**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D´ENGINYERIA AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



***Modelo de cálculo de emisiones de gases contaminantes en granjas de reproductoras de ganado porcino***

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural**

**ALUMNO:**

RICARDO HERRERO BALLESTER

**TUTOR:**

D. FERNANDO ESTELLÉS BARBER

***Curso Académico:2014/15***

**VALENCIA, septiembre de 2015**

**E:\Miguel\Direccion\Comision academica\Trabajo final de grado\88x31.png**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | **ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y DEL MEDIO NATURAL** | Ficha resumen del Trabajo Fin de Grado |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Datos personales | | | | |
| Nombre y apellidos: | | Ricardo Herrero Ballester | | |
|  | | | | |
| Datos del trabajo de fin de carrera | | | | |
|  |  | | | |
| Título del TFG: | Modelo de cálculo de emisiones de gases contaminantes en granjas de reproductoras de ganado porcino | | | |
| Lugar de realización: | | | UPV, Departamento de Ciencia Animal. | Fecha de lectura: Septiembre 2015 |
| Titulación: | Ingeniero Agroalimentario y del Medio Rural | | | |
| Tutor/a: | Prof. D. Fernando Estellés Barber | | | |
|  |  | | | |
|  |  | | | |
|  |  | | | |
|  | | | | |
| **Resumen** | | | | |
| La contaminación del medio ambiente es uno de los grandes problemas de las explotaciones porcinas intensivas. Los principales gases contaminantes emitidos a la atmósfera por las deyecciones ganaderas son el amoníaco (NH3) y los gases de efecto invernadero como el metano (CH4) y el óxido nitroso (N2O).  El objetivo del presente trabajo es desarrollar un modelo que permita calcular las emisiones de amoníaco y de gases de efecto invernadero producidos en una granja de reproductoras de ganado porcino. Este modelo se ha realizado en una hoja Excel, en base a un balance alimentario, calculando la excreta de nitrógeno y sólidos volátiles. A partir de estos resultados se calcula la emisión de gases contaminantes.  Al testar el modelo se ha evidenciado que las granjas con mejores índices técnicos son las que producen una menor cantidad de emisiones por cada lechón producido. Además se evidencia que el número de lechones nacidos vivos es el parámetro clave para las emisiones, ya que es el que más influye en la cantidad de gases emitidos. | | | | |
|  | | | | |
| **Palabras clave** | | | | |
| Cerdos, emisiones, amoniaco, metano, modelo | | | | |

|  |
| --- |
| **Resum** |
| La contaminació del medi ambient és un dels grans problemes de les explotacions porcines intensives. Els principals gasos contaminants emesos a l’atmosfera per les dejeccions ramaderes son l’amoníac (NH3) i els gasos amb efecte hivernacle com ara el metà (CH4) i l’òxid nitrós (N2O).  L’objectiu d’aquest treball és desenvolupar un model que permeta calcular les emissions d’amoníac i de gasos d’efecte hivernacle produïts a una granja de reproductores de ramat porcí. Aquest model s’ha realitzat en un full Excel, basant-se en un balanç alimentari, calculant l’excreta de nitrògen i de sòlids volàtils. A partir d’aquests resultats es calcula l’emissió de gasos contaminants.  En testar el model s’ha evidenciat que les granges amb millors índexs tècnics són les que produeixen una menor quantitat d’emissions per porquet produït. A més a més s’evidencia que la quantitat de porquets nascuts vius és un paràmetre clau per a les emissions, ja que és el que més influeix en la quantitat de gasos emesos |
|  |
| **Paraules clau** |
| Porcí, emissions, amoníac, metà, model |

|  |
| --- |
| **Abstract** |
| Environmental pollution is one of the main problems of intensive pig production units. These pig farms emit gases to the atmosphere, mainly ammonia and greenhouse gases such as methane and nitrous oxide.  The main objective of this work was to develop a model to calculate ammonia and greenhouse gases emissions from pig breeding farms. This model has been developed using an Excel spreadsheet. The model is based on a feed balance from which nitrogen and volatile solid excretion rates are calculated for an individual farm given its characteristics. By using these data, gaseous emissions are determined by using emission factors.  After testing the model with real data, it was concluded that those farms that present better technical results resulted in lower emission intensities (expressed as emissions per unit of final product). It was also observed that the litter size (number of piglets born alive per partum) was the key parameter affecting emissions. |
|  |
| **Key words** |
| Pigs, emissions, ammonia, methane, model |

**Agradecimientos**

A mi familia, por todo lo que hicieron en su día

A mi mujer, Elena, por su apoyo y su paciencia

A mi hijo Marcos, por meterme prisa

Gracias también a mi tutor, Fernando, por la inestimable ayuda prestada

Deseo también dar las gracias a la Base de Datos del Porcino Español BDPorc, por poner a mi disposición su base de datos para la realización de este trabajo.

**ÍNDICE DE CONTENIDOS**

|  |  |
| --- | --- |
| **1. INTRODUCCIÓN** **............................................................................................** | **1** |
| **1.1. ANTECEDENTES Y CONTEXTO ……………………………………………..** | **1** |
| **1.2. EFECTOS AMBIENTALES DEL AMONÍACO ……………………………….** | **2** |
| **1.2.1. Efectos negativos sobre las plantas………………………………………** | **2** |
| **1.2.2. Efectos negativos sobre los ecosistemas ……………………………….** | **2** |
| **1.2.3. Efectos negativos sobre la salud humana……………………………….** | **3** |
| **1.2.4. Efectos negativos sobre los animales…………………………………….** | **3** |
| **1.2.5. Efectos negativos sobre la visibilidad ……………………………………** | **3** |
| **1.3. EFECTOS AMBIENTALES DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO …………………………………………………………………** | **3** |
| **1.3.1. Dióxido de Carbono ………………………………………………………….** | **4** |
| **1.3.2. Metano ………………………………………………………………………….** | **4** |
| **1.3.3. Óxido nitroso ………………………………………………………………….** | **5** |
| **1.4. MARCO LEGAL ………………………………………………………………….** | **5** |
| **1.5. OBJETIVOS ………………………………………………………………………** | **6** |
| **2. DESCRIPCIÓN DEL MODELO …………………………………………………..** | **6** |
| **2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL ……………………………………………………..** | **6** |
| **2.2. DETERMINACIÓN DEL CENSO DE LA EXPLOTACIÓN ………………….** | **9** |
| **2.2.1. Determinación de las categorías de animales presentes en la explotación …………………………………………………………………….** | **9** |
| **2.2.2. Determinación de la cantidad de animales presentes en cada categoría ……………………………………………………………………….** | **9** |
| **2.3. ESTIMACIONES SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ANIMALES ………………………………………………………………………..** | **11** |
| **2.4. NECESIDADES ENERGÉTICAS DE LOS ANIMALES …………………….** | **12** |
| **2.4.1. Necesidades diarias de energía no productiva …………………………** | **12** |
| **2.4.2. Necesidades diarias de energía productiva ……………………………..** | **14** |
| **2.4.3. Energía total necesaria en la ingesta ……………………………………..** | **19** |
| **2.5. DIETA DE LOS ANIMALES. ENTRADA DE ENERGÍA, PROTEÍNA Y MATERIA SECA ………………………………………………………………...** | **19** |
| **2.5.1. Consumo de materia seca a través del alimento ……………………….** | **20** |
| **2.6. BALANCE DE NITRÓGENO …………………………………………………...** | **21** |
| **2.6.1. Entrada de nitrógeno ………………………………………………………...** | **21** |
| **2.6.2. Retención de nitrógeno ……………………………………………………..** | **22** |
| **2.6.3. Nitrógeno total excretado por animal …………………………………….** | **24** |
| **2.6.4. Nitrógeno total excretado en la explotación …………………………….** | **24** |
| **2.7. EXCRECIÓN DE SÓLIDOS VOLÁTILES …………………………………….** | **25** |
| **2.8. EMISIÓN DE METANO POR FERMENTACIÓN ENTÉRICA ………………** | **26** |
| **2.9. EMISIONES TOTALES DE NH3, N2O Y CH4 EN LA EXPLOTACIÓN ……** | **28** |
| **2.9.1. Emisiones totales anuales de amoníaco ………………………………...** | **28** |
| **2.9.2. Emisiones totales de óxido nitroso ……………………………………….** | **30** |
| **2.9.3. Emisiones totales de metano ………………………………………………** | **30** |
| **3. PUESTA A PUNTO DEL MODELO………………………………………………** | **31** |
| **3.1. RESULTADOS POR PRODUCTIVIDAD ……………………………………..** | **32** |
| **3.2. RESULTADOS POR TAMAÑO DE LA EXPLOTACIÓN …………………...** | **34** |
| **3.3. ANÁLISIS DE SENSITIVIDAD …………………………………………………** | **35** |
| **4. CONCLUSIONES ………………………………………………………………….** | **37** |
| **5. BIBLIOGRAFÍA …………………………………………………………………….** | **37** |

