

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



DESARROLLO DE UN MODELO DE CÁLCULO DE HUELLA DE CARBONO PARA LA PRODUCCIÓN PORCINA EN ESPAÑA

TRABAJO FIN DE MÁSTER EN MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA
AGRONÓMICA

ALUMNA: **ISABEL ARIAS POLO**

TUTOR: **FERNANDO ESTELLÉS BARBER**

Curso Académico: **2015/2016**

VALENCIA. Septiembre de 2016

DESARROLLO DE UN MODELO DE CÁLCULO DE HUELLA DE CARBONO PARA LA PRODUCCIÓN PORCINA EN ESPAÑA

Alumna: Dña. Isabel Arias Polo.

Tutor: Prof. D. Fernando Estellés Barber.

Valencia, septiembre de 2016

RESUMEN

El sector porcino es el principal sector en cuanto a producción final ganadera en España. Se trata además de un sector en constante crecimiento y con unas implicaciones ambientales evidentes dadas las emisiones de gases de efecto invernadero y otros gases acidificantes. Actualmente no existe un modelo con sensibilidad productiva y alimentaria para determinar la huella de carbono de esta producción ganadera adaptado al sistema productivo español. Así, este trabajo pretende desarrollar un modelo numérico que, considerando los parámetros productivos típicos de las explotaciones españolas así como los piensos habituales, permita determinar la huella de carbono. Esta herramienta permitirá además que cada explotación sea capaz de determinar su huella de carbono en función de sus resultados productivos, sistema de manejo y consumo de materias primas.

PALABRAS CLAVE

- Amoniac
- CO₂
- Emisiones
- GEI
- Huella de carbono
- Metano
- N₂O
- Porcino

ABSTRACT

The pig sector is the main sector in terms of final livestock production in Spain. In addition, it is a constantly growing sector with obvious environmental implications, given the emissions of greenhouse gases and other acidifying gases. Currently, there is no model adapted to the Spanish production system considering productive and dietary parameters to determine the carbon footprint of this livestock production. Thus, this paper aims at developing a numerical model to determine the carbon footprint, considering the typical production parameters of Spanish farms as well as the usual feed. This tool will also enable each farm to determine their own carbon footprint according to their productive results, management system and consumption of raw materials.

KEYWORDS

- Ammonia
- CO₂
- Emissions
- GHG
- Carbon footprint
- Methane
- N₂O
- Porcine

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. EFECTOS AMBIENTALES DE LOS GASES CONTAMINANTES...	2
1.2.1. Amoniacó.....	2
1.2.2. Dióxido de carbono.....	3
1.2.3. Metano.....	3
1.2.4. Óxido nítrico.....	4
1.3. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA Y HUELLA DE CARBONO.....	4
1.4. MARCO NORMATIVO.....	6
2. OBJETIVOS.....	7
3. DESARROLLO DEL MODELO.....	7
3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO.....	7
3.2. BALANCE ENERGÉTICO.....	9
3.3. DETERMINACIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE ANIMALES.....	10
3.4. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE ANIMALES DE CADA CATEGORÍA.....	11
3.5. ESTIMACIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS SOBRE LOS ANIMALES.....	15
3.6. NECESIDADES ENERGÉTICAS DE LOS ANIMALES.....	19
3.6.1. Necesidades diarias de energía no productiva.....	19
3.6.1.1. Energía metabolizable para el mantenimiento.....	19
3.6.1.2. Energía metabolizable para la termorregulación.....	20
3.6.2. Necesidades diarias de energía productiva.....	21
3.6.2.1. Energía metabolizable para el crecimiento.....	21
3.6.2.2. Energía metabolizable para la producción de leche.....	22
3.6.2.3. Energía metabolizable para la gestación.....	22
3.6.3. Energía total necesaria de la ingesta.....	23
3.7. DIETA BASAL DE LOS ANIMALES	24
3.8. BALANCE DE NITRÓGENO.....	25
3.8.1. Nitrógeno ingerido.....	25
3.8.2. Nitrógeno retenido.....	26
3.8.2.1. Nitrógeno retenido en el crecimiento.....	26
3.8.2.2. Nitrogeno retenido en el crecimiento de los lechones	26
3.8.2.3. Nitrógeno retenido en la gestación.....	26
3.8.2.4. Nitrógeno retenido total.....	27

