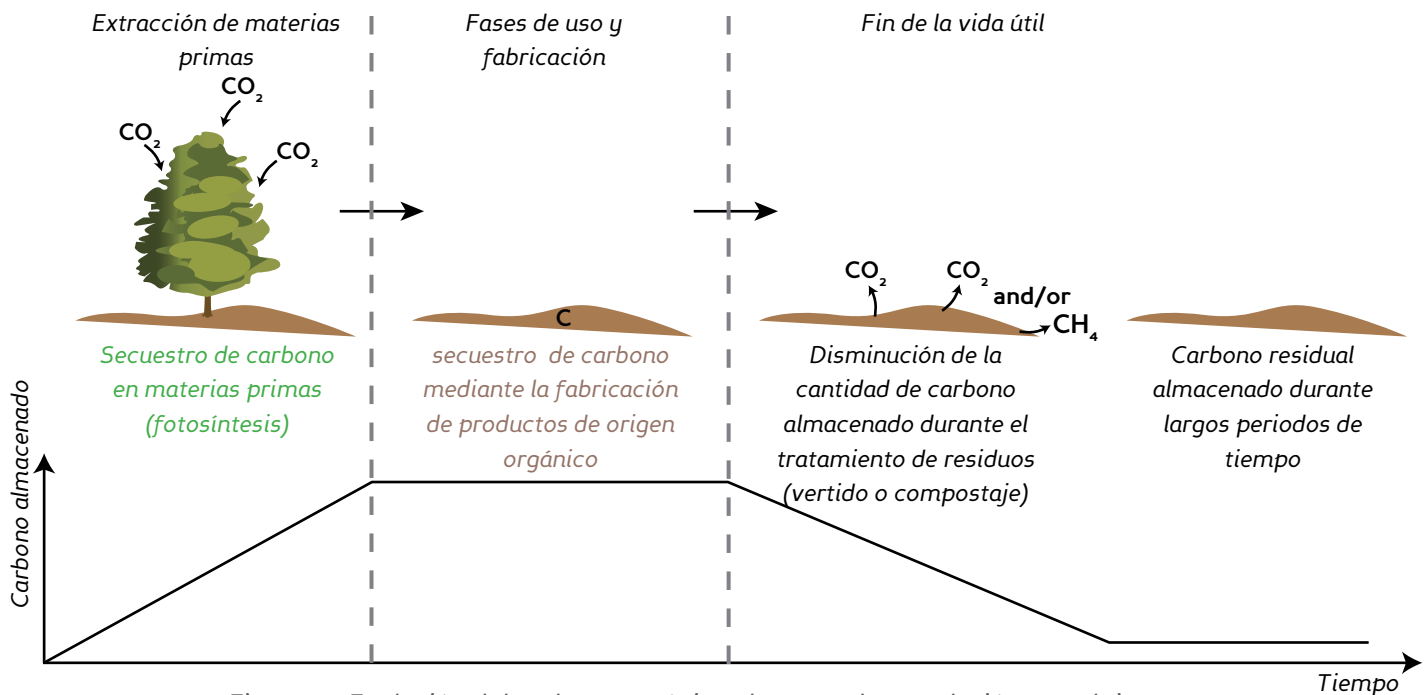


Figura 1 – Evolución del carbono orgánico almacenado en relación con el tiempo

Los residuos orgánicos y el compost contienen materia orgánica que fijó carbono durante la producción de la materia prima (mediante fotosíntesis) y la transformación y uso de dicha materia (por ejemplo, fabricación de tableros de madera). Mediante el depósito en vertederos o el compostaje, la materia orgánica contenida en este tipo de productos se descompone y parte de su carbono se emite en forma de CO_2 y CH_4 a la atmósfera.

Sin embargo, parte de la materia orgánica no se descompone por completo, o lo hace muy lentamente, y parte de su carbono permanece en el suelo.