**ÍNDICE DE FIGURAS**

|  |  |
| --- | --- |
| **Figura 1: Balance de nutrientes y emisiones de gases contaminantes ………………..** | **7** |
| **Figura 2: Cálculo del consumo de pienso diario……………………………………………** | **20** |
| **Figura 3: Balance de nitrógeno ………………………………………………………………..** | **22** |
| **Figura 4: Emisiones en kg por año y granja. Granjas clasificadas por su productividad…………………………………………………………………………** | **33** |
| **Figura 5: Emisiones en kg por lechón producido. Granjas clasificadas por su productividad………………………………………………………………………….** | **34** |
| **Figura 6: Emisiones en kg por año y granja. Granjas clasificadas por su tamaño…...** | **34** |
| **Figura 7: Emisiones en kg por lechón producido. Granjas clasificadas por su tamaño………………………………………………………………………………….** | **35** |
| **Figura 8: Análisis de sensitividad para la producción de NH3 …………………………...** | **36** |
| **Figura 9: Análisis de sensitividad para la producción de CH4 …………………………...** | **36** |

**ÍNDICE DE TABLAS**

|  |  |
| --- | --- |
| **Tabla 1: Categorías de animales presentes en la explotación y su correspondencia con las categorías del Anuario de Estadística de MAGRAMA…………………** | **9** |
| **Tabla 2: Ecuaciones de cálculo de la cantidad de animales de cada categoría………** | **11** |
| **Tabla 3: Estimaciones de peso de los animales……………………………………………** | **12** |
| **Tabla 4: Datos para el cálculo de la energía metabolizable para la termorregulación (EMt)………………………………………………………………………………………** | **13** |
| **Tabla 5: Coeficientes de estimación de la ganancia de grasa (Fracgrasa) y proteína (Fracproteína)……………………………………………………………………………….** | **15** |
| **Tabla 6: Tasa de conversión de metano para las categorías de ganado porcino estudiadas……………………………………………………………………………** | **27** |
| **Tabla 7: Características de los piensos tipo para las simulaciones……………………** | **32** |

1. **INTRODUCCIÓN**
   1. ***ANTECEDENTES Y CONTEXTO***

Actualmente en España el sector porcino es uno de los principales sectores ganaderos, suponiendo aproximadamente un 46% de la producción total ganadera, de la cual más de un 90% del censo se halla en granjas de explotación intensiva (IPPC, 2003).

El deterioro medioambiental causado por la actividad humana ha provocado una cierta preocupación y sensibilización social en las sociedades desarrolladas, que se está traduciendo en la implantación de una serie de exigencias legales cuyo objeto es la protección del medio ambiente.

La ganadería como actividad productiva es generadora potencial de ciertos impactos negativos sobre el medio ambiente, y por tanto no es ajena a esta situación de problemática ambiental.

De un modo general la incidencia de la actividad ganadera sobre el medio ambiente se puede enmarcar en tres grandes ámbitos:

* La utilización de recursos, que extrae del entorno.
* La producción de residuos, sólidos y líquidos, con sus consiguientes riesgos de contaminación.
* La emisión a la atmósfera de ciertos gases que contribuyen a determinados fenómenos de contaminación.

En relación con este último punto cabe decir que la ganadería es responsable de la emisión de gases contaminantes, principalmente el amoníaco, y en menor medida gases de efecto invernadero (metano y óxido nitroso).

La incorporación de medidas que puedan suponer una mejora de estos aspectos desde el punto de vista medioambiental es una necesidad constante del sector ganadero, puesto que las exigencias sociales son cada vez mayores en lo relativo a la conservación del medio ambiente, y esta cuestión se ha convertido por tanto en un factor de competitividad.

Por otra parte, España ha contraído compromisos políticos a nivel internacional en el marco de las emisiones de contaminantes. Así resulta necesario como primer paso inventariar las emisiones de modo que sea más fácil cumplir los compromisos de reducción de las mismas y de los residuos contaminantes (e.g.: Protocolo de Kyoto, Directiva 2001/81/CE sobre techos nacionales de emisión, Convenio de Ginebra de contaminación atmosférica transfronteriza).

El presente trabajo pretende realizar un modelo de cálculo que permita determinar de una manera aproximada la tasa de emisión de gases contaminantes y gases de efecto invernadero producidas por las explotaciones de reproductoras de ganado porcino.

* 1. ***EFECTOS AMBIENTALES DEL AMONÍACO***

El amoníaco es un gas que se produce de manera natural en la troposfera como consecuencia de diversos procesos biológicos relacionados con el ciclo del N. Sin embargo el incremento en su producción por parte de la actividad humana lo convierte en un gas contaminante en diferentes ámbitos.

Aunque la emisión se produce en forma de amoníaco, la reactividad de éste hace que sus compuestos secundarios (ión amonio y sales de amonio) produzcan otros efectos y tengan otra dinámica de comportamiento.

Los efectos negativos del amoniaco sobre el medio son los siguientes.

***1.2.1 Efectos negativos sobre las plantas***

El nitrógeno amoniacal afecta a las plantas a través de tres efectos distintos (Krupa, 2003):

1. **Efectos primarios sobre el crecimiento**, debidos al efecto estimulante que el N tiene a bajas concentraciones sobre el crecimiento, produciendo alargamiento de entrenudos, acumulación de agua, aumento de la traspiración, etc.
2. **Efectos secundarios,** que derivan de la estimulación de los efectos primarios, produciendo también desequilibrio nutricional o sensibilidad a estrés por plagas, sequía y heladas.
3. **Efectos tóxicos**, que se producen a concentraciones más altas de amoníaco, y que consisten en desacoplamiento del transporte de electrones, disfunción de las membranas, y daños visibles como por ejemplo necrosis y manchas foliares.
   * 1. ***Efectos negativos sobre los ecosistemas***

El amoníaco antropogénico altera los ecosistemas a través del suelo y a través de la cobertura vegetal, produciendo efectos tales como la eutrofización del agua y la acidificación del suelo (Krupa, 2003).

* + 1. ***Efectos negativos sobre la salud humana***

Sus efectos perjudiciales se deben a su carácter irritante y corrosivo en disolución acuosa. Así la exposición a amoníaco causa irritación por quemadura en el tracto respiratorio, piel y ojos, dependiendo la intensidad de este efecto de la combinación entre la concentración de amoniaco a la que el individuo está sometido, la duración de la exposición, y la sensibilidad del propio individuo.

* + 1. ***Efectos negativos sobre animales***

Igual que en las personas, el amoníaco influye en la salud de los animales de dos formas: por toxicidad aguda y por efectos crónicos.

La toxicidad aguda es un efecto directo y a corto plazo como consecuencia de una exposición a una alta concentración de amoníaco (>50 ppm), que provoca irritación de las mucosas en todas las especies animales (Roney et al., 2004), y reduce la ingestión de alimentos.

Los efectos crónicos se deben a la exposición prolongada a bajas concentraciones de amoníaco (<50 ppm), y se manifiesta principalmente en forma de enfermedades respiratorias y daños permanentes en las mucosas, así como irritaciones oculares.

* + 1. ***Efectos sobre la visibilidad***

La presencia de amoníaco incrementa la formación de aerosoles, que a su vez disminuyen la calidad de la atmósfera en cuanto a visibilidad, puesto que los aerosoles producen dispersión de la luz (Seinfeld, 1986).

* 1. ***EFECTOS AMBIENTALES DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)***

Los GEI son constituyentes de la atmósfera que absorben y re-emiten radiaciones. Al resultado final de este proceso se le llama ***efecto invernadero***, porque es un proceso parecido al que se produce en un invernadero de cristal, en el que las paredes de cristal permiten el paso de la luz hacia el interior, pero impiden la salida de la radiación infrarroja que se emite en el interior, produciéndose de ese modo un aumento de temperatura en el interior del invernadero.

A nivel global los GEI permiten pasar la radiación visible que procede del sol, pero impiden el paso hacia el espacio exterior de más del 90% de la radiación infrarroja que emite la Tierra.

Así un desequilibrio en las concentraciones de los gases que participan en el fenómeno de la absorbancia de radiaciones puede llevar a un desequilibrio energético entre la Tierra y el exterior.

Según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (IPCC, 2013), los seis gases principales con efecto invernadero son los siguientes:

* Dióxido de Carbono (CO2)
* Metano (CH4)
* Óxido Nitroso (N2O)
* Hidrofluorocarbonos (HFC)
* Perfluorocarbonos (PFC)
* Hexafluoruro de azufre (SH6)

De todos ellos los tres primeros son los más importantes, ya que su contribución relativa al cambio climático de origen antropogénico es de un 50-60% para el CO2, sobre un 30% para el CH4 y aproximadamente un 6% para el N2O (IPCC, 2013).

* + 1. ***Dióxido de Carbono***

Desde el punto de vista del cambio climático es el gas más importante (Crutzen y Leieveld, 2001), y es el segundo en importancia después del vapor de agua en cuanto a impacto radiativo, es decir, a producción de efecto invernadero (Seinfeld y Pandis, 1998).

A pesar de ello las emisiones de CO2 no se consideran en los Inventarios Nacionales de Emisiones en el apartado de Agricultura, ya que resulta complicado situar al sector agrario en el marco de la producción de CO2 debido a que este sector es a la vez fuente y sumidero de CO2 (European Environment Agency, 2005).