3.8.3. Nitrógeno excretado.....	27
3.9. EXCRECIÓN DE SÓLIDOS VOLATILES.....	27
3.10. EMISIONES POR GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL.....	28
3.10.1. Emisión de NH ₃	28
3.10.2. Emisión de N ₂ O.....	29
3.10.3. Emisión de CH ₄	31
3.11. EMISIONES ASOCIADAS A LOS PIENSOS.....	32
3.12. EMISIONES DE METANO POR FERMENTACIÓN ENTERICA....	34
3.13. EMISIONES TOTALES.....	35
4. PUESTA A PUNTO DEL MODELO.....	35
4.1. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	36
4.2. ANÁLISIS EN FUNCIÓN DE LA ALIMENTACIÓN.....	37
4.3. ANÁLISIS EN FUNCIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD.....	39
5. CONCLUSIONES.....	42
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
7. ANEXOS	
ANEJO 1: OBTENCIÓN DE LOS PIENSOS TIPO	
ANEJO 2: CÁLCULO DE LA ENERGÍA BRUTA	
ANEJO 3: PIENSOS REDUCIDOS EN SOJA	
8. LISTA DE SÍMBOLOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.: Etapas del Análisis del Ciclo de Vida de un producto.	5
Figura 2.: Esquema de las operaciones y emisiones incluidas o excluidas en el Modelo de cálculo.	8
Figura 3.: Esquema del balance entre el pienso y las excreciones y demás emisiones de gases contaminantes sobre el que se basa el Modelo de cálculo.	9
Figura 4.: Esquema de las correlaciones entre las diferentes categorías empleadas en el Modelo.	11
Figura 5.: Análisis de sensibilidad para la emisión de GEI (en kg de CO ₂ eq) por 1000 kg de carne producida.	36
Figura 6.: Análisis de sensibilidad para la emisión de GEI (en kg de CO ₂ eq) por 1000 kg de carne producida.	36
Figura 7.: Porcentaje de emisión de GEI en los tres puntos estudiados en el modelo: pienso, fermentación entérica y gestión del estiércol; en función del tipo de alimentación aportada a los animales.	37
Figura 8.: Porcentaje de emisión de amoniaco en los dos puntos estudiados en el modelo: pienso y gestión del estiércol; en función del tipo de alimentación aportada a los animales.	38
Figura 9.: Emisiones de GEI (en kg de CO ₂ eq) y NH ₃ (en kg) por 1000 kg de carne producida en función del tipo de alimentación aportada a los animales.	39
Figura 10.: Emisiones de GEI (en kg de CO ₂ eq) y NH ₃ (en kg) por 1000 kg de carne producida en función de la productividad numérica de las explotaciones (“España mejores”, “España media” y “España peores”).	41
Figura 11.: Porcentaje de emisión de GEI en los tres puntos estudiados en el modelo: pienso, fermentación entérica y gestión del estiércol; en función de la productividad de las explotaciones.	41
Figura 12.: Porcentaje de emisión de NH ₃ en los tres puntos estudiados en el modelo: pienso, fermentación entérica y gestión del estiércol; en función de la productividad de las explotaciones.	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.: Normativa europea y española en relación a las emisiones contaminantes.	6
Tabla 2.: Categorías de animales empleadas en el modelo y su correspondencia con las categorías del Anuario de Estadística 2014, MAGRAMA.	10
Tabla 3.: Ecuaciones de cálculo de la cantidad de animales presentes en cada categoría y valores orientativos de los parámetros solicitados a los ganaderos.	14
Tabla 4.: Ecuaciones de cálculo de los pesos iniciales, finales y medios, duración del periodo y GMD para cada categoría animal.	17
Tabla 5.: Pesos iniciales, finales y medios (en kg), duración del periodo (en días) y GMD (en kg/día) estimados para cada categoría animal.	18
Tabla 6.: Valores de los parámetros a y b de cada una de las categorías animales para el cálculo de la EM_m .	19
Tabla 7.: Ecuaciones de cálculo de Energía metabolizable para la termorregulación (EM_t) en cada una de las categorías animales.	20
Tabla 8.: Coeficientes de estimación de la ganancia de grasa ($Frac_{grasa}$) y proteína ($Frac_{proteína}$).	21
Tabla 9.: Valores de DE (en MJ/kg MS) en función del tipo de pienso.	28
Tabla 10.: Ecuaciones de cálculo del amoníaco total anual emitido por cada categoría animal en el alojamiento.	29
Tabla 11.: Emisiones de N_2O (en kg N_2O /plaza y año) debidas a la gestión del estiércol para categoría animal.	30
Tabla 12.: Ecuaciones de cálculo para el número de plazas en función de la categoría animal.	31
Tabla 13.: Datos de emisión de GEI y amoníaco de las materias primas que constituyen los piensos diseñados para este trabajo (maíz, trigo, cebada, salvado de trigo, harina de girasol, harina de soja, sebo, L-Lisina HCL, DL-Metionina, L-Treonina, carbonato cálcico, fosfato bicálcico anhidro, cloruro sódico, bicarbonato sódico y un corrector vitamínico y de oligoelementos).	32
Tabla 14.: Emisiones de GEI y NH_3 en función del tipo de pienso.	33
Tabla 15.: Tasa de conversión de metano (en %) para cada categoría animal.	34
Tabla 16.: Valores para los parámetros M_{N-D} , F_{gest} , F , T_R , N_{camada} , N_{partos} , $R_{p/m}$, $R_{v/c}$, E_{dest} , E_{ins} y I_{d-c} en función de la productividad de las explotaciones españolas (mejores, peores y media).	39
Tabla 17.: Valores para los parámetros P_{canal} , P_{nac} , P_{dest} , P_{cerda} , $P_{verraco}$, GDP , M_T y M_C	40

