



**Universidad**  
Zaragoza

# Trabajo Fin de Máster

Cuantificación del potencial de producción de biogás.  
Valoración de los parámetros de influencia.

Autor

Alejandro José Rodríguez Rodríguez

Director/es

Francisco Moreno Gómez

Ingeniería / Escuela de Ingeniería y Arquitectura  
2013

## Cuantificación del potencial de producción de biogás. Valoración de los parámetros de influencia.

### Resumen:

La creciente población supone una creciente demanda de energía, de suelo y de alimento. Se propone en este documento una forma de paliar esa demanda energética con la ayuda de la creciente demanda alimenticia, en concreto la cárnica y toda aquella con origen animal, sea cual sea la especie animal. Para ello se aprovecha las secreciones y deyecciones animales para la obtención de una fuente energética, pudiéndose considerar tal, como una fuente renovable. Con ello no solo se adapta la industria animal al crecimiento actual, sino que se proporciona energía, la cual cada vez es más demandada y además se elimina la posible emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero tales como el  $\text{CH}_4$ . Con la tendencia a tornar la ganadería de extensiva a intensiva, se facilita la posibilidad de recoger y almacenar todas las deposiciones animales, ayudando a su uso en la dirección aquí planteada. El presente documento trata de describir las bases para un modelo matemático para la predicción del volumen de  $\text{CH}_4$  producido a partir de una cantidad de estiércol concreta. Para ello es necesario identificar unos factores que influyan en su generación y combinarlos de manera correcta, con el objetivo de lograr datos precisos.

Una vez diseñado el método de cálculo se procederá a su aplicación para la cabaña ganadera de España. Es importante tener en cuenta que los datos proporcionados pueden variar de la realidad, debido a la posibilidad de existir cabezas de ganado no censadas. Se obtendrá pues, una estimación de la potencial producción de biogás en España.

## ÍNDICE

1. Introducción
2. Métodos existentes
  - 2.1. Método 1
  - 2.2. Método 2
  - 2.3. Método 3
  - 2.4. Método 4
  - 2.5. Método 5
  - 2.6. Método 6
  - 2.7. Método 7
3. Elaboración del método propio
  - 3.1. Valoración de los parámetros de influencia
  - 3.2. Evaluación de la producción de estiércol
    - 3.2.1. Tipología animal y ratio de producción de estiércol
    - 3.2.2. Clasificación del tipo de explotación ganadera
  - 3.3. Producción de metano a partir del estiércol
    - 3.3.1. Tecnologías de gestión del estiércol
    - 3.3.2. Cuantificación de los sólidos volátiles
    - 3.3.3. Ratio de producción de metano
  - 3.4. Ecuación propia
4. Validación del método expuesto
5. Conclusiones
6. Bibliografía

## 1. Introducción

La situación actual de la economía de los países desarrollados ha dado origen a diferentes desajustes en cuanto al desarrollo sostenible de la sociedad. Uno de los principales problemas a los que se ven enfrentadas las administraciones de los distintos países, tanto de la UE como del resto de mundo, es el incremento en la generación de residuos. Las consecuencias de la intensiva explotación de recursos naturales para la generación de productos cuyo fin posterior, en un muy elevado porcentaje, es su disposición en vertedero, se ven reflejadas en los impactos sobre el terreno, tanto en ocupación como contaminación, y la emisión de gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global. Aunque los objetivos primordiales respecto a los residuos deban ser evitar su generación, la realidad es que la eliminación en vertederos es una práctica común, y no siempre en las condiciones adecuadas.

Con el fin de avanzar hacia una sostenibilidad en el uso de los recursos naturales, controlar y reducir las cantidades de residuos vertidos es una de las prioridades de las administraciones en materia de gestión de residuos. La principal preocupación es la liberación de contaminantes al territorio y gases de efecto invernadero a la atmósfera. En efecto, el cambio climático es uno de los mayores retos ambientales cuyas implicaciones obligan a tomar acciones para hacerle frente. Por lo tanto, es de gran importancia limitar los impactos que los vertederos y cualquier vertido generan al medio ambiente.

Además de la reducción en origen, todas las posibles soluciones a este problema pasan por optar por una mejor gestión de los residuos. Existen muchas alternativas de tratamiento, acogidas por los diferentes municipios, sujetas a las políticas e iniciativas que los rigen. La legislación europea<sup>1</sup> en materia de residuos establece requisitos, en relación a los criterios y procedimientos en contra del depósito de materiales que pueden ser reciclados y valorizados, como por ejemplo reducir los residuos municipales biodegradables destinados a vertedero al 75% de la cantidad total en peso de los residuos municipales biodegradables generados en 1995. Sin embargo, el éxito o fracaso de adoptar una de estas alternativas depende primordialmente de la naturaleza de la composición del residuo y, básicamente, del sistema de recogida y separado del mismo.

Ahora bien, dentro de este esquema es fundamental considerar que los residuos ganaderos pueden constituir recursos aprovechables, reduciendo con ello la extracción y el consumo de materias primas como son, productos para la elaboración de fertilizantes y combustibles fósiles para la generación de energía. De este modo, la optimización del ciclo total de materiales conlleva también ventajas económicas y sociales compatibles con un modelo de desarrollo sostenible. De éste modo toda explotación ganadera tendría asociada una revalorización de su producción, al considerar los residuos como una nueva materia prima.

La actual política de residuos de la UE gira en torno al principio de “jerarquía de residuos” (Figura 1), definida también en la Ley 22/2011 de residuos, que parte de la base de que la generación de residuos debe minimizarse y los generados deben reutilizarse, reciclarse o valorizarse, siendo el vertido la última opción y la más nociva para el medio ambiente.

---

<sup>1</sup> Directiva 99/31/CE del Consejo, de 26 de abril 1999, relativa al vertido de residuos. La Unión Europea establece requisitos técnicos estrictos para los residuos y los vertidos con el objeto de prevenir o reducir los efectos ambientales negativos del vertido de residuos.



Figura 1. Jerarquía de gestión de residuos

En general, la adecuada gestión de residuos, pasa por tomar acciones en la prevención de su generación y peligrosidad, además de fomentar la reutilización, el reciclaje y valorización una vez producidos, para minimizar los efectos que estos representan para el medio ambiente y la salud humana.

Siguiendo la jerarquía de gestión de residuos mencionada anteriormente (Figura 1), la valorización de los mismos, según la Ley 22/2011 de residuos, se define como: “cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales, que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función en la instalación o en la economía en general”. Asimismo, el Plan Nacional Integrado de Residuos 2007–2015, menciona la valorización de los residuos mediante, entre otros, la producción de biogás mediante la digestión anaeróbica.

La creciente preocupación por las consecuencias de los gases de efecto invernadero en el cambio climático, ha permitido el surgimiento de diferentes tecnologías de transformación de la materia orgánica residual (MOR). Sin embargo, ante el cambio de la coyuntura energética y económica, dichas tecnologías toman fuerza principalmente aquellas destinadas a la obtención de biocombustibles. Siendo que la cadena de tratamiento, desde la recogida de los residuos hasta su posterior valorización material (compost) o energética en forma de combustible sólido, líquido o biogás, debe ser viable económicamente para la comercialización de los sub-productos obtenidos, se debe tener en cuenta diferentes factores tecnológicos, de logística de recogida, transporte y distribución y, además, factores sociales.