* + 1. ***Metano***

El metano es el hidrocarburo más abundante en la atmósfera y uno de los gases orgánicos más abundantes (Minani, 1997). La producción mundial de metano es de unas 535 Tg al año, de los que 375 son de origen antropogénico, y de éstos unos 100 Tg proceden directamente de la ganadería (Seinfeld y Pandis, 1998).

La actual preocupación por el fenómeno del cambio climático ha alentado la realización de investigaciones acerca de la presencia de metano en la atmósfera. Así, las investigaciones de Blake y Rowland (1988) y de Khalil y Rassmunssen (1990) concluyeron que existe un incremento anual de la concentración de metano atmosférico, siendo este incremento anual de un 4% entre los años 1990 y 1999.

Según los expertos del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático de Naciones Unidas (IPCC, 2014) el metano es el segundo mayor contribuyente al calentamiento global tras el dióxido de carbono. Su capacidad de absorber radiaciones de onda larga es del orden de 20 veces superior a la del CO2, de ahí su importancia en el proceso global de cambio climático.

* + 1. ***Óxido nitroso***

El óxido nitroso tiene importancia como gas responsable del cambio climático debido principalmente a su elevada capacidad de efecto invernadero y a su larga persistencia en la atmósfera.

La ganadería es responsable de aproximadamente el 10% de las emisiones a nivel global (IPCC, 2014), por lo que la emisión de este gas es una cuestión muy a tener en cuenta.

* 1. ***MARCO LEGAL***

Según estimaciones del IPCC (2013) los datos recogidos acerca del cambio climático llevan a la conclusión de que se está produciendo un período de calentamiento global cuyos efectos se han analizado con objeto de realizar predicciones sobre el comportamiento futuro del clima y las consecuencias que podría conllevar.

Considerando todas estas predicciones, diferentes países ya hace años decidieron tomar medidas al respecto para tratar de mitigar este proceso abierto. Acuerdos como el *Convenio de Ginebra sobre contaminación atmosférica transfronteriza* (1979), la *Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático* (1992) o el *Protocolo de Kyoto* (UNFCCC, 1997) recogían los compromisos de determinados países a este respecto que se materializaron en los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero de IPCC y compromisos de reducción de emisiones. Dado que los compromisos del protocolo de Kyoto expiraban en 2012, se han realizado desde entonces diversas reuniones con objeto de llegar a un acuerdo que lo sustituya, sin resultados hasta el momento. Siguiendo los mismos principios marcados por estos acuerdos se han desarrollado exigentes legislaciones en materia ambiental a nivel Europeo principalmente:

* Directiva 2001/81/CE sobre techos nacionales de emisión.
* Directiva 2003/87/EC sobre comercio de emisiones.
* Reglamento 2006/166/CE relativo al establecimiento de un registro europeo de emisiones y transferencia de contaminantes.
* Directiva 2008/50/CD relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa.
* Directiva 2010/75/CE de emisiones industriales.

La actividad agraria y ganadera no es ajena a este proceso de emisión de gases contaminantes, y por tanto se halla sujeta a la legislación vigente.

* 1. ***OBJETIVOS***

Con el fin de que los ganaderos de porcino puedan conocer, de una forma práctica y precisa, el nivel de las emisiones de su explotación, el objetivo de este trabajo es realizar un modelo de cálculo que permita estimar las emisiones de amoníaco, metano y óxido nitroso producido por una granja de reproductoras de ganado porcino en régimen intensivo, partiendo del conocimiento de los distintos tipos de animales presentes en la explotación y de sus respectivas dietas.

Éste modelo se validará utilizando granjas tipo españolas con datos procedentes de la base de datos del porcino español (BDPorc, 2015). Se realizará también un análisis de sensitividad para determinar los parámetros con una mayor influencia sobre las emisiones de las explotaciones

1. **DESCRIPCIÓN DEL MODELO**
   1. ***DESCRIPCIÓN GENERAL***

El modelo de cálculo se ha realizado utilizando como base un Libro del software Microsoft Excel ®. Así, el modelo se construye como un libro que consta de 3 hojas. Una primera hoja de entrada de datos, una segunda hoja donde se realizan todos los cálculos, y una tercera hoja de salida de resultados.

El modelo (Figura 1) está basado en un balance alimentario en el que se tienen en cuenta por un lado las necesidades alimentarias de los animales y por otro lado las características de los piensos. A partir de esto se calculan las excretas de nutrientes, sobre las que se estiman las emisiones.

|  |
| --- |
| Gases contaminantes  NH3, N2O, CH4  Otros productos  Excreción  Necesidades energéticas del animal  Ingestión de energía, proteína  y materia seca |

Figura 1. Esquema del balance de nutrientes y emisiones de gases contaminantes utilizado para el desarrollo del modelo.

Conocer las características de los piensos es fundamental porque es uno de los parámetros que más influye sobre las emisiones, ya que éstas van a determinar la cantidad y composición de las deyecciones, que tienen una relación directa con las emisiones de CH4, N2O y NH3.

Las necesidades de energía metabolizable (EM) de los animales se calcularán a partir de las necesidades energéticas de mantenimiento, termorregulación, crecimiento, producción de leche y gestación.

Hecho lo anterior, conociendo el contenido en EM del pienso, se determinará la ingesta de materia seca de los animales. Por otro lado, conociendo el contenido de proteína bruta del alimento, se determina en nitrógeno ingerido a partir de la proteína aportada por el alimento, y seguidamente se calcula el nitrógeno retenido por los animales en sus distintas producciones, es decir, el nitrógeno retenido en el crecimiento y la gestación.

Haciendo un balance entre nitrógeno ingerido con el alimento y nitrógeno retenido, se obtiene el nitrógeno total excretado por los animales, necesario para calcular las emisiones de compuestos nitrogenados.

Por último, en base a la cantidad de materia seca ingerida y su digestibilidad, se calcula la excreta de sólidos volátiles con las deyecciones, para estimar la emisión de CH4.

No obstante todo lo anterior, las necesidades alimentarias de cada tipo de animal presente en la explotación no son las mismas, como tampoco es el mismo el alimento que se les proporciona. Por ello es necesario previamente a todo lo anterior, determinar cuáles son los distintos tipos de animales (categorías de animales), con características alimentarias y fisiológicas similares, que están presentes en la explotación.

Con objeto de poder llevar a cabo todo lo anteriormente citado, es necesario hacer una recopilación de datos de la explotación. Estos datos son solicitados al ganadero en la primera hoja del modelo, llamada “Entrada de datos”. En esta hoja se solicitan al ganadero los siguientes datos:

Datos sobre el número de animales

* Número total de cerdas adultas
* Tasa de reposición (%)
* Número total de verracos

Datos sobre tiempo que pasan los animales en cada categoría

* Días desde alta a 1ª cubrición fértil
* Duración de la lactación en días
* Intervalo destete-cubrición fértil en días

Datos sobre los lechones

* Lechones totales gestados en el año
* Lechones nacidos vivos en el año
* Lechones muertos en la lactancia en el año
* Peso medio al nacimiento
* Peso medio al destete

Datos sobre el alimento

* Energía metabolizable (MJ/kg)
* Energía bruta del alimento (MJ/kg)
* Digestibilidad de la materia seca (%)
* Proteína bruta (%)
  1. ***DETERMINACIÓN DEL CENSO DE LA EXPLOTACIÓN***
     1. ***Determinación de las categorías de animales presentes en la explotación.***

Como ya se ha comentado anteriormente, el primer paso es dividir la explotación en grupos de animales (categorías) que sean homogéneos entre sí, tanto desde el punto de vista productivo como nutricional. Para ello se han considerado las categorías que se recogen en la Tabla 1 (MARM, 2008).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Tabla 1.** Categorías de animales presentes en la explotación y su correspondencia con las categorías del Anuario de Estadística del MAGRAMA. | | | |
| **Categorías del Anuario del MAGRAMA** | **Categorías utilizadas en este trabajo** | **Siglas1** | **Edad (meses)** |
| Lechones (6 - 20 kg) | Lechones destetados | k1 | 1 a 2 |
| Cerdo de 20 - 49 kg | Cerdo de 20 – 49 kg | k2 | 2 a 3,5 |
| Cerdo de 50 – 79 kg | Cerdo 50 – 79 kg | k3 | 3,5 a 5 |
| Cerdo de 80 – 109 kg | Cerdo 80 – 109 kg | k4 | 5 a 6,5 |
| Cerdo >110 kg | Cerdo >110 kg | k5 | >6,5 |
| Verracos (>50 kg) | Verracos jóvenes | k6 | >3,5 |
| Verracos adultos | k7 | >12 |
| Reproductora que nunca ha parido no cubierta | Reproductora no cubierta | k8 | 3,5 a 6,5 |
| Reproductora cubierta 1ª vez sin partos | Reproductora en 1ª gestación | k9 | 6,5 a 12 |
| Reproductora con partos cubierta | Reproductora en gestación | k10 | >12 |
| Reproductora criando y en reposo2 | Reproductoras criando por 1ª vez | k11 | >12 |
| Reproductoras criando | k12 |
| Reproductoras en reposo por 1ª vez | k13 |
| Reproductoras en reposo | k14 |
| 1Siglas utilizadas en el presente trabajo para referirse a las correspondientes categorías animales  2Se corresponde con la categoría “Reproductora que ya ha parido cubierta”  Fuente: MARM, 2008 | | | |