en función de la productividad de las explotaciones españolas (mejores, peores y media).

Tabla 18.: Piensos tipos con su correspondientes categorías animales.	ANEJO 1
Tabla 19.: Valores mínimos y máximos de EM, PB, lisina, metionina, cisteína y treonina digestibles, y calcio, fósforo, sodio y cloro, en función del tipo de pienso.	ANEJO 1
Tabla 20.: EM (en kcal/kg), PB, lisina, metionina, cisteína y treonina digestibles, calcio, fósforo, sodio y cloro (en g/kg) y precio (en €/t) de las materias primas que constituyen los piensos diseñados para este trabajo (maíz, trigo, cebada, salvado de trigo, harina de girasol, harina de soja, sebo, L-Lisina HCL, DL-Metionina, L-Treonina, carbonato cálcico, fosfato bicálcico anhidro, cloruro sódico, bicarbonato sódico y un corrector vitamínico y de oligoelementos).	ANEJO 1
Tabla 21.: Restricciones tanto mínimas como máximas (en porcentaje) de las materias primas que constituyen los piensos diseñados para este trabajo (maíz, trigo, cebada, salvado de trigo, harina de girasol, harina de soja, sebo, L-Lisina HCL, DL-Metionina, L-Treonina, carbonato cálcico, fosfato bicálcico anhidro, cloruro sódico, bicarbonato sódico y un corrector vitamínico y de oligoelementos).	ANEJO 1
Tabla 22.: Pienso Cebo 1 (sólo se aporta a la categoría de “Cebo (Fase 1)”).	ANEJO 1
Tabla 23.: Pienso Cebo 2 (se aporta a las categorías de “Cebo (Fase 2)”, “Cerdas de reposición” y “Verracos de reposición”).	ANEJO 1
Tabla 24.: Pienso Gestación (se aporta a las categorías de “Reproductora en 1ª gestación”, “Reproductora en espera de cubrición (1ª vez)”, “Reproductora en $\geq 2^{\text{a}}$ gestación”, “Reproductora en espera de cubrición ($\geq 2^{\text{a}}$ vez)” y “Verracos”).	ANEJO 1
Tabla 25.: Pienso Lactación (se aporta a las categorías de “Reproductora en 1ª lactación” y “Reproductora en $\geq 2^{\text{a}}$ lactación”).	ANEJO 1
Tabla 26.: PB, Ce, EE (en porcentaje) y EB (en MJ/kg MS) de las materias primas que constituyen los piensos diseñados para este trabajo (maíz, trigo, cebada, salvado de trigo, harina de girasol, harina de soja, sebo, L-Lisina HCL, DL-Metionina, L-Treonina, carbonato cálcico, fosfato bicálcico anhidro, cloruro sódico, bicarbonato sódico).	ANEJO 2
Tabla 27.: Valores de EB (en MJ/kg MS) en función del tipo de pienso.	ANEJO 2
Tabla 28.: Pienso Cebo 1 (sólo se aporta a la categoría de “Cebo (Fase 1)”).	ANEJO 3
Tabla 29.: Pienso Cebo 2 (se aporta a las categorías de “Cebo (Fase 2)”, “Cerdas de reposición” y “Verracos de reposición”).	ANEJO 3
Tabla 30.: Pienso Gestación (se aporta a las categorías de “Reproductora en 1ª gestación”, “Reproductora en espera de cubrición (1ª vez)”, “Reproductora en $\geq 2^{\text{a}}$ gestación”, “Reproductora en espera de cubrición ($\geq 2^{\text{a}}$ vez)” y “Verracos”).	ANEJO 3
Tabla 31.: Pienso Lactación (se aporta a las categorías de “Reproductora en 1ª lactación” y “Reproductora en $\geq 2^{\text{a}}$ lactación”).	ANEJO 3