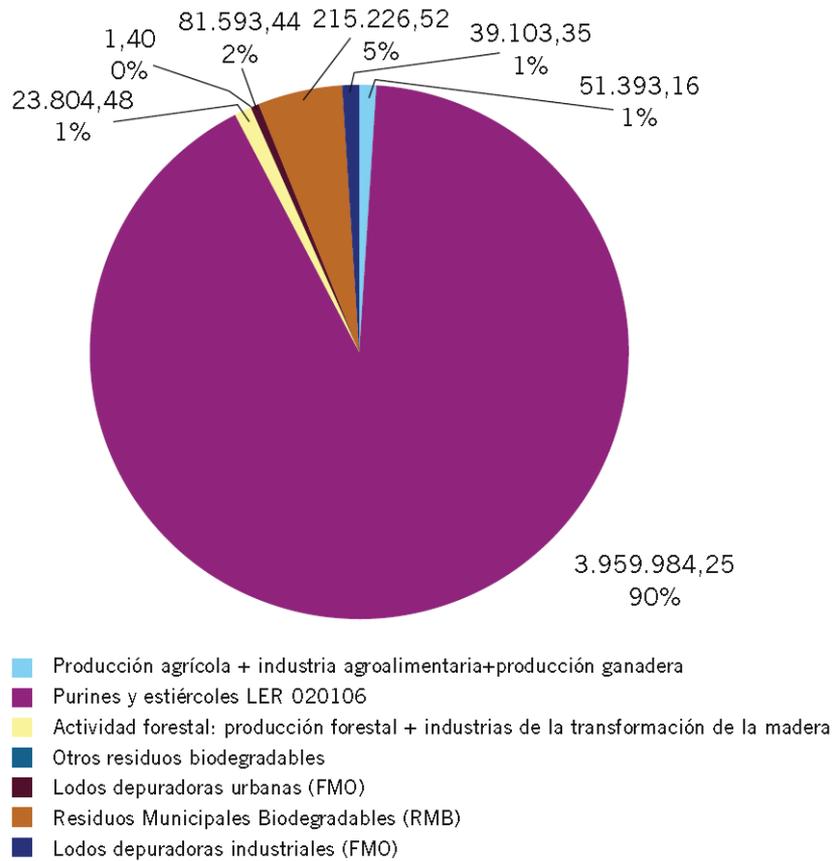


Figura 2. Distribución MOR (materia orgánica residual) por tipo de residuos en Aragón 2007 (t/año). Gira, Plan de Gestión Integral de Residuos de Aragón 2009-2015

De este modo proporcionando un uso a los residuos animales, convertimos un residuo en una fuente energética y una materia prima. Por un lado, proporcionamos un valor añadido a los residuos y por consiguiente a las propias explotaciones ganaderas y, por otro lado, evitamos la emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero tales como metano (CH<sub>4</sub>), gas con un potencial de efecto invernadero aproximadamente 22 veces superior al del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Además con estos tratamientos obtenemos un afluente de materia orgánica residual no tóxica, con una alta carga de fósforo [7]. El fósforo es un elemento usado, en concentraciones adecuadas, como componente principal de los fertilizantes [9], con lo cual el afluente residual, se convierte por sí mismo en un fertilizante debido a su alto contenido de este elemento llegando en ocasiones superar los 5 kg/m<sup>3</sup> [10]. Se debe considerar un uso sostenible del estiércol, teniendo en cuenta la capacidad de depurar, dicho material, del suelo sobre el que se aplique [16], ya que no un exceso de nutrientes resulta beneficioso para el suelo.

Se debe tener en cuenta que la producción ganadera, en especial la porcina, es señalada como una de las principales causantes de los principales problemas medioambientales, tanto a nivel global (efecto invernadero) como a nivel local (eutrofización, acidificación). El efecto invernadero producido por gases como el metano (CH<sub>4</sub>) o el amoníaco (NH<sub>3</sub>), y la eutrofización y la acidificación por acumulación de fósforo (P), materia orgánica, microorganismos, cobre (Cu), zinc (Zn), etc. [11]. El estiércol animal emite de entre un 3 a un 6% de las emisiones totales de CH<sub>4</sub> [12].

El proceso que aquí se plantea consiste en una recolección del material, que se pueda recolectar (en función de la ganadería intensiva o extensiva) y un tratamiento del mismo (digestión anaeróbica). Posteriormente se obtiene un biogás (con un contenido relativo de metano), el cuál es almacenado para su posterior uso o distribución (Figura 3). Según el IPCC en sus Directrices de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, en el Volumen 4, Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, en el capítulo 10 Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol, los pasos a seguir son los siguientes:

- Paso 1: recabar datos de la población a partir de la Caracterización de la Población de ganado
- Paso 2: emplear valores por defecto o desarrollar factores de emisión específicos del país para cada subcategoría de ganado en función de los kilos de metano por animal y año
- Paso 3: multiplicar los factores de emisión de las subcategorías de ganado por las poblaciones de las éstas para estimar la emisión de cada subcategoría, y sumar lo de todas las subcategorías para estimar la emisión total por especie de ganado primaria
- Paso 4: sumar las emisiones de todas las especies de ganado definidas para determinar las emisiones nacionales.

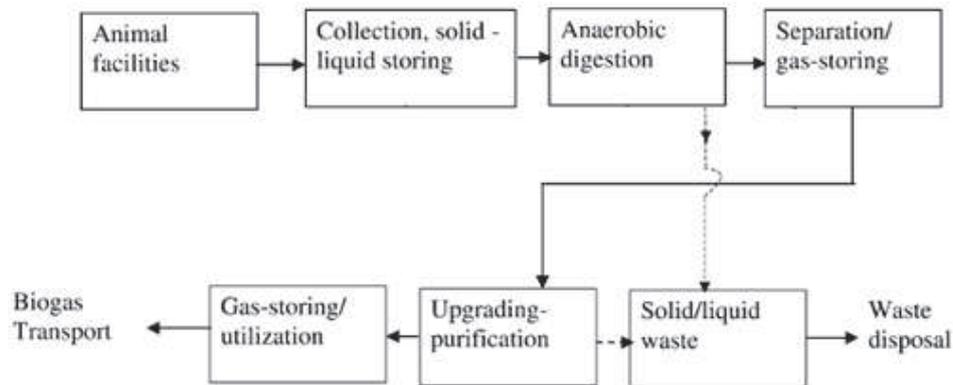


Figura 3. F.A. Batzias et al, (2005) Evaluating livestock manures for biogas production: a GIS based method

## 2. Métodos existentes

Actualmente existen diferentes métodos para la cuantificación de la potencial producción de biogás a partir de residuos animales. Estimando la emisión de metano ( $\text{CH}_4$ ) a partir de una cantidad específica de estiércol, considerando como tal la bosta y la orina conjuntamente, es necesario tener en cuenta el hecho evidente de la posibilidad de obtener una mayor fracción de sólidos volátiles a partir de purines, frente a los obtenidos de la bosta, debido a la alta humedad del primero. Esta estimación se hace bajo condiciones especiales, normalmente anaeróbicas.

Algunos métodos presentan formulaciones básicas que no tienen en cuenta todos los factores causantes de la emisión de biogás y por el contrario otros métodos tienen en cuenta excesivos factores que complican el cálculo. Es tarea imprescindible aplicar un método de cálculo preciso pero que sea de aplicación más o menos sencilla y directa, para ello es necesario tener en cuenta los principales factores influyentes en la emisión del biogás. Con el fin de evaluar cuales serían dichos factores, se ha procedido al estudio de diferentes métodos existentes, publicados por diversos autores.

### 2.1. Método 1

Gómez et al [1] realizaron un estudio básico del potencial de generación eléctrica a partir de residuos animales en España. Para ello cuantificar la producción de metano teniendo en cuenta factores de emisión (Ecuación 1) tales como la cantidad de residuo que es posible recolectar, la producción de residuo por cabeza y especie (Anexo-Figura 1).

$$P_{RG} = \sum_c \sum_a N_c^a R^a \eta^a S^a M^a \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- $P_{RG}$ : ratio de producción de metano ( $\text{Nm}^3 \text{CH}_4$ )
- N: número de animales de una misma especie
- R: producción de residuos del animal (kg/cabeza·año)
- $\eta$ : fracción de residuo que se pueda recolectar
- S: fracción de sólidos secos en el residuo (kg dry solid/kg residue)
- M: ratio de generación de  $\text{CH}_4$  del residuo ( $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{kg dry solid}$ )

Sin embargo Gómez et al. no tuvieron en cuenta factores propios del lugar, dando así por hecho una misma producción de biogás independientemente del lugar en cuestión. Sin tener en cuenta estos aspectos, se obtendrán resultados poco precisos.

### 2.2. Método 2

El IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) [2] ha realizado dos métodos de cálculo dependiendo de la profundidad en el cálculo.

Un primer método simplificado denominado Tier 1 (Nivel 1) para estimar las emisiones que sólo requiere los datos de la población de ganado por especie/categoría animal y del clima de la región o la temperatura, en combinación con los factores de emisión por defecto del IPCC. Dado que algunas emisiones de sistemas de gestión del estiércol dependen en gran parte de la temperatura, es una buena práctica estimar la temperatura anual promedio relacionada con los lugares donde se gestiona el estiércol.