* + 1. ***Determinación de la cantidad de animales presentes de cada categoría***

Como se ha comentado, se debe partir de datos que el ganadero pueda conocer con facilidad, y que se deben clasificar en las categorías animales comentadas. Así pues los datos solicitados al ganadero necesarios para abordar este cálculo serán los siguientes:

* Número total de cerdas adultas K10+K11+K12 (na)
* Tasa de reposición en tanto por cien (TR)
* Número total de verracos (nv)
* Días desde alta a 1ª cubrición fértil (ac)
* Duración de la lactación en días (dl)
* Intervalo destete-cubrición fértil en días (dc)

A partir de estos datos calculamos la cantidad de hembras jóvenes (nj) en la explotación (k8+k9+k12+k13), y la duración del proceso productivo (pp), que nos serán necesarios para cálculos posteriores mediante las Ecuaciones 1 y 2:

**Ecuación 1**

|  |
| --- |
|  |

**Ecuación 2**

|  |
| --- |
|  |

Donde:

Dg: duración de la gestación (115 días)

Con todos estos datos podemos calcular ya cuántos animales de cada categoría hay presentes en la explotación de la siguiente manera:

**Hembras adultas:**

El número total de hembras adultas se ha repartido proporcionalmente a la duración de los tres estados (reposo, gestación y crianza) en los que pueden encontrarse.

**Hembras jóvenes:**

Su número es una proporción de las adultas, que viene dado por la tasa de reposición. La proporción de animales en cada estado se ha hecho como en el caso de las adultas, incluyendo el periodo de reposición antes de entrar en servicio (k8).

**Verracos:**

Los verracos se adquieren con 3.5 meses de edad, y se consideran jóvenes (en crecimiento) hasta que tienen 12 meses. Después permanecen otro año en la explotación, siendo considerados como verracos adultos. Así, del total de 20,5 meses que permanecen en la explotación, los verracos se consideran durante 8,5 meses como jóvenes y 12 meses como adultos (MARM, 2008).

Las ecuaciones (3 a 11) para el cálculo exacto del número de animales presentes en cada una de estas categorías se muestran en la Tabla 2.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tabla 2.** Ecuaciones de cálculo de la cantidad de animales de cada categoría | | |
|  | **Categoría** | **Cantidad de animales** |
| Ecuación 3 | Verracos jóvenes |  |
| Ecuación 4 | Verracos adultos |  |
| Ecuación 5 | Reproductora no cubierta |  |
| Ecuación 6 | Reproductora en 1ª gestación |  |
| Ecuación 7 | Reproductora en gestación |  |
| Ecuación 8 | Reproductoras criando por 1ª vez |  |
| Ecuación 9 | Reproductoras criando |  |
| Ecuación 10 | Reproductoras en reposo por 1ª vez |  |
| Ecuación 11 | Reproductoras en reposo |  |

* 1. ***ESTIMACIONES SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ANIMALES***

Para llevar a cabo la estimación de las necesidades alimentarias de los animales, es necesario conocer el peso inicial, final y medio de cada categoría de animales.

Ante la imposibilidad práctica para el ganadero de pesar a todos sus animales al principio y al final de cada estado en cada período productivo, se han estimado los pesos iniciales y finales de los animales en base al documento del MARM (2008). Así, estimando estos datos, y conociendo la duración de cada estado del período productivo (bien por ser proporcionados por el ganadero, o bien por ser fijos como la duración de la gestación), podemos estimar la ganancia media de peso diaria de los animales, necesaria a la hora de realizar los balances alimentarios, tal como se indica en la Ecuación 12.

**Ecuación 12.** Ganancia de peso media diaria

|  |
| --- |
|  |

Únicamente se ha hecho una excepción a este proceso en el caso de la categoría k8 (reproductora no cubierta nunca) ya que es imposible determinar su peso inicial porque éste dependerá del momento en que entre en la explotación. En este caso se ha optado por estimar la ganancia media diaria, y con este dato y conocido el tiempo que el animal está en la explotación a la espera de su primera cubrición, podemos estimar el peso que tenía al incorporarse a la explotación. La Tabla 3 recoge la información correspondiente a este apartado para cada una de las categorías consideradas.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Tabla 3.** Pesos iniciales, finales y ganancia de peso estimados para cada categoría animal | | | |
| **Categoría** | **Peso inicial (kg)** | **Peso final (kg)** | **Ganancia media diaria (kg)** |
| K6 Verracos jóvenes | 51 | 161 |  |
| K7 Verracos adultos | 161 | 270 |  |
| K8 Cerda jóven no cubierta nunca en EC |  | 127 | 0.69 |
| K9 Cerda jóven gestante | 127 | 172 |  |
| K11 Cerda jóven criando | 141 | 141 |  |
| K13 Cerda en reposo por primera vez | 141 | 141 |  |
| K14 Cerda adulta en reposo | 201 | 201 |  |
| K10 Cerda gestante | 201 | 245 |  |
| K12 Cerda criando | 201 | 201 |  |
| Fuente: MARM (2008) | | | |

Por otra parte, la Ecuación 13 permite calcular el número de períodos productivos por año.

**Ecuación 13**. Número de períodos productivos al año

|  |
| --- |
|  |

* 1. ***NECESIDADES ENERGÉTICAS DE LOS ANIMALES***

Para conocer las necesidades energéticas de los animales se calcula la energía metabolizable total a partir de las necesidades energéticas productivas y no productivas (MARM, 2008).

A continuación se presentan los métodos de estimación de los diferentes tipos de necesidades que se deben cubrir:

***2.4.1 Necesidades diarias de energía no productiva***

La energía no productiva es aquella que necesita el animal para cubrir sus requerimientos no relacionados con los parámetros de crecimiento o reproducción. Así, incluye las necesidades energéticas de mantenimiento y termorregulación.

***2.4.1.1 Energía metabolizable para el mantenimiento***

La energía metabolizable para el mantenimiento cubre los gastos de metabolismo basal del animal, incluyendo un 15% de incremento por gastos de actividad física (MARM, 2008). Según De Blas *et al.* (2006) se calcula según la Ecuación 14.

**Ecuación 14.** Energía metabolizable para el mantenimiento

Donde:

PV: Peso medio del animal de la categoría correspondiente (kg)

***2.4.1.2 Energía metabolizable para la termorregulación***

La energía metabolizable para la termorregulación varía en función de la categoría de animal de la que se trate, del peso medio del animal (que se estima en este trabajo) y de la temperatura ambiente, ya que existe una temperatura crítica por debajo de la cual el animal empieza a consumir energía para la termorregulación (De Blas *et al.*, 2013). La Tabla 4 recoge la información sobre el peso medio y la temperatura crítica para cada una de las categorías animales.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tabla 4.** Datos para el cálculo de la energía metabolizable para la termorregulación (EMt) | | |
| **Categorías estudiadas** | **Peso medio estimado PV** | **Temperatura crítica (ºC)** |
| K8 Cerda joven no cubierta nunca en EC | (1) | 20.52 |
| K9 Cerda joven gestante | 149.5 | 14 |
| K11 Cerda joven criando | 141 | 15 |
| K13 Cerda en reposo por primera vez | 141 | 19 |
| K14 Cerda adulta en EC | 201 | 19 |
| K10 Cerda gestante | 223 | 14 |
| K12 Cerda criando | 201 | 15 |
| K6 Verracos jóvenes | 106 | 20.5 |
| K7 Verracos adultos | 215.5 | 19 |
| 1Tal como se explicó en el punto 2.3, el peso medio de las cerdas de la categoría k8 no es estimable. Así el peso vivo medio de esta categoría se obtiene de la casilla correspondiente de la hoja de cálculo.  2La temperatura crítica corresponde a cerdos en crecimiento de 90 kg.  Fuente: De Blas *et al*. (2013) | | |

**2.4.1.2.1 Energía metabolizable para la termorregulación en cerdas gestantes y criando.**

La ecuación 15 determina el cálculo de esta energía (De Blas *et al*., 2013):

**Ecuación 15.** Energía metabolizable para la termorregulación en cerdas gestantes y criando

|  |
| --- |
|  |

Donde:

PV: Peso vivo del animal (kg)

Tc: Temperatura crítica (ºC)

Tamb: Temperatura ambiente (ºC)

EMt: Energía metabolizable para termorregulación (MJ/kg). Este valor es de 0.012 para la categoría k9, 0.01 para la k10, 0.014 para la k11, y 0.013 para la k12 (De Blas *et al*., 2013).

**2.4.1.2.2 Energía metabolizable para la termorregulación en verracos y hembras en reposo.**

En este apartado se han tomado los datos de De Blas *et al*. (2013) para cerdos en crecimiento. La ecuación a aplicar es la 16:

**Ecuación 16.** Energía metabolizable para la termorregulación para verracos y hembras en reposo y espera de cubrición.

|  |
| --- |
|  |

Donde:

PV: Peso vivo del animal (kg)

Tc: Temperatura crítica (ºC)

Tamb: Temperatura ambiente (ºC)

* + 1. ***Necesidades diarias de energía productiva***

La energía productiva comprende las necesidades energéticas del animal para sus requerimientos para el crecimiento, lactación y gestación, según el tipo de animal. A continuación se describe cada una de estas energías.