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

A nivel mundial el consumo de carne ha ido aumentando progresivamente con el transcurso de los años debido principalmente al incremento de la población, siendo el sector porcino uno de los que más ha experimentado este crecimiento, con un número de animales que alcanzó los 987 millones en 2014, casi el doble que en la década de los setenta (FAOSTAT, 2016). El mayor productor de carne de cerdo a nivel mundial es Asia que concentra el 59,9% de la producción mundial, seguida muy por detrás por Europa con un 18,8% y América con el 17,3% (FAOSTAT, 2016).

En cuanto a España, el sector porcino es uno de los sectores ganaderos más importantes, suponiendo aproximadamente un 52% de la producción total ganadera, de la cual más de un 90% del censo se concentra en explotaciones intensivas (MAGRAMA, 2015). Sin embargo, esta intensificación se ha producido en las últimas décadas, ya que en los años 50 el porcino ibérico en extensivo suponía un 40% del censo total (MAGRAMA, 2016). Este cambio en los sistemas productivos ha generado una mayor preocupación por el deterioro medioambiental, que se traduce en la implementación de una serie de obligaciones legales cuyo objetivo es la preservación del medio ambiente reduciendo los posibles riesgos de contaminación y la alteración del mismo.

Como consecuencia de este proceso de crecimiento e intensificación, la ganadería produce ciertos impactos negativos en el entorno y por tanto es responsable de una parte relevante de los graves problemas medioambientales de hoy en día.

De manera general los efectos medioambientales más importantes que pueden originarse en relación con la actividad ganadera intensiva son los siguientes:

- Contaminación difusa de aguas subterráneas por nitratos debido a prácticas inadecuadas de abonado nitrogenado.
- Eutrofización de aguas superficiales.
- Dispersión de metales pesados (cobre y zinc) y pesticidas, suponiendo un riesgo potencial debido a su carácter acumulativo en el medio.
- Emisión al medio cercano de olor y ruido.
- Emisión al aire de ciertos gases que contribuyen a determinados fenómenos de contaminación, como la acidificación producida por amoníaco, la generación de polvo o la emisión de gases de efecto invernadero tales como metano, óxido nitroso y en menor medida el dióxido de carbono.

En relación a las emisiones de gases contaminantes el sector ganadero es responsable de gran parte de las mismas, sobre todo de amoníaco donde el 80-90% de las emisiones generadas por la agricultura proceden de la producción animal (EEA, 2013), y en menor medida de gases de efecto invernadero.

La calidad y composición del estiércol y del purín son los principales factores determinantes de los niveles de emisiones derivados de la actividad ganadera intensiva. Estos factores dependen en gran medida de la dieta aportada y del metabolismo del animal, de tal

manera que conforme más eficientemente utilicen los animales los nutrientes presentes en el pienso, menor será la carga de elementos perdidos con las deyecciones.