En los vertederos, la madera y el papel se descomponen muy lentamente y se almacenan durante largos periodos de tiempo. La tasa de descomposición de otro tipo de residuos varía en función del tiempo. La lignina presente en la madera no se descompone del todo debido a las condiciones anaerobias. La celulosa y la hemicelulosa se descomponen, pero el grado de

1. Este factor es muy variable entre regiones (hábitos alimentarios, eficiencia en la separación de residuos, etc.). Explica las discrepancias significativas que se pueden observar entre los modelos de distintos países.

su descomposición depende de las condiciones ambientales en el vertedero (por ejemplo, humedad y pH). Además, la presencia de lignina dificulta la degradación de algunas celulosas y hemicelulosas.

Del mismo modo, tras la aplicación **de compost**, parte del carbono presente en compost no se mineraliza sino que queda retenido en el suelo. De hecho, la materia orgánica estable tarda entre 100 y 1.000 años en descomponerse de esta manera, la fracción de carbono queda atrapada en el suelo durante largos periodos.

En ambos casos, el resultado es que la fracción de carbono biogénico contenido en el compost/residuos orgánicos permanece almacenada en los suelos.

1.3. El Carbono biogénico vs el carbono fósil

El secuestro de carbono sólo afecta al carbono biogénico.

Existen dos ciclos de carbono orgánico diferentes: el ciclo de corto plazo (carbono biogénico) y el ciclo de largo plazo (carbono fósil).

- El carbono biogénico está relacionado con el ciclo de carbono orgánico de corto plazo, el cual muestra las interacciones del carbono con la atmósfera y la biosfera. En primer lugar, las

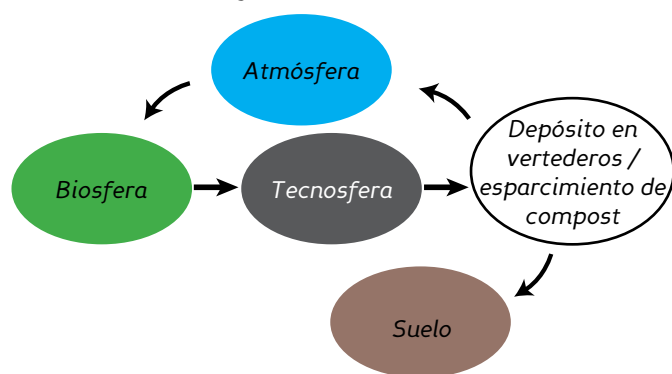
plantas verdes absorben carbono, en forma de CO_2 , durante su crecimiento (fotosíntesis) y lo almacenan temporalmente. Posteriormente, cuando las plantas se descomponen, se vuelve a emitir como CO_2 . Si consideramos una biosfera en la que mientras unas plantas se descomponen otras están creciendo, y el CO_2 emitido por las primeras es absorbido por las que crecen, como resultado tenemos una situación de equilibrio en el ciclo del carbono.

- El carbono fósil está relacionado con el ciclo del carbono orgánico de largo plazo. En lugar de descomponerse, parte de la materia orgánica se entierra y se incorpora en los sedimentos o depósitos de combustibles fósiles. Este proceso es muy lento, ya que se prolonga a lo largo de periodos geológicos (miles de millones de años). El tiempo de permanencia del carbono en las reservas geológicas se estima en más de 200 millones de años.

En la figura 2 se describe el impacto del depósito en vertederos y del esparcimiento de compost, tanto en el ciclo del carbono fósil como en el del carbono biogénico. Demostrando que:

- En el caso del carbono biogénico, el vertido y la incorporación de compost al suelo agrícola evitan las emisiones de carbono, porque aumentan el secuestro de carbono en el suelo.
- Mientras que en el caso del carbono fósil, el vertido no tiene ningún impacto. No evita ninguna emisión de carbono, ya que el carbono fósil, extraído inicialmente del suelo, sencillamente vuelve al suelo.