Este primer método tiene su aplicación por regiones (Anexo-Figura 2-3-4) aplicando el factor EF (Ecuación 2), aplicando así un factor generalizado para el ganado, sin tener en cuenta edades, sexos, etc, por lo que la división tipológica se omite.

$$CH_{4 \text{ Estiércol}} = \sum_{(T)} \frac{(EF_{(T)} \cdot N_{(T)})}{10^6} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- $CH_{4 \text{ Estiércol}}$ : cantidad de metano contenida en el estiércol ( $\text{Gg CH}_4 \cdot \text{año}^{-1}$ )
- $EF_{(T)}$ : factor de emisión de  $\text{CH}_4$  de cada tipo animal ( $\text{kg CH}_4 \cdot \text{cabeza}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ )
- $N_{(T)}$ : número de cabezas de ganado por cada categoría y tipo de animal

**2.3. Método 3**

El segundo método denominado Tier 2 (Nivel 2) [2], más complejo, está destinado a estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> producidas por la gestión del estiércol donde una especie/categoría de ganado en particular represente una parte significativa de las emisiones de un país. Este método requiere información detallada sobre las características de los animales y las prácticas de gestión del estiércol, la que se emplea para desarrollar factores de emisión específicos para las condiciones del país. Para ello se calcula el término EF de la Ecuación 2, tal y como se indica en la Ecuación 3, que tiene en cuenta cada tipo animal, dividiendo por categoría, edad y sexo, además tiene en cuenta las temperaturas de la zona en cuestión, el sistema de manejo del estiércol, etc., pero para el cálculo de la capacidad de producción máxima de metano por cada categoría animal, aplica unas tablas y unos métodos de cálculo que resultan largos y complicados, posibilitando un error en el cálculo.

$$EF_{(T)} = (VS_{(T)} \cdot 365) \cdot \left[ B_{o(T)} \cdot 0,67 \text{ kg / m}^3 \cdot \sum_{S,k} \frac{MCF_{S,k}}{100} \cdot MS_{(T,S,k)} \right] \quad \text{Ecuación 3}$$

**Donde:**

- EF: factor anual de emisión de metano para la población de ganado categoría T (kg/animal·año)
- VS: sólidos volátiles (kg/cabeza·día)
- Bo: capacidad de producción máxima de metano por cada categoría y tipo de ganado T (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg VS de las excretas)
- S: sistema de manejo del estiércol
- K: región climática
- MCF: factor de conversión de metano (%)
- T: tipo de ganado
- MS: fracción de generación de estiércol por cada categoría y tipo de ganado T, para cada sistema de manejo de estiércol S en la región climática k.

Los sólidos volátiles (VS) constituyen el material orgánico del estiércol animal y consisten en fracciones tanto biodegradables como no-biodegradables. El valor a aplicar en la Ecuación 3 es el del total de VS (tanto las fracciones biodegradables como las no-biodegradables) tal como las excreta cada especie animal, dado que los valores de Bo se basan en el total de VS que entra en los sistemas. La mejor manera de obtener las tasas diarias de excreción de VS es usando datos de fuentes de publicación nacional. Si no se dispone de las tasas diarias de excreción de VS, se puede estimar las específicas del país a partir de los niveles de ingesta alimentaria aplicando la Ecuación 4.

El contenido de VS del estiércol equivale a la fracción de la dieta consumida que no se digiere y que, por ende, se excreta como materia fecal y, que, combinada con las excreciones urinarias, constituye el estiércol. Los países deben estimar la ingesta de energía bruta (GE) y su fracción de digestibilidad, DE, en el proceso de estimar las emisiones entéricas de metano.

Una vez estimados estos valores, la tasa de excreción de VS se estima como sigue:

$$VS = \left[ GE \cdot \left( 1 - \frac{DE\%}{100} \right) + (UE \cdot GE) \right] \cdot \left[ \left( \frac{1 - CENIZA}{18,45} \right) \right] \quad \text{Ecuación 4}$$

**Donde:**

- VS: excreción de sólidos volátiles por día en base a materia orgánica seca (kg/día)
- GE: ingesta de energía bruta (MJ/día)

DE%: digestibilidad del alimento en porcentaje (p. ej., 60%) (Anexo-Figura 5)

(UE·GE): energía urinaria expresada como fracción de la GE. Habitualmente se puede considerar una excreción de energía urinaria de 0,04 GE para la mayoría de los rumiantes (reducir a 0,02 para rumiantes alimentados con 85% o más de grano en la dieta o para porcinos). Utilizar valores específicos del país si se dispone de ellos.

Ceniza: el contenido de ceniza del estiércol, calculado como fracción de la ingesta alimentaria de materia seca (p. ej., 0,08 para vacuno). Utilizar valores específicos del país si se dispone de los mismos.

18,45: factor de conversión para GE dietaria por kg de materia seca (MJ/kg). Este valor es relativamente constante en toda una gama de forrajes y de alimentos basados en granos que consume regularmente el ganado.

El cálculo de VS se complica al tener que obtener la ingesta de energía bruta diaria debido a la necesidad de calcular energía neta requerida por el animal para su mantenimiento, energía neta para la actividad animal, energía neta requerida para la preñez, etc... Debido a la complejidad del cálculo, el IPCC presenta valores estimados en las Figuras 6 a la 11 del Anexo.

La capacidad máxima de producción de metano del estiércol (**Bo**) varía según las especies y la dieta. El método preferido para obtener valores de medición de Bo es la utilización de datos de fuentes específicas del país, medidos con un método normalizado. Es importante normalizar la medición de la Bo, incluyendo el método de muestreo, y confirmar si el valor está basado en el total de VS excretado o de VS biodegradables, dado que el cálculo de Nivel 2 se basa en el total de VS excretado. Si no se dispone de valores de medición de Bo específicos del país, se suministran valores por defecto en las Figuras 6 a la 11 del Anexo.

En la Figura 12 del Anexo se suministran los factores de conversión de metano (**MCF**) por defecto para distintos sistemas de gestión del estiércol y según las temperaturas anuales promedio. Los MCF se determinan para un sistema específico de gestión del estiércol y representan el grado en el que se logra la Bo. La cantidad de metano generada por un sistema específico de gestión del estiércol se ve afectada por el grado en que se encuentren presentes las condiciones anaeróbicas, la temperatura del sistema y por el tiempo de retención del material orgánico en el sistema.

Estos valores por defecto pueden no incluir la variación potencialmente amplia entre las categorías definidas de los sistemas de gestión. Por lo tanto, de ser posible, deben desarrollarse MCF específicos por país que reflejen los sistemas específicos de gestión empleados en cada país o región en particular. Esto tiene una importancia especial para países con grandes poblaciones de animales o con múltiples regiones climáticas. En tales casos, si es posible, deben realizarse mediciones de campo para cada región climática a fin de reemplazar los valores de MCF por defecto. En las mediciones se deberán incluir los siguientes factores:

- Oportunidad del almacenamiento o de la aplicación
- Características de los alimentos y de los animales en el lugar de la medición
- Duración del almacenamiento
- Características del estiércol (p. ej., concentraciones de VS de entrada y salida en sistemas líquidos)
- Determinación de la cantidad de estiércol que queda en las instalaciones de almacenamiento (inóculo metanogénico)
- Distribución temporal y de temperatura entre el almacenamiento en interior y al aire libre
- Fluctuación diaria de la temperatura
- Variación estacional de la temperatura

El método Tier 2, resulta un método de cálculo muy exhaustivo y preciso al tener en cuenta el nivel de profundidad de los factores a aplicar. Pero debido a esa complejidad se convierte en un método de difícil aplicación y da pie al error, por lo que se debe lograr un método que sin perder tanta precisión, sea de más directa y sencilla aplicación.

#### 2.4. Método 4

El tercer método expuesto por el IPCC se denomina Tier 3 (Nivel 3) [2] está destinado a algunos países en los que las emisiones del ganado sean particularmente importantes y deseen ir más allá del método de Nivel 2 y desarrollar modelos para metodologías específicas del país o emplear métodos basados en mediciones para cuantificar los factores de emisión.