* + - 1. ***Energía metabolizable para el crecimiento***

Se estima utilizando la ecuación 17 (De Blas *et al*., 2006)

**Ecuación 17**. Energía metabolizable para el crecimiento

|  |
| --- |
|  |

Donde:

Fracgrasa: Fracción de grasa en cada kg de incremento de peso

53.3: Coste energético de la síntesis de grasa (MJ EM/kg)2 (De Blas *et al*., 2006)

Fracproteína: Fracción de proteína en cada kg de incremento de peso

50.6: Coste energético de la síntesis de proteína (MJ EM/kg)2 (De Blas *et al.*, 2006)

GMD: Ganancia media diaria, calculada según la Ecuación 12

Los coeficientes de ganancia de peso en forma de grasa y proteína para cada categoría animal se recogen en la Tabla 5.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Tabla 5.** Coeficientes de estimación de la ganancia de grasa (Fracgrasa) y proteína (Fracproteína) | | |
| **Categorías estudiadas que tienen crecimiento** | **Fracgrasa** | **Fracproteína** |
| K8 Cerda joven no cubierta nunca en EC | 0.281 | 0.153 |
| K9 Cerda joven gestante | 0.28 | 0.153 |
| K6 Verracos jóvenes | 0.203 | 0.161 |
| K7 Verracos adultos | 0.203 | 0.161 |
| 1Según De Blas *et al*. (2013), se asigna una fracción de grasa de 0.28 a las hembras con un peso mayor de 95 kg. Dado que las hembras llegan a su primera cubrición con un peso de unos 127 kg, pasan al menos la mitad del tiempo que están en la explotación pesando más de 95 kg (y eso aun suponiendo que lleguen a la explotación con 3,5 meses y 50 kg). Podría ocurrir que llegaran a la explotación con más edad y por tanto más peso, con lo que la proporción de tiempo que están con más de 95 kg aumenta.  Fuente: De Blas *et al*., 2013 | | |

* + - 1. ***Energía metabolizable para la producción de leche***

Esta estimación se realiza de modo indirecto, a través de la ganancia de peso de la camada y de la concentración energética del lechón. Se calcula según la ecuación 18.

**Ecuación 18**. Energía metabolizable para la producción de leche

|  |
| --- |
|  |

Donde:

0.02859: Coste energético de la ganancia de peso del lechón (MJ EM/g)3

GMDlechón: Ganancia de peso media diaria del lechón lactante (g/día.lechón)

Pl: Duración del período de lactación (días)

0.52319: Término independiente de la regresión (MJ EM/día.lechón)

nce: Número de lechones criados efectivos por año y plaza de lactación, calculado según la ecuación 19

**Ecuación 19**. Número de lechones criados efectivos por año y plaza de lactación

|  |
| --- |
|  |

Donde:

ncec: Número de lechones criados efectivos por camada. Son los lechones que han superado el ciclo de lactación, teniendo en cuenta que la inmensa mayoría (70%) de los lechones muertos en la lactación, mueren en los primeros 2-4 días, por lo que no han consumido leche. De hecho, esta precisamente es la causa de la muerte. Se calcula según la ecuación 20.

Pta: Número total de partos al año en la explotación, calculado según la ecuación 21.

**Ecuación 20.** Número de lechones criados efectivos por camada

|  |
| --- |
|  |

Donde:

lv: Número de lechones nacidos vivos por parto

lm: Número de lechones muertos durante la lactancia por cada parto

**Ecuación 21**. Número total de partos al año en la explotación

|  |
| --- |
|  |

Donde:

ki: Número de animales presentes de la categoría i.

* + - 1. ***Energía metabolizable para la gestación***

El cálculo de la energía metabolizable para la gestación se obtiene como la suma de las energías metabolizables atribuibles al crecimiento del feto y anexos, a la ganancia de peso de la ubre, y a la ganancia de reservas de la propia cerda (ecuación 22). Si bien es cierto que en las reproductoras en primera gestación no hay ganancia de reservas de la cerda, correspondiendo todo el incremento de peso al crecimiento del feto y anexos, y a la ganancia de peso de la ubre (De Blas *et al*., 2006).

**Ecuación 22**. Energía metabolizable para la gestación

|  |
| --- |
|  |

A continuación se detalla el cálculo de cada una de estas energías:

* + - * 1. **Energía metabolizable para el crecimiento del feto y anexos**

**Ecuación 23.** Energía metabolizable para crecimiento del feto y los anexos

|  |
| --- |
|  |

Donde:

10.88: Valor energético del lechón (MJ EM/kg) (MARM, 2008)

Pnac: Peso al nacimiento del lechón

ng: Número de lechones gestados al año por plaza de gestación. Se calcula mediante la ecuación 24:

**Ecuación 24.** Número de lechones gestados al año por plaza de gestación

|  |
| --- |
|  |

Donde:

lp: Número de lechones nacidos por parto (nacidos vivos más muertos durante el parto).

Pta: Partos totales en el año en la explotación, calculado según la ecuación 21.

npg: Número total del plazas de gestación, calculado como la suma total de las cantidades de animales de las categorías k9 y k10

* + - * 1. **Energía metabolizable para la ganancia de reservas**

Esta energía es aplicable sólo a la categoría de reproductoras en gestación (k10), y se calcula según la ecuación 25 (MARM, 2008):

**Ecuación 25.** Energía metabolizable necesaria para la ganancia de reservas

|  |
| --- |
|  |

Donde:

∆reservas : Ganancia de reservas. Representa el peso que las cerdas en gestación ganan a lo largo del período productivo. Para su cálculo se utilizan los pesos inicial y final recogidos en la tabla 3. El incremento de peso es la ganancia de reservas.

20.08: Valor energético de la ganancia de reservas de la cerda (MJ EM/kg)

Pg: Duración del período de gestación, es decir 115 días

* + - * 1. **Energía metabolizable para la ganancia de peso de la ubre**

Se considera que para la ganancia de peso de la ubre se necesitan entre 0.711 y 0.837 MJ/día entre los días 80 y 114 de la gestación, siendo el promedio de 0.774 MJ/día (De Blas *et al*., 2006). Así, el modo de calcularlo será mediante la ecuación 26:

**Ecuación 26**. Energía metabolizable necesaria para la ganancia de peso de la ubre (EMganancia peso ubre)

|  |
| --- |
|  |

* + 1. ***Energía total necesaria de la ingesta***

A partir de los datos obtenidos en el apartado anterior se estima la energía diaria necesaria para cada tipo de animal, mediante la ecuación 27.

**Ecuación 27.** Energía total necesaria de la ingesta

|  |
| --- |
|  |

Donde:

EMm: Energía metabolizable para el mantenimiento, calculada según la ecuación 14.

EMt: Energía metabolizable para la termorregulación, según las ecuaciones 15 y 16.

EMc: Energía metabolizable para el crecimiento, calculada según la ecuación 17.

EMl: Energía metabolizable para la producción de leche, calculada según la ecuación 18.

EMg: Energía metabolizable para la gestación, calculada según la ecuación 22.

Además se debe considerar que a lo largo de la lactación las cerdas movilizan reservas de energía previamente acumuladas durante la gestación, y que se estiman en 13.7 MJ/día, de acuerdo con las normas de la BSAS (2003).

Así la ecuación correspondiente a la energía total necesaria de la ingesta para las categorías de reproductoras criando (k11 y k12) será:

**Ecuación 28.** Energía total necesaria de la ingesta para las categorías de reproductoras criando (k11 y k12)

|  |
| --- |
|  |

* 1. ***DIETA DE LOS ANIMALES. ENTRADA DE ENERGÍA, PROTEÍNA Y MATERIA SECA***

Con objeto de poder realizar los balances nutricionales, es necesario conocer la dieta de los animales. Para ello se solicitan al ganadero los siguientes datos del alimento de cada una de las categorías de animales:

* Energía metabolizable (MJ/kg)
* Energía bruta (MJ/kg)
* Digestibilidad de la Materia Seca (%)
* Proteína bruta (%)

***2.5.1 Consumo de materia seca a través del alimento***

Dado que ya se han calculado las necesidades de energía metabolizable (EM) de los animales de las distintas categorías (MJ/día), y conociendo el contenido en EM del pienso (MJ/kg), que es un dato que proporcionará el ganadero, se determina la ingesta de materia seca de los animales (kg/día) (Figura 2), lo cual implicará a su vez una ingesta de una cierta cantidad de proteína, que depende del porcentaje de proteína presente por kg de materia seca del alimento.

|  |
| --- |
| Consumo de pienso  (Kg/día)  Necesidades de  EMtotal diaria (MJ/día)  EMpienso (MJ/kg) |

Figura 2. Cálculo del consumo de pienso diario

Así, la cantidad de materia seca consumida diariamente por los animales se obtiene a partir de la energía requerida por cada categoría animal y su correspondiente aporte energético por parte del alimento tal como se indica en la ecuación 29.

**Ecuación 29.** Consumo de materia seca diaria (MStotal diaria)

|  |
| --- |
|  |

Donde:

EMtotal diaria: Energía metabolizable total (MJ/día), calculada según la ecuación 27 (o ecuación 28 cuando se trate de las categorías k11 y k12). Representa las necesidades energéticas del animal.