Ciclo del carbono biogénico



Ciclo del carbono fósil

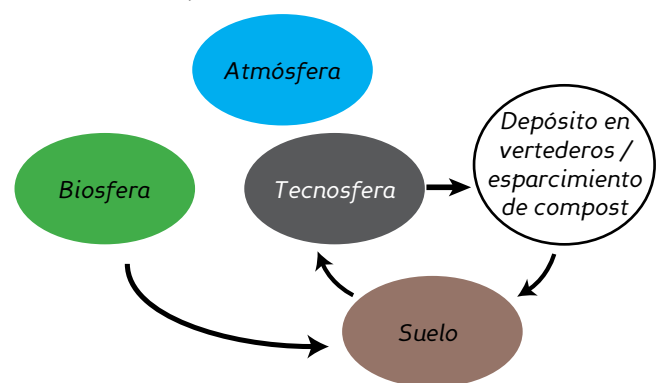


Figura 2 – El Ciclo del carbono biogénico vs el ciclo del carbono fósil
El tamaño de las flechas no es proporcional a las cantidades de carbono implicadas.

2. Estimación del carbono secuestrado

Desde el punto de vista del balance de masas, el secuestro de carbono se puede considerar una emisión negativa.

Se ha acordado que el carbono biogénico sólo se considerará secuestrado cuando se haya almacenado durante más de 100 años.

Las emisiones evitadas se calculan convirtiendo las toneladas de carbono secuestrado en toneladas de dióxido de carbono evitadas, multiplicando por la relación del peso molecular del dióxido de carbono entre el carbono (44/12).

2.1. Estimación del secuestro de carbono en vertederos

A continuación se presentan cinco planteamientos para estimar al carbono secuestrado por los vertederos:

IPCC 2006

Como se propuso en las Directrices del IPCC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero de 2006, el secuestro de carbono en vertederos se estima y se notifica dentro del Inventario del Sector de Residuos, pero se contabiliza en el Inventario de Agricultura, Silvicultura y otros Usos de la Tierra. Las directrices del sector de residuos explican cómo estimar la cantidad de carbono biogénico que se almacena a largo plazo en vertederos.

$$COD_{m \text{ almacenado a largo plazo } T} = W_T \times DOC \times (1 - DOC_f) \times MCF$$

(Ecuación 1)

W_T : masa de residuos depositados en el año T (Gg).

COD: carbono orgánico degradable depositado en el año (Gg C/Gg residuos)

COD_f: fracción de COD que se puede descomponer en las condiciones anaerobias en el vertedero.

MCF: factor de corrección de CH₄ durante el año de deposición.

El carbono secuestrado se puede calcular multiplicando el COD_{m almacenado a largo plazo T} por 44/12.

Si se usa la ecuación 1 se debe utilizar el modelo de Residuos del IPCC para estimar las emisiones de metano, de este modo se garantizará la coherencia entre la cantidad de carbono secuestrado calculado

Tabla 1 – Factores de almacenamiento de carbono (FAC) del estudio de SWICS

	Cantidad de carbono almacenado tCeq/tonelada húmeda	Emisiones de CO ₂ evitadas tCO ₂ eq/tonelada húmeda
<i>Papel y cartón</i>		
Cartón corrugado recuperado	0.24	0.89
Papel de prensa usado	0.40	1.46
Papel de oficina	0.04	0.16
Papel estucado, revistas y correo con tarifa económica	0.25	0.93
<i>Alimentos</i>		
	0.02	0.08
<i>Residuos de jardinería</i>		
Hierba	0.08	0.28
Hojas	0.28	1.01
Ramas y madera	0.34	1.25
<i>Residuos sólidos urbanos</i>		
15% humedad	0.10	0.36
20% humedad	0.10	0.36
25% humedad	0.09	0.32

y la cantidad de metano emitido que se incluye en el informe de emisiones.

EPA de EE.UU. 2006

En su estudio titulado *Solid Waste Management and Greenhouse Gases, A Life Cycle Assessment of Emissions and Sinks* (Gases de Efecto Invernadero y Gestión de Residuos Sólidos, Análisis del Ciclo de Vida de Emisiones y Sumideros) (2006), la EPA estima el secuestro de carbono que se producirá al depositar en vertederos los residuos orgánicos, en base a los experimentos realizados por el Dr. Morton Barlaz de la Universidad Estatal de Carolina del Norte en 1998. Los factores de almacenamiento de carbono (FAC) se actualizaron en 2008 (véase la tabla 1).