#### 2.5. Método 5

Hamed et al. [3] evaluaron la obtención de biogás en un reactor cerrado evaluando la diferencia de presión, teniendo en cuenta la proporción de biogás en función del tiempo de digestión, con lo cual calcula la cantidad de biogás del propio material usado (Ecuación 5). Debido a las especificaciones del cálculo, no es de aplicación directa para evaluar la producción de biogás a partir de residuo animal, sin embargo se presenta útil para evaluar coeficientes de importancia.

$$V_{\text{Biogás}} = \frac{P \cdot V_{\text{head}} \cdot C}{R \cdot T}$$

Ecuación 5

Donde:

$V_{\text{Biogás}}$ : es la cantidad de biogás producida (L)

P: presión absoluta (mbar)

$V_{\text{head}}$ : volumen en cabeza (L)

C: volumen molar (22,41 L/mol)

R: constante universal de gases (83,14 L·mbar/k·mol)

T: temperatura absoluta (K)

#### 2.6. Método 6

Además de los gases provenientes de la fermentación del estiércol, los animales producen una cierta cantidad de CH<sub>4</sub>, proveniente del tracto intestinal, debido a las condiciones anaeróbicas del interior del mismo, y CO<sub>2</sub> producido en la respiración. La cantidad de metano producida se puede calcular a partir de la cantidad de fibra ingerida por el animal.

Rigolot et al. [11] realizaron un estudio para determinar las emisiones de CH<sub>4</sub> de los cerdos, además de medir las concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio, cobre y zinc, en su estiércol, sustancias que varían su concentración dependiendo de la alimentación de los animales. Para ello se tienen en cuenta como inputs, la alimentación de los animales, la temperatura del lugar y la actividad del animal, teniendo en cuenta como variables intermedias las cantidades de alimento ingeridas, retenidas y excretadas tal y como se muestra en la Figura 4. La cantidad de CH<sub>4</sub> emitida se calcula a partir de la energía consumida por el animal, tal y como lo establece el IPCC [2] aplicando la Ecuación 6. Para ello se diferencia entre la energía

digerida (DE) y la energía metabolizada (ME). Para determinar la energía consumida por el animal se establece la cantidad de fibra ingerida por el animal, llegando a la relación de la Ecuación 7.

$$CH_{4Emitted} = E(CH_4)/56.65 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

$E(CH_4)$ ; energía contenida en el metano en  
56,65: poder calorífico inferior del  $CH_4$  en MJ/kg

$$E(CH_4) = ResD \cdot X \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

ResD: corresponde a la cantidad de fibra ingerida por el animal en g.  
X: coeficiente propio de la subespecie animal en J/g

Rigolot et al. desarrollaron este método a partir de los datos publicados en el libro “Tables Of Composition And Nutritional Value Of Feed Materials: Pigs, Poultry” de Daniel Sauvant. Para poner en práctica dicho método es necesario conocer la dieta alimenticia de los animales, lo cual a gran escala es difícil de precisar. También sería imprescindible precisar si el método se aplica teniendo en cuenta la ración diaria del animal, o si por el contrario se fija otro periodo a contabilizar. Además es necesario tener en cuenta que este método solo cuantifica la cantidad de  $CH_4$  expulsado por el animal, sin tener en cuenta la cantidad que se podría generar mediante la fermentación del estiércol.

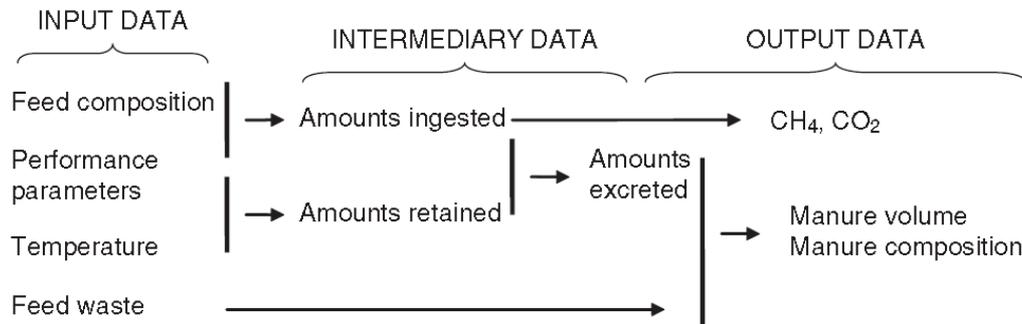


Figura 4. Rigolot et al. (2010) Modelling of manure production by pigs and  $NH_3$ ,  $N_2O$  and  $CH_4$  emissions. Part I: animal excretion and enteric  $CH_4$ , effect of feeding and performance

Con éste método se obtienen los valores de la Figura 13 del Anexo.

### 2.7. Método 7

Rigolot et al. [12] realizaron una segunda parte del estudio anteriormente presentado donde sí tuvieron en cuenta los gases emitidos por el estiércol animal [metano ( $CH_4$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ) y amoníaco ( $NH_3$ )]. Para ello, tras plantear el esquema de la Figura 5, se presenta la Ecuación 8, donde se calcula la cantidad de  $CH_4$  emitido basándose en la metodología de cálculo Tier 2 presentada por el IPCC, expuesto en el apartado 2.3 del presente documento.

$$\text{CH}_{4\text{Emitido}}(\text{kg}) = \text{VS} \times \text{B}_0 \times \text{MCF} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

- CH<sub>4Emitido</sub>: representa la cantidad de CH<sub>4</sub> producido en kg
- VS: materia orgánica presente en el estiércol en kg
- Bo: máxima capacidad de producción de CH<sub>4</sub> en m<sup>3</sup>/kg de materia seca
- MCF: factor de conversión de CH<sub>4</sub>

Los valores a aplicar al factor Bo de la Ecuación 8 son obtenidos de la metodología de cálculo del IPCC, el factor VS, fue obtenido el artículo “Modelling of manure production by pigs and NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions. Part I: animal excretion and enteric CH<sub>4</sub>, effect of feeding and performance (2010)” [11] y el factor MCF, se calculó específicamente para integrar las granjas del estudio, aplicando los valores dados por el IPCC.

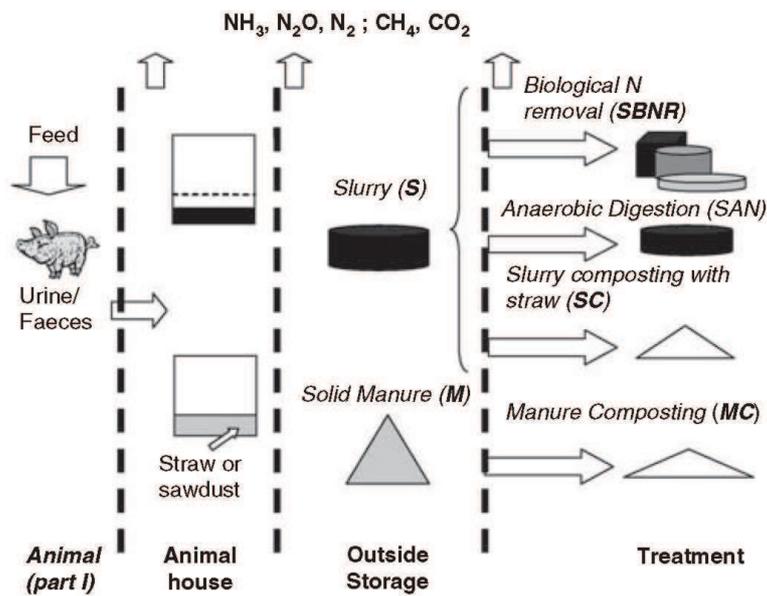


Figura 5. Rigolot et al. (2010). Modelling of manure production by pigs and NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions. Part II: effect of animal housing, manure storage and treatment practices

Tras realizar un balance de material se obtuvo una conversión del 85% del Bo en biogás.

### 3. Elaboración del método propio

Tras analizar los métodos anteriormente expuestos, se concluye que resultan o complicados de aplicar o de poca precisión en los resultados arrojados. Teniendo como objetivo la obtención de un método preciso, pero a la vez de sencilla aplicación, se detalla a continuación un método para la cuantificación del potencial de producción de biogás.

Sería necesario diferenciar por tipología animal. Cada animal tiene una producción diferenciada de purines así como una composición específica de los mismos. Es por tanto necesario dividir lo máximo que sea posible la cabaña ganadera que se tenga.