EMalimento: Energía metabolizable del alimento (MJ/kg). Representa el aporte energético de los alimentos.

Esta energía metabolizable diaria se transforma en anual simplemente multiplicando por los 365 días que tiene un año, ya que en todo momento la cantidad de animales de cada categoría permanece constante a lo largo del año.

**Ecuación 30.** Consumo de materia seca anual (MStotal anual)

|  |
| --- |
|  |

* 1. ***BALANCE DE NITRÓGENO***

Conociendo el contenido de proteína bruta del alimento, se determina el nitrógeno ingerido a partir de la proteína aportada por el alimento, y seguidamente se calcula el nitrógeno retenido por los animales en sus distintas producciones, es decir, el nitrógeno retenido en el crecimiento y la gestación.

Haciendo un balance entre nitrógeno ingerido con el alimento y nitrógeno retenido, se obtiene el nitrógeno total excretado por los animales, necesario para calcular las emisiones de compuestos nitrogenados (Figura 3).

* + 1. ***Entrada de Nitrógeno***

A partir de la proteína ingerida se determina el nitrógeno ingerido, aplicando el contenido de proteína bruta del alimento, expresado en % sobre la materia seca, y considerando que la PB contiene un 16% de nitrógeno, lo que supone un factor de conversión de 1/6.25 (kg de N por kg de PB).

**Ecuación 31.** Nitrógeno ingerido anual (NIanual)

|  |
| --- |
|  |

Donde:

MStotal anual: Materia seca total anual (kg/año), calculada según la ecuación 30.

PBalimento: Contenido en proteína bruta del alimento (% sobre MS). Información solicitada al ganadero a partir de la composición del alimento.

|  |
| --- |
| Consumo Materia Seca (kg/día)  (% Proteína bruta) (kg PB/kg MS)  Emisiones  Excreta  Necesidades para:   * Crecimiento * Crecimiento de los lechones lactantes * Gestación   Ingesta de Nitrógeno  (kg/día) |

Figura 3. Balance de nitrógeno

* + 1. ***Retención de nitrógeno***
       1. ***Nitrógeno retenido en el crecimiento***

Para las categorías de animales en crecimiento (cerdas no cubiertas k8, cerdas en su primera gestación k9, verracos jóvenes k6 y verracos adultos k7) se calcula según la ecuación 32 (De Blas *et al*., 2006):

**Ecuación 32.** Retención anual de nitrógeno en el crecimiento (NRcrecimiento)

|  |
| --- |
|  |

Donde:

Fracproteína: Unidad de proteína retenida por unidad de peso ganado. Valores en tabla 5.

Pfinal: Peso final del animal en la categoría. Valores en tabla 3.

Pinicial: Peso inicial del animal en la categoría. Valores en tabla 3.

Nº períodos/año: número de períodos productivos en un año, calculados según la ecuación 13.

* + - 1. ***Nitrógeno retenido en el crecimiento de los lechones lactantes***

Los lechones lactantes retienen 0.155 kg de proteína bruta por cada kg de ganancia de peso (Noblet y Etienne, 1987). Así pues, en las categorías de Reproductora joven criando por primera vez (k11) y Reproductora criando (k12) la retención de nitrógeno debida al crecimiento de los lechones viene determinada por la ecuación 33.

**Ecuación 33.** Retención de nitrógeno anual en los lechones lactantes (NRcrec lechones)

|  |
| --- |
|  |

Donde:

Pfinal: Peso medio al destete del lechón. Dato proporcionado por el ganadero.

Pinicial: Peso medio al nacimiento del lechón. Dato proporcionado por el ganadero.

nce: Número de lechones criados efectivos al año por plaza de lactación, calculado según la ecuación 19.

* + - 1. **Nitrógeno retenido en la gestación**

El nitrógeno retenido en la gestación se estima a partir del número de lechones gestados por parto, del peso al nacimiento del lechón y del contenido en proteína del lechón recién nacido, que se considera que es un 20% (Kyriazakis y Whitemore, 2006). Obviamente se aplica sólo a las categorías de cerdas gestantes (k9 y k10).

Así la retención de proteína en la gestación, por año y animal (NRgestación) se calcula según la ecuación 34.

**Ecuación 34.** Retención de nitrógeno anual en la gestación

|  |
| --- |
|  |

Donde:

ng: Número de lechones gestados por plaza de gestación, calculado según la ecuación 24.

Pinicial: Peso medio al nacimiento del lechón. Dato proporcionado por el ganadero.

* + - 1. ***Nitrógeno retenido total***

El nitrógeno retenido total al año es la suma del nitrógeno retenido en el crecimiento (tanto en animales en crecimiento como en lechones lactantes) y en la gestación, y se obtiene mediante la ecuación 35.

**Ecuación 35.** Nitrógeno total retenido anualmente (NRtotal anual)

|  |
| --- |
|  |

Donde:

NRcrecimiento: Nitrógeno retenido en el crecimiento, según las ecuaciónes 32 y 33.

NRgestación: Nitrógeno retenido en la gestación, calculado según la ecuación 34.

* + 1. ***Nitrógeno total excretado por animal***

Se obtiene como resultado del balance entre las entradas de nitrógeno, aportado por la materia seca consumida, y las cantidades de nitrógeno retenido, según la ecuación 36.

**Ecuación 36.** Nitrógeno total excretado anualmente (NEtotal anual)

|  |
| --- |
|  |

Donde:

NIanual: Nitrógeno ingerido anualmente, calculado según la ecuación 31.

NRtotal anual: Nitrógeno total retenido anualmente, calculado según la ecuación 33.

* + 1. ***Nitrógeno total excretado en la explotación***

Para averiguarlo primero se calcula el nitrógeno total excretado por el total de animales de cada categoría mediante la ecuación 37.

**Ecuación 37.** Nitrógeno total excretado por cada categoría de animales (NEtotal cat)

|  |
| --- |
|  |

Donde:

ni: Cantidad de animales de la categoría “i” presentes en la explotación.

NEtotal anual i:Nitrógeno total excretado anualmente por cada animal de la categoría i (kg/año).

Así se debe obtener el resultado de la ecuación 37 para cada una de las categorías de animales, hecho lo cual se calcula el total de nitrógeno excretado anualmente por el conjunto de la explotación, según la ecuación 38.

**Ecuación 38.** Nitrógeno total anual excretado por el conjunto de la explotación.

|  |
| --- |
|  |

Donde:

: Suma de las cantidades de nitrógeno excretadas por cada categoría animal.

* 1. ***EXCRECIÓN DE SÓLIDOS VOLÁTILES***

La excreción de sólidos volátiles por los animales tiene una incidencia directa sobre la emisión de CH4 producidas en la gestión de las deyecciones. De acuerdo con IPCC (2006), esta excreción de sólidos volátiles se calcula de la siguiente manera:

**Ecuación 39.** Excreción diaria de sólidos volátiles (SV) en kg MS/año

|  |
| --- |
|  |

Donde:

MStotal anual: Materia seca consumida anualmente por animal (kg/año), según la ecuación 30.

EBalimento: Energía bruta del alimento (MJ/kg). Información solicitada al ganadero a partir de la composición del alimento.

DE: Digestibilidad de la materia seca ingerida (fracción). Información solicitada al ganadero a partir de la composición del alimento.

Fracorina: Fracción de la energía bruta perdida en la orina. En porcino se estima en 0.02 (IPCC, 2006)

Czs: Proporción de cenizas en el estiércol de cada categoría animal. En porcino se considera un 0.02 (IPCC, 1997).

Como en el caso de la excreción de nitrógeno, el resultado obtenido de la ecuación 39 es un resultado por animal, por lo que es necesario obtener el total de la excreción de sólidos volátiles producidos por cada categoría (ecuación 40) para a continuación sumarlos y obtener el total de sólidos volátiles producidos por el conjunto de la explotación (ecuación 41).

**Ecuación 40.** Sólidos volátiles excretados anuales por cada categoría (SVtotal cat)

|  |
| --- |
|  |

Donde:

ni: Cantidad de animales de la categoría i presentes en la explotación.

SVtotal anual i:Sólidos volátiles totales excretados anualmente por el conjunto de animales de la categoría i (kg/año).

**Ecuación 41.** Sólidos volátiles totales anuales excretados por el conjunto de la explotación.

|  |
| --- |
|  |

Donde:

: Suma de las cantidades de nitrógeno excretadas por cada categoría animal.

* 1. ***EMISIÓN DE METANO POR FERMENTACIÓN ENTÉRICA***

El metano de origen entérico se produce como parte de los procesos de fermentación asociados a la digestión de los componentes de la dieta, y por tanto la cantidad y calidad del alimento ingerido influye en la producción de CH4 entérico.

A nivel digestivo la generación de metano entérico supone una pérdida de energía en el proceso digestivo, que se cuantifica a través del factor Ym, que es la relación entre la energía perdida en forma de CH4 y la energía bruta ingerida. Este factor depende principalmente de la cantidad de alimento ingerido, de la composición de la dieta, y de la digestibilidad aparente de la energía de la dieta (Blaxter y Clapperton, 1965).