Por este motivo la adecuada gestión de la dieta es imprescindible para permitir una mejor absorción de los nutrientes presentes en los piensos, y así evitar aportar niveles de nutrientes superiores a los necesarios para asegurarse que los requerimientos nutricionales se completan, provocando menores pérdidas de nutrientes en el estiércol o purín.

Además de las emisiones derivadas directamente de la actividad ganadera, también hay que tener en cuenta el impacto indirecto que este sector genera debido al gran uso de tierras agrícolas para pastos y para la producción de piensos, resultando así globalmente la producción de alimentos de origen animal responsable del 14,5% de las emisiones de gases de efecto invernadero de origen antropogénico a nivel mundial (Gerber et al., 2013). El acelerado incremento de la demanda de carne, leche y huevos ha provocado en los últimos años un aumento de la superficie destinada a la alimentación animal conduciendo a una excesiva deforestación especialmente en Latinoamérica. (Barona et al., 2010).

La Unión Europea ha contraído compromisos políticos en el marco de las emisiones contaminantes con el objetivo de reducir las mismas. Sin embargo estos compromisos no tienen en cuenta ciertos aspectos clave desde el punto de vista medioambiental, como por ejemplo el empleo de materias primas en la producción de piensos procedentes de países en desarrollo, tales como la soja, lo que conlleva a un desplazamiento de los impactos ambientales a estas zonas.

1.2. EFECTOS AMBIENTALES DE LOS GASES CONTAMINANTES

1.2.1. Amoníaco

Aunque el amoníaco es un gas que se produce de forma natural en la troposfera, el incremento de los niveles del mismo por parte de la actividad humana lo convierten en un gas contaminante.

Se trata de un gas con una alta reactividad que puede volatilizarse permaneciendo durante un periodo de entre 3 y 7 días en la atmósfera (AEMA, 2015). Éste a su vez puede depositarse como gas o reaccionar en la atmósfera formando compuestos y aerosoles amoniacales (nitrato amónico o sulfato amónico) que pueden ser transportados a distancias mayores donde son depositados mayoritariamente sobre el terreno o las aguas por vía húmeda, además disminuyen la calidad de la atmósfera en cuanto a visibilidad. En general la deposición del amoníaco, ya sea directamente o mediante estos compuestos secundarios, contribuye a la acidificación y a la eutrofización de los medios receptores (Krupa, 2003).

Además de generar efectos negativos sobre el entorno también puede afectar a los seres vivos, por ejemplo sobre las plantas, en las cuales un exceso de nitrógeno puede alterar el crecimiento produciendo alargamiento de entrenudos, acumulación de agua o aumento de la transpiración; también puede derivar a un desequilibrio nutricional o a una mayor sensibilidad a estreses. Así mismo, un exceso de amoníaco puede producir el desacoplamiento del transporte de electrones, la disfunción de las membranas e incluso daños visibles como necrosis y manchas foliares.

La exposición a altas concentraciones de amoníaco en el aire, produce a su vez efectos negativos en la salud humana debido a su carácter irritante y corrosivo. Dependiendo de la

intensidad y de la duración de la exposición, puede causar irritación por quemadura en el tracto respiratorio, piel y ojos, mientras que en casos extremos puede provocar ceguera, daño en el pulmón e incluso la muerte (ATSDR, 2016).

En las explotaciones ganaderas el amoniaco procede principalmente de la descomposición de la urea que contiene la orina gracias a la acción de ciertos microorganismos que generan la enzima ureasa. En el caso de los purines de cerdo, más de la mitad del contenido de nitrógeno del mismo es de tipo amónico (MAPA, 2006).

Sin embargo, las explotaciones ganaderas también generan indirectamente emisiones de amoniaco durante el cultivo de gran parte de las materias primas que constituyen los piensos, debido a la volatilización de los fertilizantes empleados, de la emisión foliar y de la descomposición de la biomasa vegetal (EEA, 2013).

1.2.2. Dióxido de carbono

El dióxido de carbono, junto con el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) constituyen los gases principales con efecto invernadero los cuales permiten pasar la radiación visible procedente del sol, pero impiden la salida hacia el espacio exterior de más del 90% de la radiación infrarroja que emite la Tierra (AEMA, 2015). Por lo cual, una alteración en las concentraciones de estos gases puede llevar a un desequilibrio energético entre la Tierra y el exterior.