Para evaluar la potencial producción de biogás tenemos, por un lado, que tener en cuenta la cantidad de animales que hay, de unas mismas características, y por otro lado, la composición de sus deyecciones. Para ello tenemos la clasificación animal de la tabla 1.

### 3.1. Valoración de los parámetros de influencia

Los principales factores que inciden en las emisiones de  $\text{CH}_4$  son la cantidad de animales existentes en una explotación y contemplados para la estimación (**N**), la cantidad de estiércol que producen esos animales (**PE**), cuyos valores se muestran en la Tabla 1 y la porción que se descompone anaeróbicamente formando  $\text{CH}_4$  (**PM**). La primera depende directamente de la explotación ganadera y la organización de la misma, la segunda de la tasa de producción de desechos por animal, donde es imprescindible considerar la cantidad energética del alimento ingerido así como el ratio retenido por el animal, además de la dieta del ganado [4], mientras que la tercera depende de cómo se gestiona el estiércol, del tiempo de almacenamiento (Tabla 6) previo a su incorporación al biodigestor y de la temperatura media del lugar (Tabla 5), ya que influyen directamente en los procesos biológicos [13].

Cuando el estiércol se almacena o se procesa como líquido (p. ej., en lagunas, estanques, tanques o pozos), se descompone anaeróbicamente y puede producir una cantidad significativa de  $\text{CH}_4$ . La temperatura y el tiempo de retención de la unidad de almacenamiento son dos factores que inciden significativamente en la cantidad de metano producida. Cuando el estiércol se maneja como sólido (p. ej., en parvas o pilas) o cuando se lo deposita en pasturas y prados, tiende a descomponerse bajo condiciones más aeróbicas y se produce menos  $\text{CH}_4$ . Por ello se analizará contemplando el manejo como líquido almacenado en depósitos para su digestión anaeróbica, ya que el objetivo es maximizar la producción. Pese a que se fija una explotación superior a 100 cabezas de ganado para esta disposición [1], se considerará la totalidad del ganado censado en España para esta disposición.

Es necesario también tener en cuenta los sólidos volátiles (**SV**) existentes en las excreciones, dicho factor constituye la materia orgánica del estiércol y varía en función del tipo de ganado y de la temperatura media del lugar, así como del tiempo de espera del estiércol hasta su recolección. Sus valores vienen representados en la Tabla 3.

También es necesario considerar un factor referido al tipo de explotación (**RE**). Diferenciando entre explotaciones ganaderas intensivas y extensivas. El tipo de ganadería intensiva permite una mayor y más eficiente recogida de residuos, ya que estos se encuentran hacinados en un recinto cerrado, frente al tipo de ganadería extensiva, que por sus dimensiones puede resultar complicado o imposible recolectar el estiércol. Por este motivo sería necesario diferenciar entre un tipo de explotación y otra. Para realizar una más precisa estimación de la producción de biogás en España, sería necesario identificar el tipo de ganadería de cada explotación contabilizada. Los valores a aplicar a cada tipo de explotación ganadera se muestran en la Tabla 2.

Se tendrá en cuenta el tiempo de espera (**TE**) del estiércol hasta su recolección y la temperatura media del lugar (**FT**). Para ello se usan los valores de emisiones de  $\text{CH}_4$  anuales dadas por el IPCC para estimar el porcentaje que se emitirá a la atmósfera durante el periodo, en días que el estiércol está a la espera de su recolección. Se tendrá en cuenta la emisión por temperaturas medias, así como, se emplearán las temperaturas medias (Anexo, Tabla1) agrupándolas según las temperaturas de la Tabla 5 para estimar la pérdida debida a la temperatura del lugar.

Por último debemos considerar la capacidad de producir metano del estiércol (**PM**). Dicha capacidad variará en función de la proveniencia del estiércol tratado, sus valores se presentan en la Tabla 4.

### 3.2. Evaluación de la producción de estiércol

En función de la especie animal, de la edad, del sexo e incluso de la alimentación, los animales producen diferentes cantidades de estiércol (Tabla 1) y la recolección de la misma se ve limitada por la tipología de la explotación ganadera (Tabla 2).

#### 3.2.1. Tipología animal y ratio de producción de estiércol

El primer paso a seguir para la buena estimación del potencial de producción de CH<sub>4</sub>, es la división animal. Para llevar a cabo dicha tarea se ha realizado una división (Tabla1) teniendo en cuenta la realizada por Gomez et al. [1] y los datos existentes en el ASAE (American Society of Agricultural Engineers) [14] así como los datos del IPCC [2].

Tabla 1. Cantidad de estiércol producido (**PE**)  
Datos obtenidos del ASAE [14] y Gómez et al. [1]

Ganado	Subcategoría	Residuos (kg/cabeza·día)
Aviar	Aves de corral	0,088
Bovino	Vacas de leche	63,2
	Otras vacas	38
	Toros mayores de 24 meses	63,2
	Terneros entre 12 y 24 meses	22
	Terneros de menos de 12 meses	3,5
Caprino	Cabra	2,62
Cunícola	Conejo	0,15
Equino	Caballo	25
Ovino	Oveja	1,08
Porcino	Verracos	5,12
	Otros cerdos	3,8
	Crías	1,33

#### 3.2.2. Clasificación de tipo del explotación ganadera (extensivo-intensivo)

Se aplicará un factor de corrección en función de la disposición del ganado, ya sea intensiva o extensiva, debido a la diferencia a la hora de recolectar el estiércol, si este se halla concentrado (intensiva) o si se encuentra disperso en un terreno (extensiva), llegando incluso a imposibilitar su recolección si el ganado se encuentra muy disperso.

Dicho factor viene definido por parámetros como la utilización de suelos no aptos para una agricultura convencional y el pastoreo como base del sistema de explotación considerado por tipo de ganado [17]. Al presentarse un mismo ganado en condiciones semejantes dentro del territorio español [15], se unificará los valores por tipo de ganado, independientemente de la provincia. Se aplicarán valores (Tabla 2), en función de:

- Ganado aviar: se trata de una ganadería industrial (intensiva) en casi su totalidad, situándose por encima del 90% los animales en régimen intensivo [21].
- Ganado bovino: el ganado bobino se encuentra dividido en función de su producción, tanto lechera como de carne, considerándose el ganado productor de leche intensivo y el ganado destinado a carne en un 56% extensivo [20], por lo que el factor a aplicar sería 1 y 0,44 para ganado bobino de leche y de carne respectivamente.
- Ganado caprino: supongo un ganado prácticamente extensivo, con un 94% del total del ganado caprino explotado de manera extensiva [20]. Se le aplicará un factor de 0,06.
- Ganado Cunicola: se estima un 90% del ganado en régimen intensivo
- Ganado equino: se estima un 63% de las explotaciones equinas en régimen extensivo, que suponen un 54% del total de animales [23].
- Ganado ovino: ganadería mayoritariamente extensiva con un total del 86% [20], por lo que el factor a aplicar es 0,14.
- Ganado porcino: se trata de una ganadería intensiva [19], a excepción del porcino ibérico que representa un 8,7% [18] de la cabaña porcina total.

Tabla 2. Factor de recolección del estiércol (RE)

Ganado	Subcategoría	RE
Aviar	Aves de corral	0,9
Bovino	Vacas de leche	1
	Otras vacas	0,44
	Toros mayores de 24 meses	0,44
	Terneros entre 12 y 24 meses	0,44
	Terneros de menos de 12 meses	0,44
Caprino	Cabra	0,06
Cunicola	Conejo	0,9
Equino	Caballo	0,46
Ovino	Oveja	0,14
Porcino	Verracos	0,9
	Otros cerdos	0,9
	Crías	0,9

### 3.3. Producción de metano a partir del estiércol

Una vez evaluada la cantidad de estiércol que se puede almacenar, así como la procedencia del mismo, se puede estimar la cantidad de biogás que se puede obtener. Dicha cantidad de biogás estará cuantificada por el volumen de CH<sub>4</sub> contenido. Para su cuantificación se evaluarán los factores expuestos en el Apartado 3.1.