SWICS 2009

SWICS- Solid Waste Industry for Climate Solutions- desarrolló su propia propuesta para el secuestro de carbono en el estudio titulado *Current MSW Industry Position and State-of-the-Practice on LFG Collection Efficiency, Methane Oxidation, and Carbon Sequestration in Landfills*, versión 2.2, revisada en enero de 2009. Esta propuesta también se basa en el trabajo de investigación realizado por el Dr. Morton Barlaz y la EPA. SWICS propone los siguientes valores de almacenamiento de carbono para los residuos depositados en vertederos, teniendo en cuenta la actualización realizada por el Dr. Morton Barlaz en 2008:

PROGNOS 2008

PROGNOS propone factores de emisión para el vertido de la fracción resto, con y sin contabilizar la absorción de carbono. En sus cálculos, PROGNOS consideró que la absorción de carbono es de 300 kg CO₂ equivalente por tonelada de residuo vertido.

RECORD 2008

En 2008, RECORD —una red francesa abierta a todas las organizaciones públicas o privadas que permite que la industria, los organismos públicos y los investigadores participen en proyectos conjuntos de investigación— ha publicado un estudio titulado Application of the Bilan Carbone method to waste management activities en el que se hace un análisis bibliográfico de los factores de almacenamiento de carbono, y cuyos resultados se presentan a continuación

Tabla 2 – Factores de almacenamiento de carbono del informe RECORD

	Cant. de carbono almacenado (TCeq/tonelada húmeda)	Emisiones de CO₂ evitadas TCO₂eq/tonelada húmeda	Fuente
<i>Papel</i>			
Periódicos	0.391	1.43	EPA de los EE.UU. 2006
Papel de oficina	0.046	0.17	EPA de los EE.UU. 2006
Revistas	0.245	0.90	EPA de los EE.UU.2006
Papel mezclado	0.200	0.73	EPA de los EE.UU. 2006
Papel	0.147	0.54	ERM 2006
Papel/Periódicos	0.214	0.78	AEA 2001
Periódicos/Revistas	0	0.00	Fridriksson 2002
Otros papeles	0	0.00	Fridriksson 2002
Periódicos	0.229	0.84	Finnveden 2000
Papel	0.235	0.86	Lobo et al. 2006
<i>Valor selec. por RECORD</i>	<i>0.198</i>	<i>0.73</i>	
<i>Cartón</i>			
Cartón corrugado	0.245	0.90	EPA de los EE.UU. 2006
Cartón corrugado	0.207	0.76	Finnveden 2000
Cartón mezclado	0.161	0.59	Finnveden 2000
Cartón	0.234	0.86	Lobo et al. 2006
<i>Valor selec. por RECORD</i>	<i>0.224</i>	<i>0.82</i>	
<i>Desechos alimentarios</i>			
Desechos alimentarios	0.024	0.09	EPA de los EE.UU. 2006
Desechos alimentarios	0.064	0.23	ERM 2006
Desechos alimentarios	0.038	0.14	AEA 2001
Desechos alimentarios y de jardín	0	0.00	Fridriksson 2002
Desechos alimentarios	0.06	0.22	Finnveden 2000
Desechos alimentarios	0.069	0.25	Lobo et al. 2006
<i>Valor selec. por RECORD</i>	<i>0.036</i>	<i>0.13</i>	
<i>MSW</i>			
<i>Valor selec. por RECORD</i>	<i>0.063</i>	<i>0.23</i>	

2.2. Estimación del secuestro de carbono en suelos tras incorporar compost

A continuación se presentan tres propuestas para calcular el secuestro de carbono por la incorporación de compost al suelo agrícola.