Así el factor de emisión de metano se calcula según la ecuación 42.

**Ecuación 42.** Factor de emisión de metano por fermentación entérica (FE)

|  |
| --- |
|  |

Donde:

EB: Energía bruta ingerida (MJ/año), calculada mediante la ecuación 43.

**Ecuación 43.** Energía bruta ingerida (EB)

|  |
| --- |
|  |

Donde:

MStotal anual: Materia seca total ingerida al año (kg/año), calculada según la ecuación 28.

EBalimento: Energía bruta del alimento (MJ/kg). Información solicitada al ganadero a partir de la composición del alimento.

Ym: Tasa de conversión de CH4. Es la fracción de energía bruta del alimento que se transforma en CH4. Dicho valor para cada categoría de animal se recoge en la tabla 6.

|  |  |
| --- | --- |
| **Tabla 6.** Tasa de conversión de metano para las categorías de ganado porcino estudiadas. | |
| **Categorías estudiadas** | **Ym** |
| K8 Cerda jóven no cubierta nunca en EC | 0.65 |
| K9 Cerda jóven gestante | 1.05 |
| K11 Cerda jóven criando | 0.9 |
| K13 Cerda en reposo por primera vez | 1.051 |
| K14 Cerda adulta en reposo | 1.05 |
| K10 Cerda gestante | 1.05 |
| K12 Cerda criando | 0.9 |
| K6 Verracos jóvenes | 0.709 |
| K7 Verracos adultos | 0.99 |
| Fuente: Noblet y Shi, 1994 | |

Igual que se ha citado en los apartados de excreción de nitrógeno y de sólidos volátiles, procede ahora calcular la emisión de metano para cada categoría animal (ecuación 44) y para el total de la explotación (ecuación 45).

**Ecuación 44**. Emisión de metano por fermentación entérica por cada categoría de animales

|  |
| --- |
|  |

Donde:

ni: Cantidad de animales de la categoría i presentes en la explotación.

FEtotal anual i:Factor de emisión de metano anual para el conjunto de animales de la categoría i (kg/año).

**Ecuación 45**. Emisión de metano por fermentación entérica para el conjunto de la explotación.

|  |
| --- |
|  |

Donde:

: Suma de las cantidades de metano de origen entérico emitidas excretadas por cada categoría animal.

* 1. ***EMISIONES TOTALES DE NH3, N2O, Y CH4 EN LA EXPLOTACIÓN***

A partir del nitrógeno total emitido al año por cada categoría de animal, calculado según la ecuación 37, y del nitrógeno emitido por el total de la explotación, calculado según la ecuación 38, se puede calcular cuánto de ese nitrógeno se emitirá en forma de amoníaco y cuánto en forma de óxido nitroso.

De igual modo a partir de la cantidad de sólidos volátiles excretados al año en la explotación se calcula la cantidad de metano que se originará a partir de estos sólidos volátiles. Esta cantidad de metano, junto con la producida por fermentación entérica, dará el total de metano emitido por la explotación.

* + 1. ***Emisiones totales anuales de NH3***

El amoníaco se emite en dos fases, una primera dentro del alojamiento y una segunda durante el almacenamiento posterior de los purines en balsas.

Para calcular las emisiones en el alojamiento se considera un factor de emisión de 0.187 kg de NH3/kg de N excretado para animales reproductores, y de 0.238 para animales de cebo (Hutchings, N. et al., 2013)

Así, las emisiones de NH3 en reproductoras (categorías k8 a k 14) se calculan a partir de la ecuación 46.

**Ecuación 46.** Amoníaco total anual emitido por cada categoría de reproductoras en el alojamiento (NH3 año aloj repr i)

|  |
| --- |
|  |

Donde:

NEtotal cat i: Nitrógeno total anual excretado por el conjunto de animales de la categoría i, calculado según la ecuación 37.

Y las emisiones de NH3 en animales en cebo, en el presente caso los verracos (categorías k6 y k7), se calculan a partir de la ecuación 47.

**Ecuación 47.** Amoníaco total anual emitido por los verracos en el alojamiento (NH3 año aloj verr)

|  |
| --- |
|  |

Donde:

NEtotal cat i: Nitrógeno total anual excretado por el conjunto de animales de la categoría i, calculado según la ecuación 37.

Por otra parte, para calcular el amoníaco emitido durante el almacenamiento posterior, se considera un factor de emisión de 0.119 kg de NH3/kg de N disponible, siendo el N disponible el excretado menos el ya emitido como NH3 en el alojamiento (Hutchings, N. et al., 2013).

**Ecuación 48.** Amoníaco total anual emitido en el almacenamiento (NH3 almacen)

|  |
| --- |
|  |

Donde:

NEdisp: Nitrógeno total anual excretado disponible tras descontar el transformado en HN3 en el alojamiento, calculado según la ecuación 49.

**Ecuación 49.** Nitrógeno total anual excretado disponible (NE disp)

|  |
| --- |
|  |

Donde:

NEtotal anual explotación: Nitrógeno total anual excretado por el conjunto de la explotación, calculado según la ecuación 38.

NEaloj: Nitrógeno emitido en forma de amoníaco en el alojamiento, calculado según la ecuación 50.

**Ecuación 50.** Nitrógeno emitido en forma de amoníaco en el alojamiento(NE aloj)

|  |
| --- |
|  |

Donde:

NEtotal aloj verr: Suma del nitrógeno emitido en forma de amoníaco por el conjunto de las categorías de verracos.

NEtotal aloj verr: Suma del nitrógeno emitido en forma de amoníaco por el conjunto de las categorías de reproductoras.

* + 1. ***Emisiones totales anuales de N2O***

Aunque algunos autores anteriores dan un cierto factor de emisión de óxido nitroso, según Hutchings *et al*. (2013), el factor de emisión de N2O es cero para este tipo de animal y sistema de producción (se estima que el sistema de gestión de estiércoles está basado en sistemas líquidos, fosas bajo los animales).

* + 1. ***Emisiones totales anuales de CH4***

El metano emitido a partir los sólidos volátiles se determina mediante la ecuación 52 (MAGRAMA, 2014):

**Ecuación 52.** Metano total anual emitido a partir de los Sólidos Volátiles (CH4 anual de SV)

|  |
| --- |
|  |

Donde:

SVtotal anual explotación: Sólidos volátiles totales anuales excretados por el conjunto de la explotación.

El metano total emitido anualmente por el conjunto de la explotación es la suma del emitido a partir de los sólidos volátiles (ecuación 52) y el producido por fermentación entérica (ecuación 45), tal como expresa la ecuación 53:

**Ecuación 53.** Metano total anual emitido por la explotación (CH4 anual)

|  |
| --- |
|  |

Donde:

FEtotal anual explotación: Metano total anual producido por fermentación entérica, calculado según la ecuación 45.

CH4 anual de SV: . Metano total anual emitido a partir de los Sólidos Volátiles, calculado a partir de la ecuación 52.

1. **PUESTA A PUNTO DEL MODELO**

Una vez introducidas todas las fórmulas del apartado anterior en la hoja de cálculo con objeto de poder estimar de un modo sencillo e inmediato el nivel de emisiones de una explotación, se procede a realizar una serie de simulaciones para testar el modelo y, además, comparar el grado de emisión de gases contaminantes de las explotaciones en base a dos parámetros: en primer lugar se realiza una comparación entre explotaciones clasificadas en función de su productividad, y en segundo lugar en función de su tamaño.

Los datos de las explotaciones se han obtenido a través del Sistema electrónico de acceso al Banco de Datos de Referencia del Porcino Español (BDPorc, 2015).

Los datos obtenidos han sido:

* Lechones nacidos totales por camada
* Lechones nacidos vivos por camada
* Lechones destetados por camada
* Porcentaje de altas
* Número medio de cerdas presentes
* Período de lactación
* Intervalo destete-cubrición fértil
* Intervalo alta-primera cubrición
* Partos por cerda en producción y año
* Número de machos cubridores

Por otra parte para poder realizar los balances se han introducido datos de características de piensos tipo (MARM, 2008), que se resumen en la Tabla 7:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Tabla 7.** Características de los piensos tipo para las simulaciones | | | | |
| **Categorías** | **Energía metabolizable (MJ/kg)** | **Energía bruta (MJ/kg)** | **Digestibilidad de la energía (%)** | **Proteína bruta (%)** |
| K8 Cerda joven no cubierta nunca | 14,64 | 18,40 | 80 | 17,78 |
| K9 Cerda joven gestante  K13 Cerda en reposo por primera vez  K14 Cerda adulta en EC  K10 Cerda gestante | 13,48 | 18,30 | 74 | 16,22 |
| K11 Cerda jóven criando  K12 Cerda criando | 14,50 | 18,40 | 79 | 18,89 |
| K6 Verracos jóvenes | 14,15 | 18,30 | 76 | 17,78 |
| K7 Verracos adultos | 13,59 | 18,30 | 76 | 16,67 |
| Fuente: MARM, 2008 | | | | |

Para realizar estas simulaciones ha sido necesario dar un valor al dato de la temperatura media anual. El valor medio de la temperatura en España es de 14.6 grados, según datos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, 2015), y consideramos que el valor medio en el interior de las explotaciones será unos 3 grados superior al exterior. Así pues, estimamos que el valor medio anual será de 18 grados.