#### 3.3.1. Tecnologías de gestión del estiércol

La digestión anaeróbica es un proceso microbiológico que, en condiciones anaerobias (ausencia de oxígeno) permite transformar la materia orgánica en metano. Se compone de múltiples etapas en la que intervienen una población heterogénea de microorganismos. Pese a que existen cuatro rutas para la metabolización del

carbono, el proceso completo se puede resumir en dos fases principales, una primera hidrolítica fermentativa y una segunda metanogénica. En la primera fase, los polímeros orgánicos son metabolizados mediante hidrólisis y fermentación microbiana en una mezcla de ácidos grasos volátiles (acético, propiónico, butírico, valérico, láctico...), carbónico e hidrógeno. En la segunda fase, encadenada con la primera, se transforman los productos finales de la misma en metano y dióxido de carbono, mediante las bacterias metanogénicas que son anaeróbicas estrictas.

La digestión anaeróbica es un proceso prometedor a nivel económico y medioambiental para recuperar residuos produciendo energía renovable. Además de la producción de productos valiosos como el metano y el residuo digerido, que puede ser utilizado como fertilizante, sino que también destruye los agentes patógenos que se presentan en los residuos de pluma [5].

La digestión anaeróbica de diversas materias primas orgánicas, principalmente residuos ganaderos y lodos de aguas residuales municipales producen un gas rico en metano llamado biogás. El biogás generalmente contiene entre 40% y 70% de metano, el resto del gas consiste en dióxido de carbono y entre 100 a más de 3000 ppm de sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) [6].

### 3.3.2. Cuantificación de los sólidos volátiles

El estiércol animal posee unas características que dependen del tipo de animal, edad, sexo, alimentación... en función de éstas características, el estiércol producirá una cantidad determinada de sólidos volátiles. Los sólidos volátiles representan la fracción del estiércol que se volatilizará, es decir, es la fracción del estiércol que no queda como residuo final. Para su cuantificación se han tenido en cuenta por un lado, los datos de sólidos volátiles proporcionados por el IPCC [2] en kg de sólidos volátiles por animal y año y por otro lado, los valores de kg de estiércol por animal y año (Tabla 1). Realizando una relación entre ambos valores, se obtienen los kg de sólidos volátiles por kg de estiércol producido (Tabla 3).

Tabla 3. Sólidos volátiles existentes en el estiércol (SV)  
Datos obtenidos del IPCC [2]

Ganado	Subcategoría	SV (kg SV/kg estiércol)
Aviar	Aves de corral	0,23
Bovino	Vacas de leche	0,081
	Otras vacas	0,068
	Toros mayores de 24 meses	0,062
	Terneros entre 12 y 24 meses	0,086*
	Terneros de menos de 12 meses	0,9*
Caprino	Cabra	0,11
Cunícola	Conejo	0,67
Equino	Caballo	0,085
Ovino	Oveja	0,37
Porcino	Verracos	0,09
	Otros cerdos	0,08
	Crías	0,11

\* Datos estimados en función del peso aproximado del animal y las emisiones de VS dadas por el IPCC (Anexo-Figuras 6 a 11)

### 3.3.3. Ratio de producción de metano

Se estima una producción máxima de CH<sub>4</sub> por cada kg de sólidos volátiles existentes en el estiércol animal. Dicha producción máxima variará en función del tipo de animal, por lo que se emplea la misma división tipológica de la Tabla 1. Los valores a aplicar para dicho factor (Tabla 4) se establecen a partir de los datos proporcionados por el IPCC.

Tabla 4. Ratio de producción de CH<sub>4</sub> del estiércol (PM)  
Datos obtenidos del IPCC [2]

Ganado	Subcategoría	PM (m <sup>3</sup> /kg de SV)
Aviar	Aves de corral	0,39
Bovino	Vacas de leche	0,24
	Otras vacas	0,18
	Toros mayores de 24 meses	0,1
	Terneros entre 12 y 24 meses	0,1
	Terneros de menos de 12 meses	0,1
Caprino	Cabra	0,18
Cunícola	Conejo	0,32
Equino	Caballo	0,3
Ovino	Oveja	0,19
Porcino	Verracos	0,45
	Otros cerdos	0,45
	Crías	0,45

### 3.3.4. Factor temperatura

La temperatura del entorno influye directamente en la producción de CH<sub>4</sub> durante el almacenamiento y transporte hasta el biodigestor ya que en éste las condiciones térmicas son controladas. Se estima una reducción de la producción de CH<sub>4</sub> por día de almacén y °C de temperatura. El porcentaje en la emisión de CH<sub>4</sub> por efecto de la temperatura ambiente se presenta en la Tabla 5 [24], estimándose un valor independiente del tipo animal. En la Tabla 6 se presentan los factores en función del tiempo de espera del estiércol dividido en función del tipo animal ya que de éste depende el mismo. Se considerará un mismo tiempo de espera por tipo animal, independientemente de la provincia, igualando así los tipos animales a nivel nacional. No se debe confundir tiempo de espera del estiércol, con los periodos de limpieza de las camas. La limpieza de las camas se realiza con cierta frecuencia, pero los residuos retirados son almacenados, hasta alcanzar un volumen determinado, para posteriormente destinarlos a una aplicación.

Durante el tiempo de espera, el estiércol sufre una oxidación, con lo cual su potencial de producción de CH<sub>4</sub> disminuye al combinarse, las moléculas de carbono existentes en el estiércol, con el oxígeno de la atmósfera. El cálculo del tiempo de espera se ha obtenido tras la consulta de diversas fuentes y aplicando la Ecuación 9. Se estima un tiempo de espera de 3 semanas para porcinos [22]. Para el caso del ganado aviar se determina un periodo de 50 días [23]. Para ganado bovino, se diseñan los estercoleros para un tiempo de retención de entre 2,5 y 4,5 meses, tomaremos una cifra media de 3 meses [25]. Para el ganado Cunícola puede almacenarse el estiércol durante 2 meses o más, se estimará un tiempo de almacenado de

2 meses [26]. Para el caso de ganado ovino y caprino se determinará 2 meses de espera y para el ganado equino 1 mes.

Tabla 5. Reducción de la producción de CH<sub>4</sub> del estiércol por efecto de la temperatura (FT) [24]

Temperatura media (°C)	FT (%)
T<12	97
12<T<15	93
16<T<20	90
24<T<26	79
29<T<30	45

$$TE = 100 - \left( n \cdot 100 / 365 \right) \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

TE, corresponde al factor en función del tiempo de espera (%)

EF<sub>T</sub>, corresponde al factor de emisión dados por el IPCC (kg CH<sub>4</sub>/cabeza-día)

n, corresponde al número de días que el estiércol está en espera de ser procesado

Para cada especie animal, en función del tiempo de espera, el factor TE representará un porcentaje del total de la emisión de CH<sub>4</sub> anual de esa especie animal (Tabla6).

Tabla 6. Reducción de la producción de CH<sub>4</sub> del estiércol debido al tiempo de espera (TE)

Ganado	TE (%)
Aviar	86,6
Bovino	75,4
Caprino	83,56
Cunícola	83,56
Equino	91,79
Ovino	83,56
Porcino	94,3

### 3.4. Ecuación propia

Tras el análisis de los artículos anteriormente expuesto se estima necesario tener en cuenta los siguientes parámetros contemplados en la Ecuación 10, para la obtención del volumen (m<sup>3</sup>) de CH<sub>4</sub> producido partiendo del número y clasificación animal.

∑ Sumatorio de todas las especies animales (e) (avícola, bobino, caprino, cunícola, equino, ovino y porcino)

∑ Sumatorio de todas las tipologías de cada especie (t) (lechones, cerdas, verracos...)

(N) Número de animales

(PE) Factor de producción de estiércol (específico de cada especie animal y subcategoría) (kg/día)

(SV) Cantidad de sólidos volátiles excretados (kg SV/kg estiércol)

(PM) Factor de producción de metano del estiércol (específico para cada purín de cada tipo animal y cada procedimiento de extracción) (m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/kg estiércol)

(RE) Factor de recolección del estiércol (intensivo-extensivo) (adimensional)

(FT) Factor de temperatura media anual del lugar (%)

(TE) Tiempo de espera del estiércol (%)

$$P_{CH_4} = \sum_e \sum_t (N \cdot PE \cdot 365) \cdot SV \cdot PM \cdot RE \cdot \frac{FT}{100} \cdot \frac{TE}{100} \quad \text{Ecuación 10}$$

$P_{CH_4}$ : producción total de metano de toda la cabaña ganadera ( $m^3 \cdot \text{año}^{-1}$ )

#### 4. Validación del método expuesto

Para la validación del método aquí presentado se evaluará el potencial de producción de  $CH_4$  de España, empleando tres metodologías expuestas en este documento.