EPA de los EE.UU. 2006

En su estudio titulado "Solid Waste Management and Greenhouse Gases, A Life Cycle Assessment of Emissions and Sinks" (2006), la EPA explica que sus investigaciones no arrojaron información importante que permitiese desarrollar estimaciones cuantitativas del beneficio del compost en el secuestro de carbono en el suelo. Por lo tanto, se decidió usar un modelo de simulación aplicable al secuestro de carbono en el suelo debido a la aplicación de compost. CENTURY es un modelo, en lenguaje Fortran, del sistema planta-suelo que simula

las dinámicas del carbono, el nitrógeno, el fósforo y el azufre a largo plazo. Hace un seguimiento del movimiento del carbono, considerando las reservas del suelo, y muestra los cambios en los niveles de carbono debido al compost. Además la EPA tiene en cuenta el impacto del compost en la formación del humus. De hecho, señala que algunos estudios en los que se emplearon materia orgánica de origen agrícola y ganadero (estiércol de granja y leguminosas) para hacer compost indicaron que la adición de esta materia orgánica al suelo puede incrementar su potencial de secuestro de carbono orgánico.

La EPA propone los siguientes factores de almacenamiento de carbono para la aplicación de compost, que tienen en cuenta tanto el secuestro de carbono debido a la regeneración del suelo como a la formación de humus.

Tabla 3 - Factores de almacenamiento de carbono del informe de EPA

	Carbono secuestrado en el suelo TCO ₂ eq/ tonelada residuos
Residuos de alimentos	0,26
Residuos de jardinería	0,26
Residuos orgánicos mezclados	0,26

AEA Technology 2001

En su estudio titulado "Waste Management options and climate change" (2001) encargado por la Comisión Europea a la empresa consultora AEA Technology analiza el fenómeno del secuestro de carbono en suelos cuando se aplica compost y propone una cuantificación. Según este estudio, el **8,2% del carbono presente en el compost quedaría secuestrado al cabo de 100 años.**

utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions in Waste management & research (volumen 27, número 8, noviembre de 2009).

En él proponen la siguiente fórmula para calcular las emisiones evitadas de CO₂ gracias al secuestro de carbono:

$$CO_{2, fijación} = C_{entrada} \times C_{fijación} \times 44/12$$

CO_{2, fijación}: absorción de CO₂ (kg)
 C_{entrada}: C contenido en compost (kg)
 C_{fijación}: fracción de C que es estable

PROGNOS 2008

La empresa consultora PROGNOS propone factores de emisión para la producción de compost procedente de bioresiduos y su aplicación contabilizando la absorción de carbono y sin contabilizarla. En sus cálculos, PROGNOS considera un porcentaje de almacenamiento de carbono del 24%, correspondiente a 52 kg de CO₂ equivalente por tonelada de bioresiduos recogidos y compostados.

El artículo recuerda que, según distintos estudios, el **C retenido en el suelo después de 100 años se ha estimado en un 2-14% de la aportación de compost, dependiendo del tipo de suelo y de la rotación de cultivos.**

Boldrin A. et al 2009

A. Boldrin et al, del Departamento de Ingeniería Ambiental de la Universidad Técnica de Dinamarca, y E. Favoino, de la Suola Agraria del Parco di Monza publicaron un artículo titulado Compost and compost

Tabla 4 – Factores de almacenamiento de carbono del artículo de Boldrin A. y Favoino E.

	Contenido de carbono (kg/tonelada húmeda)	Carbono retenido en el suelo (kg/tonelada húmeda)	Emisiones de CO ₂ evitadas TCO ₂ eq/tonelada húmeda
Compost procedente de residuos alimentarios	63-386	1-54	4-198
Compost de residuos de jardinería	56-202	1-28	4-103

»» 3. Opinión de EpE relativa a la incorporación del secuestro de carbono en el Protocolo

El secuestro de carbono en vertederos y suelos ha sido y continúa siendo una cuestión de debate que requiere más investigación.

Cuando se plantea presentar informes anuales, como en el caso del Protocolo EpE, es difícil tener en cuenta el secuestro de carbono porque se están enfrentando dos horizontes temporales. Por un lado, el secuestro de carbono casi siempre se basa en un horizonte de 100 años, mientras que, por otro lado, el periodo de tiempo para presentar los informes suele ser de un año. Sin embargo, este carbono, que sólo se considerará secuestrado si queda almacenado durante más de 100 años después de su disposición en el suelo, está presente en el suelo desde el primer año.