Se ha estimado también el peso inicial de los lechones en 1.5 kg, así como su peso al destete en 6.4 kg.

* 1. ***RESULTADOS POR PRODUCTIVIDAD***

Para realizar la simulación, los datos se han obtenido de e-BDporc organizados en tres categorías, que la misma base de datos clasifica como “España”, (resultados de todas las explotaciones españolas recogidas en la base de datos), “España mejores” y “España peores” (tercio superior e inferior respectivamente, en función de la productividad numérica). Los resultados obtenidos son coherentes con los cálculos del inventario de emisiones de España, si bien los factores de emisión implícitos (emisiones/animal) son ligeramente superiores en el presente trabajo (datos no mostrados), lo que podría deberse a que los datos de las granjas con las que se han realizado los cálculos en el presente trabajo tienen una productividad numérica mayor que las que se presentan en los datos del citado inventario de emisiones.

La Figura 4 recoge las emisiones de metano y amoniaco calculadas para las tres granjas tipo.

Figura 4. Emisiones en kg por año y granja. Granjas clasificadas por su productividad.

Los datos obtenidos en la figura 4 indican que las explotaciones con mejores índices técnicos tienen una mayor cantidad de emisiones en términos absolutos, lo que se explica por su alta productividad. En principio parece lógico pensar que a mayor cantidad de lechones producidos habrá una mayor cantidad de alimento consumido, que a su vez implica una mayor cantidad de emisiones.

Sin embargo, en la Figura 5 se observa también que por lechón producido son las mejores granjas las que tienen menores emisiones, lo que indica que las explotaciones más productivas tienen una mayor eficiencia y por ello una menor excreta de nitrógeno y sólidos volátiles por cada lechón producido.

Así, resulta evidente que las granjas con mejores índices técnicos son también más eficientes desde el punto de vista ambiental.

Figura 5. Emisiones en kg por lechón producido. Granjas clasificadas por su productividad.

* 1. ***RESULTADOS POR TAMAÑO DE LA EXPLOTACIÓN***

En este caso, con el fin de analizar el efecto del tamaño de la explotación sobre las emisiones de gases, se han organizado los resultados en tres categorías según su tamaño: más de 2000 animales, entre 501 y 1000 animales, y explotaciones de menos de 200 animales. La Figura 6 recoge los resultados de emisiones totales de amoniaco y metano calculadas para las tres granjas tipo.

Figura 6. Emisiones en kg por año y granja. Granjas clasificadas por su tamaño.

Los datos obtenidos en la figura 6 indican que cuanto mayor es el tamaño de las explotaciones mayor cantidad tienen de emisiones en términos absolutos, lo resulta absolutamente lógico y esperable, dado el mayor número de animales presentes en las explotaciones más grandes.

Por el contrario, los datos de la figura 7 indican que por lechón producido son las granjas de mayor tamaño las que producen menores emisiones, de donde podemos deducir que a medida que aumentan de tamaño, las granjas son más eficientes desde el punto de vista de las emisiones.

Figura 7. Emisiones en kg por lechón producido. Granjas clasificadas por su tamaño.

Este hecho se corresponde con una mejora en los índices técnicos recogidos en la base de datos BDPorc, siendo así que la eficiencia de las explotaciones aumenta con el tamaño.

* 1. ***ANÁLISIS DE SENSITIVIDAD***

Dado que son varios los factores que varían entre los diferentes tipos de explotaciones analizadas, se realiza un análisis de sensitividad con el fin de identificar los parámetros con una mayor influencia sobre las emisiones. Para ello, partiendo de los resultados medios de las explotaciones de España, se han modificado cuatro parámetros en un 5%, tomando dos valores por debajo de la media y dos valores por encima. Posteriormente se han calculado las emisiones por animal para cada caso. Los parámetros escogidos han sido el número de lechones nacidos vivos, el intervalo destete-cubrición fértil, la tasa de reposición, y la duración de la lactación, por considerarse los parámetros más significativos.

Como se observa en la figura 8, el parámetro que más influye en la producción de NH3 es la cantidad de lechones nacidos vivos, hecho que concuerda con los datos expuestos en el figura 5, que indican que las granjas más productivas (España mejores) producen menos emisiones que la media (España media), y producen 1,3 lechones más por parto que la media.

Figura 8. Análisis de sensitividad para la producción de NH3

Además, como se ha comentado, las granjas de mayor tamaño son las que producen menores emisiones, y por tanto las que producen una mayor cantidad de lechones. De hecho las granjas de tamaño mayor que 2000 animales producen 0.22 lechones más por parto que las granjas de tamaño menor que 200 animales.

Por otra parte, se observa que ocurre exactamente lo mismo con las emisiones de metano (figura 9). Todo el razonamiento expuesto en relación con el amoníaco es igualmente válido para las emisiones de metano.

Figura 9. Análisis de sensitividad para la producción de CH4

1. **CONCLUSIONES**

Las conclusiones a las que se ha llegado en este trabajo son:

* Se ha desarrollado un modelo para el cálculo de emisiones de gases en granjas de maternidad.
* Las granjas con mejores índices técnicos en España producen menos emisiones de gases contaminantes.
* Las granjas de mayor tamaño producen menores emisiones por lechón producido.
* El número de lechones nacidos por parto es el parámetro que más importancia tiene sobre las emisiones de gases contaminantes.
* Este modelo podría ser ampliado para incorporar información sobre la gestión de estiércoles en la granja que afecta a las emisiones de gases.

**5 BIBLIOGRAFÍA**

AEMET (2015). Agencia Estatal de Meteorología. [www.aemet.es](http://www.aemet.es). Acceso 01/09/2015

BDPorc (2015). Banco de Datos de Referencia del Porcino Español. Institut de Recerca i Tecnología Agroalimentaries. [www.bdporc.irta.es](http://www.bdporc.irta.es). Acceso 01/09/2015

Blake, D. R. y Rowland, F. S. (1988). Continuing Worldwide Increase in Tropospheric Methane, 1978 to 1987. Science 239 (4844), 1129-1131.

Blaxter, K.L., Clapperton, J.L. (1965). Prediction of the amount of methane produced by ruminants. British Journal of Nutrition, 19: 511-522.

BSAS (2003). Nutrient Requirements Standards for Pigs. The British Society of Animal Science working party. Penicuik, Reino Unido.

Crutzen, P. J. y Lelieveld, J. (2001). Human impacts on atmospheric chemistry. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 29, 17-45.

De Blas, C., Gasa, J. y Mateos, G.G. (2006). Necesidades nutricionales para ganado porcino. FEDNA. Madrid. 55 pp.

De Blas, C., Gasa, J. y Mateos, G.G. (2013). Necesidades nutricionales para ganado porcino. Normas FEDNA Octubre 2013.

Hutchings, N., Amon, B., Dämmgen, U. And Webb, J. 2013. EMEP/EEA air pollution emission inventory guidebook 2013. Technical guidance to prepare national emission inventories. EEA Technical report No 12/2013.

IPCC. 1997. Agriculture. Edición: Kroeze, C. En: Revised 1996 IPCC Guidelines for Greenhouse Gas Inventories. Capítulo 4, Pag. 1-140.

IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovern- mental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

IPCC, 2014: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Work- ing Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC)., July 2003. Reference document on best available techniques for intensive rearing of poultry and pigs.

Khalil, M. A. K. y Rasmussen, R. A. (1990). Atmospheric Methane - Recent Global Trends. Environmental Science & Technology 24(4), 549-553.

Krupa, S. V. (2003). Effects of atmospheric ammonia (NH3) on terrestrial vegetation: a review. Environmental Pollution 124, 179-221.

Kyriazakis, I. y Whitemore, C.T. 2006. Whittemore’s Science and Practice of Pig Production. Blackwell Publishing, Oxford, Reino Unido.

MAGRAMA (2014) Inventario Nacional de Emisiones a la Atmósfera 1990-2012. Volumen 2: Análisis por Actividades Emisoras de la Nomenclatura SNAP-97. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.

MARM (2008). Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. Balance de nitrógeno y emisiones en la ganadería. Borrador. Editores: Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Madrid

Minami, K. (1997). Atmospheric methane and nitrous oxide: sources, sinks and strategies for reducing agricultural emissions. Nutrient Cycling in Agroecosystems 49, 203-211.

Noblet, J. y Etienne, M. 1987. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in lactating sows. Journal of Animal Science, 64: 774-781.

Noblet, J. y Shi, X. S. 1994. Effect of Body-Weight on Digestive Utilization of Energy and Nutrients of Ingredients and Diets in Pigs. Livestock Production Science 37 3, 323-338.

Roney, N., Llados, F., Little, S. S., y Knaebel, D. B. (2004). *Toxicological Profile of Ammonia*., U.S. Department of Health and Human Services,. pp. 1-269.

Seinfeld, J. H. (1986). *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*.1, John Wiley & Sons, pp. 1-738.

Seinfeld, J. H. y Pandis, S. N. (1998). *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*.2, John Wiley & Sons, pp. 1-1326.

UNFCCC. (1997). *Protocolo de Kyoto de la concención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*.