Para aplicar los métodos y obtener resultados fiables y actuales se emplean los censos ganaderos más recientes posibles, realizando la división tipológica de la Tabla 1. Para el cálculo se emplea la herramienta de cálculo Excel realizando el cálculo por provincias. Los resultados obtenidos para el censo se exponen en Anexo Tabla 2, por provincias y el total para toda España en la Figura 6. Para obtener dichos datos se han empleado las siguientes fuentes:

- Encuesta aviar, datos INE 2009
- Encuesta bovina, datos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, censo 2012
- Encuesta caprina, datos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, censo 2011
- Encuesta cunícola, datos INE 2009
- Encuesta equina, datos INE 2009
- Encuesta ovina, datos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, censo 2011
- Encuesta porcina, datos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, censo 2012

España TOTAL	157.013.135	5.434.903	2.694.318	753.664	317.874	17.002.721	25.161.080
	Aviar	Bovino	Cunícola	Equino	Caprino	Ovino	Porcino
	GANADO						

Figura 6. Censo ganadero de España

Con el censo fijado se realiza la estimación de la producción de  $CH_4$ , empleando tres métodos.

La primera metodología a emplear será la presentada por Gómez et al. [1], debido a la sencillez de su cálculo. La Figura 7 muestra en ( $Nm^3/\text{año}$ ), los resultados a nivel nacional obtenidos mediante la primera metodología.

171.009.228	440.348.428	20.236.268	285.331	3.480.720	59.320.283	480.192.296	1.174.872.555	TOTAL
Aviar	Bovino	Caprino	Cunícola	Equino	Ovino	Porcino		
PRODUCCIÓN ( $Nm^3/\text{año}$ ) MÉTODO 1 [Gómez et al.]								

Figura 7. Potencial producción de  $CH_4$  por Gómez et al. [1]

Para una comprobación más exacta se empleará también el método Tier 2 del IPCC [2] cuyos valores a nivel nacional se muestran en la Figura 8. El método Tier 2 (IPCC) presenta una gran complejidad a la hora del cálculo del factor VS (sólidos volátiles, Ecuación 4), por lo que su aplicación se simplificará aplicando los valores por defectos presentados por el IPCC en las Figuras 6 a 11 del Anexo, puesto que resulta imposible realizar el balance energético de cada animal de la totalidad del ganado de España. A la hora del cálculo del factor MCF, es necesario emplear los valores complementarios a los expuestos en las Figuras 6 a la 10 del

Anexo, donde se especifican porcentajes de CH<sub>4</sub> emitido a la atmósfera, ya que el objetivo de este trabajo es evaluar el CH<sub>4</sub> que se pueda obtener, no el emitido a la atmósfera. El factor MS se considerará 1 al gestionarse la totalidad del estiércol de la misma manera.

8.579.379	789.179.324	796.555	127.159	1.112.062	19.985.618	821.246.500	1.641.026.599	TOTAL	
Aviar	Bovino	Caprino	Cunícola	Equino	Ovino	Porcino			
PRODUCCIÓN (Nm <sup>3</sup> /año) MÉTODO 2 [IPCC]									

Figura 8. Potencial producción de CH<sub>4</sub> por el IPCC, Tier 2 [2]

Por último se presentan los datos arrojados por el método aquí expuesto.

374.649.566	413.083.622	2.100.105	8.810.762	28.530.486	50.503.725	711.315.458	1.588.993.724	TOTAL	
Aviar	Bovino	Caprino	Cunícola	Equino	Ovino	Porcino			
PRODUCCIÓN (Nm <sup>3</sup> /año) MÉTODO PROPIO									

Figura 9. Potencial producción de CH<sub>4</sub> por el método propio

La variación existente entre los tres métodos se expone en la Figura 10. Existe una variación entre los métodos debido al uso de los factores. Por un lado el Método 1 [1] no tiene en cuenta la acción de la temperatura en la generación de CH<sub>4</sub>, ni el tiempo que el estiércol se encuentra almacenado hasta su uso, además de evaluar el potencial de producción de CH<sub>4</sub> a partir de lo sólidos secos, y no de los sólidos volátiles. Por otro lado el IPCC pese a ser el método más completo, no tiene en cuenta la cantidad de estiércol recolectable, existe una porción del estiércol, que como ya se mencionó antes, no puede ser recolectada y tampoco tiene en cuenta la acción de la atmósfera sobre el estiércol almacenado previo a su introducción al digester.

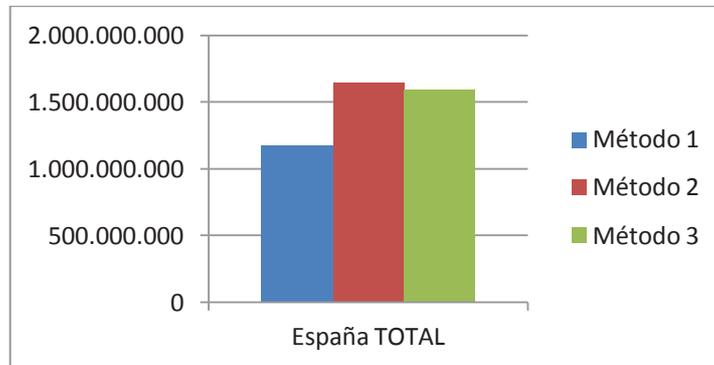


Figura 10. Validación del método.

Existe una gran variación de la producción aviar, caprino, cunícola, equino y ovino del Método del IPCC, con respecto al método aquí enunciado debido al factor MCF (porcentaje de CH<sub>4</sub> emitido por sistema de gestión del estiércol), el cual, el IPCC aplica un valor por defecto muy reducido el cual pese a estar determinado en función de la temperatura, no varía en el intervalo a aplicar para el caso concreto de España.

## 5. Conclusiones

El método presentado refleja una diferencia del 3% aproximadamente con respecto al método del IPCC [2], reflejando así una simplificación sin presentar una gran variación en los resultados obtenidos, por lo que se presenta el método aquí expuesto como un método preciso y simplificado.

La exactitud de los datos depende principalmente de la clasificación animal. La precisa clasificación animal permite la aplicación de factores de emisión más ajustados a los propios animales, ya que los factores dependen de:

- Tamaño
- Edad
- Sexo
- Actividad que desarrolla
- Confinamiento
- Dieta

Para la realización de dicha clasificación sería necesario acotar el estudio y evaluar las explotaciones ganaderas, que por su tamaño, puedan entrar a formar parte del cálculo, descartando aquellas con una ganadería extensiva.

Es imprescindible tener en cuenta condiciones típicas del emplazamiento de las explotaciones ganaderas. Para ello se aplican factores dependientes de las temperaturas medias del lugar. En regiones con grandes variaciones entre las temperaturas máximas y mínimas, sería aconsejable un estudio mensual. Para éste trabajo se ha considerado un estudio anual. Además resulta importante el cálculo por explotación, con lo que se puede tener en cuenta, de manera exacta:

- Tipo de ganado
- Disposición del mismo
- Tipo de alimentación
- Actividad que realiza el ganado

De esta manera se puede realizar un balance de energía, teniendo por un lado la energía consumida por el animal, en función del tipo de alimentación, y por otro lado se puede tener en cuenta la energía que el animal consume en su vida diaria. Con esto se podría aplicar con exactitud la Ecuación 4 presentada por el IPCC.

Sería necesario estudiar la rotación de los residuos. A parte del tiempo que normalmente se tarda en recoger los residuos ganaderos, es necesario tener en cuenta el tiempo de residencia de dichos residuos en los biodigestores. Así tendríamos unos periodos fijados de recogida de estiércol y vaciado de los biodigestores, realizando ciclos determinados para una optimización del proceso. Donde es importante la minimización del tiempo de espera.

A la hora de considerar el tiempo de espera del estiércol hasta su procesado, es necesario considerar, como se almacena. No solo se debe tener en cuenta la temperatura media del lugar, sino la exposición al sol del estiércol, ya que haría aumentar considerablemente su temperatura.