Además, es importante adoptar una opinión que sea coherente con el planteamiento considerado para las emisiones de metano de vertederos. En el EpE Protocol, se tienen en cuenta las emisiones generadas en el año n (año de notificación) debidas a los residuos vertidos hasta ese año; y no se tienen en cuenta las emisiones generadas en el año n y posteriores, originadas por los residuos vertidos durante el año de notificación.

La postura de EpE para el secuestro **de carbono en vertederos y suelos mediante la incorporación de compost**, sería informar sobre el carbono almacenado sólo si está disponible (por ejemplo, si la organización ha empleado un modelo de descomposición de primer orden que calcule dicho secuestro, como el modelo del IPCC). **En ningún caso se debe restar este carbono secuestrado a las emisiones directas o presentarlo como emisiones evitadas en el inventario de las organizaciones que notifican.**



» Bibliografía

- [Barlaz 1998] Barlaz, M.A., 1998. Carbon storage during biodegradation of municipal solid waste components in laboratory-scale landfills. *Global Biochem. Cycles* 12(2): 373-380.
- [Barlaz 2008a] Barlaz, M.A., 2008. Correction to Previously Published Carbon Storage Factors, memoria de 28 de febrero de 2008.
- [Barlaz 2008b] Barlaz, M.A., 2008. Correction to Previously Published Carbon Storage Factors for Mixed Municipal Waste, memorándum de 27 de octubre de 2008.
- [USEPA 2006] USEPA, 2006. Solid Waste Management and Greenhouse Gases: A Life-Cycle Assessment of Emission and Sinks.
- [IPCC 2006] IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volumen 5 Waste, Capítulo 3, "Solid Waste Disposal provides a methodology for estimating changes in carbon stored in solid waste disposal sites (landfills), which is reported as an information item in the Waste Sector" (Veáse también el volumen 4, AFOLU, Capítulo 12, Harvested Wood Products).
- [SWICS] Solid Waste Industry Climate Solutions Group (SWICS). Recommended Protocol for Estimating Greenhouse Reductions Due To Landfill Carbon Storage and Sequestration.
- [SWICS 2009] Solid Waste Industry Climate Solutions Group (SWICS), 2009. Current MSW Industry Position and State-of-the-Practice on LFG Collection Efficiency, Methane Oxidation, and Carbon Sequestration in Landfills, Version 2.2, revisada en enero de 2009, SCS Engineers para SWICS.
- [Boldrin et al. 2009] Boldrin A., Andersen J.K., Moller J., et al. 2009. Composting and compost utilization: accounting of greenhouse gases and global warming contributions.
- [RECORD, 2008] RECORD, 2008. Application de la méthode Bilan Carbone® aux activités de gestion des déchets, 133 pp., n.º 07-1017/1A.
- [ERM 2006] Fisher, K., Aumonier, S. 2006. Impact of Energy from Waste and Recycling Policy on UK Greenhouse Gas Emissions, ERM for DEFRA.
- [Finnveden 2000] Finnveden G., Johansson J., Lind P., Moberg A., 2000. Life Cycle Assessment of Energy from Solid Waste.
- [PROGNOS 2008] PROGNOS en colaboración con INFU, 2008. Resource savings and CO2 reduction potential in waste management in Europe and the possible contribution to the CO2 reduction target in 2020.
- [Fridriksson 2002] Fridriksson GB, Johnsen T, Bjarnasóttir HJ, Slentnes H, 2002. Guidelines for the use of LCA in the waste management sector. Nordtest Project Nr. 1537-01.
- [Lobo et al.2006] Lobo et al., 2006. Applications of simulations models to the diagnosis of MSW landfills: an example.