Desde el punto de vista del cambio climático, el CO_2 es el gas que más contribuye y es responsable del 63% del calentamiento global causado por el hombre (AEMA, 2015). Actualmente, las principales fuentes antropogénicas de emisión de este gas son el sector de la energía, la industria y el transporte (IPCC, 2014).

La producción de dióxido de carbono por parte de la actividad ganadera es muy baja en comparación con la que esta actividad emite como GEI en forma de metano y de óxido nitroso. Sin embargo, si se tienen en cuenta las emisiones generadas en el transporte de las materias primas que constituyen los piensos, este gas empieza a cobrar una mayor importancia, puesto que el procesamiento y transporte de los mismos genera el 60% de las emisiones totales de CO_2 atribuidas al sector porcino (MacLeod et al., 2013). Esto es debido, en gran parte, que una buena parte de las materias primas que los conforman son importadas de terceros países, como por ejemplo la soja donde España encabeza la lista de países importadores dentro de la UE cuyo origen principalmente es Brasil, Paraguay y EEUU (EUROSTAT, 2016).

1.2.3. Metano

El metano es el segundo gas que más contribuye al efecto invernadero antropogénico. Desde la Revolución Industrial, las concentraciones en la atmósfera se han duplicado y han contribuido un 20% al incremento del efecto invernadero (AEMA, 2015), ya que su capacidad de absorber radiaciones de onda larga es 25 veces superior a la del CO_2 (IPCC, 2007).

El metano se origina como consecuencia de procesos anaerobios que ocurren tanto en la producción y transporte de carbón, gas natural y petróleo, en el sector ganadero y agrícola y en la descomposición de desperdicios orgánicos en los vertederos y en ciertos sistemas de tratamiento de aguas residuales.

En el sector ganadero, el metano se origina en el tracto digestivo de los animales y durante la gestión de los estiércoles y purines. La cantidad emitida varía principalmente en función de las características de los ingredientes de la dieta, especialmente de su contenido en fibra. Dentro de la actividad agrícola y ganadera, el ganado porcino es responsable del 6% de las emisiones totales de metano (FAOSTAT, 2016).

El problema en monogástricos no es la producción de metano en el tracto digestivo, ya que los niveles producidos son bajos en comparación con los rumiantes. El problema más importante reside en el purín, ya que al ser líquido y sostener condiciones anaeróbicas, puede producir significativas emisiones de metano alrededor del 90% del total de emisiones, mientras que por fermentación entérica sólo se generan el 10% del total de las emisiones de metano (EPER-ESPAÑA, 2007).

Los piensos que se aportan a los animales contribuyen muy poco a la emisión de metano, únicamente el cultivo de arroz representa un valor significativo, ya que el 3% de las emisiones de GEI atribuidas a los piensos en el sector porcino se deben a su cultivo (MacLeod et al., 2013).

1.2.4. Óxido nitroso

El óxido nitroso es también otro de los gases de efecto invernadero más importante debido a que es 310 veces más efectivo que el dióxido de carbono absorbiendo el calor, además de presentar una larga persistencia en la atmósfera y ser responsable de la destrucción del ozono estratosférico (AEMA, 2015).

Se produce como parte del proceso de desnitrificación, que ocurre en el suelo bajo condiciones de falta de oxígeno por la acción de microorganismos anaerobios que transforman los nitratos a formas reducidas de nitrógeno (N_2O y N_2) y éstas son eliminadas a la atmósfera por su carácter volátil.

En el almacenamiento del purín también se produce desnitrificación, pero en menor medida que cuando se aplica estiércol en la tierra. Por este motivo, la ganadería también contribuye a la emisión de este gas a la atmósfera, ya que aproximadamente el 10% de las emisiones a nivel global se le atribuyen al sector ganadero (IPCC, 2014).

En cuanto a las emisiones de GEI derivadas de los piensos en el sector porcino, el 17% se emite en forma de N_2O , como resultado de la aplicación de fertilizantes sintéticos y orgánicos durante el cultivo de las materias primas que los constituyen (MacLeod et al., 2013).