Los métodos de cálculo, normalmente se basan en el método Tier 2 del IPCC, presentándose tal método como el más exhaustivo y preciso. Pero al requerir excesivos datos de entrada, resulta complicado de aplicar, sobre todo si se trata de estimar el potencial de producción de  $\text{CH}_4$  de todo un país, con las variaciones que ello pueda representar. Pese a tener en cuenta la temperatura media del lugar, no evalúa el tiempo que el estiércol está expuesto a la atmósfera. Además presenta cálculo, como el de los sólidos volátiles (VS), que resulta en la práctica muy complicado de evaluar, por lo que a pesar de ser preciso, resulta imposible de aplicar con precisión.

Para la obtención de datos más precisos resulta una herramienta importante la posibilidad de contar con un laboratorio que pueda evaluar datos tales como, la conversión a  $\text{CH}_4$  de los sólidos volátiles, la emisión de sólidos volátiles por kg de estiércol, las excreciones animales, la variación de la concentración de  $\text{CH}_4$  en función de las temperaturas, etc.

## 6. Bibliografía

- [1] Antonio Gómez, Javier Zubizarreta, Marcos Rodriguez, César Dopazo, Norberto Fueyo; Fluid Mechanics Group, University of Zaragoza, AMF-CPS, Spain; Potential and cost of electricity generation from human and animal waste in Spain (2009).
- [2] Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Volumen 4, Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra.
- [3] Hamed M. El-Mashad<sup>a,b</sup>, Ruihong Zhang<sup>b</sup>; a. Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Mansoura University, Egypt; b. Biological and Agricultural Engineering Department, University of California, USA; Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste (2010).
- [4] Carlos Rico, José Luis Rico, Iñaki Tejero, Noelia Muñoz, Beatriz Gómez; Anaerobic digestion of the liquid fraction of dairy manure in pilot plant for biogas production: Residual methane yield of digestate (2011).
- [5] Gergely Forgács<sup>1,2</sup>, Saeid Alinezhad<sup>1</sup>, Amir Mirabdollah<sup>1</sup>, Elisabeth Feuk-Lagerstedt<sup>1</sup>, Ilona Sárvári Horváth<sup>1</sup>; 1. School of Engineering, University of Borås, Borås, Sweden. 2. Department of Chemical and Biological Engineering, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden; Biological treatment of chicken feather waste for improved biogas production (2011).
- [6] Andrew J. White\*, Donald W. Kirk, John W. Graydon; Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry, University of Toronto, Canada; Analysis of small-scale biogas utilization systems on Ontario cattle farms (2010).
- [7] Janani Chakravarthi; Department of Environmental Biology Hood College Frederick, USA; BIOGAS AND ENERGY PRODUCTION FROM CATTLE WASTE (1997).
- [8] F.A. Batzias\*, D.K. Sidiras, E.K. Spyrou; Department of Industrial Management and Technology, University of Piraeus, 80 Karaoli and Dimitriou, GR 18534 Piraeus, Greece; Evaluating livestock manures for biogas production: a GIS based method (2005)
- [9] Hani Antoun; Département des Sols et de Génie agroalimentaire & Centre de Recherche en Horticulture, Université Laval Québec Canada; Beneficial Microorganisms for the Sustainable Use of Phosphates in Agriculture (2012)
- [10] Alberto Abaigar<sup>1</sup>, Iosu Irañeta<sup>2</sup>, José Jesús Perez de Ciriza<sup>2</sup>, Belén Pérez<sup>3</sup>; <sup>1</sup> ITGG, <sup>2</sup> ITGA, <sup>3</sup> Dpto. Medio Ambiente; FERTILIZACION CON PURINES DE GANADO PORCINO EQUIPOS DE REPARTO (2004)
- [11] C. Rigolot<sup>1,2,3</sup>, S. Espagnol<sup>2</sup>, C. Pomar<sup>4</sup>, J.-Y. Dourmad<sup>1</sup>; <sup>1</sup>INRA, Nutrition Animale et Humaine, France; <sup>2</sup>IFIP-Institut du Porc, France; <sup>3</sup>INRA, Production du Lait, France; <sup>4</sup>Agriculture and Agro-Food Canada, Dairy and Swine Research and Development Centre, Québec, Canada; Modelling of manure production by pigs and NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions. Part I: animal excretion and enteric CH<sub>4</sub>, effect of feeding and performance (2010)

- [12] C. Rigolot<sup>1,2,3</sup>, S. Espagnol<sup>2</sup>, P. Robin<sup>4</sup>, M. Hassouna<sup>1,4</sup>, F. Be´line<sup>5</sup>, J. M. Paillat<sup>4,6</sup>, J.-Y. Dourmad<sup>1</sup>; <sup>1</sup>INRA, Nutrition Animale et Humaine, France; <sup>2</sup>IFIP Institut du Porc, France; <sup>3</sup>INRA, Production du Lait, France; <sup>4</sup>INRA, Soil Agro and hydroSystem, France; <sup>5</sup>CEMAGREF, Unite´ de Recherche Gestion environnementale et traitement biologique des de´chets, France; <sup>6</sup>CIRAD, UpR Recyclage et risque, France; Modelling of manure production by pigs and NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions. Part II: effect of animal housing, manure storage and treatment practices (2010)
- [13] S.G. Sommer<sup>1</sup>, S.O. Petersen<sup>2</sup>, H.B. Moller<sup>1</sup>; <sup>1</sup>Danish Institute of Agricultural Sciences, Department of Agricultural Engineering, Denmark; <sup>2</sup>Danish Institute of Agricultural Sciences, Department of Agroecology, Denmark; Algorithms for calculating methane and nitrous oxide emissions from manure management (2004)
- [14] ASAE; American Society of Agricultural Engineers, USA; Manure Production and Characteristics, Standard (2005)
- [15] José Antonio Segrelles Serrano; UNIVERSIDAD DE ALICANTE; LA GANADERÍA AVÍCOLA Y PORCINA EN ESPAÑA, Del aprovechamiento tradicional al industrializado (1993)
- [16] M.R. Teira-Esmatges\*, X. Flotats; Laboratory of Environmental Engineering, Department of Environment and Soil Sciences, University of Lleida, Lleida, Spain; A method for livestock waste management planning in NE Spain (2003)
- [17] Martín Bellido, M.<sup>1</sup>, M. Escribano Sánchez<sup>2</sup>, F.J. Mesías Díaz<sup>2</sup>, A. Rodríguez de Ledesma Vega<sup>2</sup> y F. Pulido García<sup>2</sup>; <sup>1</sup>Dirección General de Producción, Investigación y Formación Agrarias de la Junta de Extremadura, Badajoz, España, <sup>2</sup>Escuela de Ingenierías Agrarias de la Universidad de Extremadura Badajoz, España; SISTEMAS EXTENSIVOS DE PRODUCCIÓN ANIMAL (2001)
- [18] INE, Instituto Nacional de Estadísticas.
- [19] Roberto García Trujillo; Instituto de Sociología y Estudios Campesinos Universidad de Córdoba; BASES ECOLÓGICAS DE LA GANADERÍA EXTENSIVA DE ESPAÑA
- [20] Francisco Pulido García; Catedrático de Economía Agraria, Universidad de Extremadura; LA PRODUCCIÓN ANIMAL EN LA DEHESA EXTREMEÑA. NUEVAS TENDENCIAS Y ESTRATEGIAS DE MEJORA (2002)
- [21] José Antonio Segrelles Serrano; Universidad Alicante; La Ganadería Avícola y Porcina en España (1993)
- [22] Universo porcino; <http://www.aacporcinos.com.ar>
- [23] Antonio Alegre Millán; BIOSEGURIDAD EN GRANJAS AVÍCOLAS (2011)
- [24] Antonio Guevara Vera; OPS, CEPIS; Fundamentos Básicos para el Diseño de Biodigestores Anaeróbicos Rurales (1996)
- [25] Gobierno de Cantabria; 43º Seminarios de Gestión Ambiental; La Gestión Ambiental de los Purines de Vacuno (2006)
- [26] Agenda del cunicultor; Universidad Autónoma de Barcelona; [http://ddd.uab.cat/pub/cunicultura/cunicultura\\_a1978m8v3n14/cunicultura\\_a1978m8v3n14p165.pdf](http://ddd.uab.cat/pub/cunicultura/cunicultura_a1978m8v3n14/cunicultura_a1978m8v3n14p165.pdf)