Anexo 4

Anexo 4: Compostaje - Factores de Emisión de N₂O y CH₄¹

Factores de emisión homogeneizados para emisiones directas de N₂O

Fuente	Factor de emisión g N ₂ O/t peso húmedo	Factor de emisión kg CO ₂ e / t	% de N inicial	Metodología	Substrato
ADEME05	24 [2.4-59.1]	7.3 [0.7-18.4]		Revisión de bibliografía Por defecto [min-max]	Residuos biológicos
	210 [10.5-262]	65 [3.2-81.3]			RSM
Baro2	158	49			Residuos biológicos
Beco1	7.15	2	0.02	Mediciones en reactores	Residuos verdes
	149.5	46	0.4		
	210.6	65	0.6		
CITEPA07	189	58.6			
Clo3	15	5		Mediciones in situ	RSM
	400	124			
ERMo6	165	51			Papel, cartón, residuos de parque
He98	232	72	0.5	Mediciones in situ	Residuos verdes
	1247.52	77	0.4	Mediciones en reactores	
	382	118	0.7		
Hereso7	69 [40-100]	21.4 [12.4 - 31]		Por defecto [min-max]	Residuos de jardines, fruta y vegetales (JFV)
IPCCo6b	300 [60-600]	93 [18.6-185]		Por defecto [min-max]	

Valores recomendados

Factores de emisión homogeneizados para emisiones directas de CH₄

Fuente	Factor de emisión g CH ₄ /t peso húmedo	Factor de emisión kg CO ₂ e / t	Metodología	Substrato
ADEME05	1240 [310-6190]	26 [6.5-130]	Revisión de bibliografía Por defecto [min-max]	RSM (65% seco)
CITEPA07	952	20		Residuos biológicos
Clo3	400	8	Mediciones in situ	RSM
	1200	25		
	10000	210		
ERMo6	30.3	0.64		Papel, cartón, residuos de parque
He98	6760	142	Mediciones in situ	Residuos verdes
Hereso7	170 [80-300]	3.6 [1.7-6.3]	Por defecto [min-max]	Residuos de jardines, fruta y vegetales (JFV)
IPCCo6b	4000 [30-8000]	84 [0.63-168]	Por defecto [min-max]	

Valores recomendados

1. Factores encontrados en la bibliografía, y recopilados gracias a un estudio de BIO Intelligence Service realizado en 2007.t



Anexo 5

Anexo 5: Bibliografía

» Bibliografía general

- The Greenhouse Gas Protocol – A Corporate Accounting and Reporting Standard – Edición revisada - 2004 - WBCSD / WRI – www.GHGprotocol.org
- Revised 1996 IPCC Guidelines for national Greenhouse Gas Inventories. 2000 IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.
- Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 2003 por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad.
- Directiva 96/61/CE del Consejo de 24 de septiembre de 1996 relativa a la prevención y al control integrado de la contaminación.
- Decisión de la Comisión de 29 de enero de 2004 por la que se establecen directrices para el seguimiento y la notificación de las emisiones de gases de efecto invernadero de conformidad con la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.
- 2000/479/CE: Decisión de la Comisión, de 17 de julio de 2000, relativa a la realización de un inventario europeo de emisiones contaminantes (RETC) con arreglo al artículo 15 de la Directiva 96/61/CE del Consejo relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación (IPPC) (notificada con el número C(2000) 2004).
- Arrêté de 28 de julio de 2005 del Ministerio de Ecología francés¹ y desarrollo sostenible relativo a la verificación de la cuantificación de emisiones declaradas en el marco del régimen comunitario de comercio de derechos de emisión.
- Guía metodológica relativa al control de las declaraciones de emisiones de GEI, elaborada por el Ministerio de Ecología y Desarrollo sostenible, en aplicación del artículo 62 del arrêté de 2 de febrero, modificada en 1998.
- ADEME Bilan Carbone² Método: www.ademe.fr/Outils/BilanCarbone.
- ISO 14064 – 1:2006; Gases de efecto invernadero - Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero.
- ISO 14064 – 2:2006; Gases de efecto invernadero

- Parte 2: Especificación con orientación, a nivel de proyecto, para la cuantificación, el seguimiento y el informe de la reducción de emisiones o el aumento en las remociones de gases de efecto invernadero.

- ISO 14064 – 3:2006; Gases de efecto invernadero - Parte 3: Especificación con orientación para la validación y verificación de declaraciones sobre gases de efecto invernadero.

» Bibliografía específica de la industria de residuos

- VEOLIA PROPRETÉ, Protocolo de medición y notificación (2009).
- Suez Environnement, Protocolo interno.
- Séché Environnement, Protocolo interno.
- Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 1996: Manual simplificado - Módulo 6: Desperdicios.
- UNFCCC, Consolidated baseline methodology for landfill gas project activities - ACM0001 (2004)
- E-PRTR: Supporting Document for the determination of diffuse methane emissions from landfill sites (2004).
- European Environment Agency: Waste Management in Europe and the Landfill Directive – Background paper from the ETC/RWM to the ETC/ACC workshop 'Inventories and Projections of Greenhouse Gas Emissions from Waste' (2005).
- CORINAIR, Emission Inventory Guidebook – Waste incineration (2001).
- AEA Technology, Waste management options and climate change, Estudio para la DG de Medio Ambiente, Comisión Europea (2001).
- COWI, A Study on the Economic Valuation of Environmental Externalities from Landfill Disposal and Incineration of Waste, Final Appendix Report for the European Commission (2000).
- European Commission – Joint Research Center, Integrated pollution prevention and control, Reference document on best available techniques for the waste treatments industry (BREF), agosto de 2005.

- ADEME: Calculation tool of emissions to air of CH₄, CO₂, SO_x, NO_x from waste storage sites and comparable – user manual (2003).
- Brinkmann (2004). Herziening levenscyclusanalyse voor GFT-afval, Brinkmann A.J.F., E.H.M. van Zundert, R.J. Saft, Grontmij/IVAM, De Bilt/Amsterdam, noviembre de 2004 (en neerlandés).
- Ewijk (2008). Environmental Analysis of VFG-Waste Digestion, publicación para ORBIT 2008 basada principalmente en [9], H.A.L. van Ewijk, IVAM UvA BV, Ámsterdam, agosto de 2008.
- FNADE, Guidelines for filling in the regulatory questionnaire relating to annual pollutant discharge to water, air, waste and the ground towards operators of incinerators of non dangerous wastes and wastes from health activities with infectious risk (2004).
- Heres (2007). Investigación que determina un indicador para plantas de compostaje de metano y gas hilarante (Onderzoek bepalen kentallen methaan en lachgas composteerbedrijven), R-J Heres, Tauw BV, Deventer, 22 de noviembre de 2007 (en neerlandés).
- LandGEM User's Manual Landfill Gas Emissions Model - Versión 2.0 (1998).
- Environment Agency, GasSIM - Landfill gas risk assessment tool (2002).
- US Environment Protection Agency, Solid Waste Management and Greenhouse Gases: A Life-Cycle Assessment of Emission and Sinks (2002).
- ATILH, Guideline for collecting annual data on CO₂ emissions et check possibilities of those emissions values (2002).
- P. Bajeat, L'effet de serre dans les filières de gestion des déchets ménagers – (Efecto invernadero en rutas de gestión de residuos domésticos); Seminario Ademe, 21 y 22 de noviembre de 2002.
- Prognos - IFEU (2008): Resource savings and CO₂ reduction potentials in waste management in Europe and the possible contribution to the CO₂ reduction target in 2020.
- Scharff H. et Jacobs J. Applying guidance for methane emissions estimation for landfills. Waste Management, volumen 26, número 4. Páginas 417-429.
- Gutierrez et al., Nitrous Oxide (N₂O) emissions from waste and biomass to energy plants, Waste manage Res. 2005:23:133-147.
- European Topic Center on Air and Climate Change Symposium proceedings, "Inventories and projections of greenhouse gas emissions from waste", 2-5 de mayo de 2005, Copenhague.

En el anexo 2 de "Análisis comparativo de modelos de emisiones de gases de efecto invernadero" se recogen referencias bibliográficas adicionales.





Asociación de Empresas Gestoras
de residuos y Recursos Especiales

Calle Orense, 8, 1º
E 28020 Madrid

<http://www.asegre.com>



Entreprises pour
l'Environnement