1.3. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA Y HUELLA DE CARBONO

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) pretende cuantificar los impactos derivados de una actividad, considerando tanto el proceso productivo en sí, como los costes ambientales de los inputs y la gestión de los residuos. Un caso específico de ACV es el análisis de la huella de Carbono que se trata de una herramienta con la cual se pretende cuantificar la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero, medidas en emisiones de CO_2 equivalente, que son liberadas tanto directa como indirectamente a la atmósfera, debido al impacto que generan las actividades humanas o la comercialización de un producto sobre el medio ambiente.

Este análisis identifica todas las etapas del ciclo de vida de los productos o de las actividades de una organización, desde la adquisición de las materias primas hasta su gestión como residuo. En la Figura 1 se observan todas las etapas que son necesarias para determinar la huella de carbono según la metodología de cálculo ACV.



Figura 1.: Etapas del Análisis del Ciclo de Vida de un producto.
(Fuente: Elaboración propia a partir de ECOIL LIFE04 ENV/GR/110).

La determinación de la huella de carbono permite a las organizaciones controlar los puntos críticos en los cuales generan mayores emisiones, lo que supone el inicio de actuaciones encaminadas a la reducción del consumo de energía y una optimización del uso de los recursos.

A nivel internacional existen estándares de cálculo de HdC, los más extendidos son GHG Protocol, definido por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI) y el Consejo Empresarial Mundial de Desarrollo Sostenible (WBCSD), las normas ISO 14064 y ISO 14067 elaboradas por la Organización Internacional de Estandarización (ISO) y la PAS2050 definida por el Instituto Británico de Estandarización (BSI). Debido a la existencia de diferentes metodologías de cálculo la comparabilidad entre productos se ve dificultada, siendo necesario conocer tanto la metodología empleada como los alcances del estudio, ya que cuantas menos partes del proceso productivo se incluyan en el proceso de cálculo las limitaciones de los resultados obtenidos serán mayores, pudiendo llevar a conclusiones erróneas. Para evitar este inconveniente y permitir que la Huella de Carbono sea comparable ha surgido la iniciativa del Registro de huella de carbono MAGRAMA que permite la homogenización de al menos una parte del cálculo de la HdC, no obstante, para el sector agrario es de menor relevancia ya que las principales fuentes no están todavía estandarizadas en esta herramienta (CONAMA, 2014).

Gracias al estudio de la huella de carbono se ha observado que, cuando se expresan las emisiones en función de la cantidad de producto obtenida (intensidad de emisión), la ganadería genera mayores emisiones que la agricultura debido principalmente a la baja eficiencia en el uso de recursos por parte de los animales rumiantes, mientras que el sector porcino y el avícola son los que menor huella de carbono producen dentro de la actividad ganadera. Por ejemplo el ganado vacuno representa el 65% de las emisiones del sector, mientras que el porcino tiene un nivel de emisión mucho más bajo representando aproximadamente un 9% de las emisiones del sector (Gerber et al., 2013).

De acuerdo al apartado anterior y teniendo en cuenta que existen diferentes sistemas de producción, las explotaciones ganaderas necesitan identificar en qué puntos de su proceso productivo se pueden producir riesgos de emisión de contaminantes y dónde se producen consumos de recursos y energía, puesto que los distintos sistemas de producción resultarán en eficiencias distintas, por lo cual el consumo de recursos y la producción de subproductos pueden variar para alcanzar el mismo objetivo productivo (Groen et al.,2016). De esta forma es necesario disponer de una herramienta que permita determinar el funcionamiento de la explotación y su consumo de inputs y producción de outputs, de tal manera que se delimiten los puntos en los cuales incidir a la hora de plantear estrategias de reducción o minimización de impactos.

1.4. MARCO NORMATIVO

De acuerdo a los informes de evaluación del IPCC (2014), las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero han aumentado desde la era preindustrial y actualmente son las más altas de la historia. Esto ha derivado en un período de calentamiento global cuyos efectos se han analizado con el objetivo de realizar predicciones sobre el futuro comportamiento del clima y las consecuencias que podría conllevar. Para contener el cambio climático, muchos países llevan, desde hace años, tomar medidas para reducir de forma sustancial y sostenida las emisiones de gases de efecto invernadero.

Con el objetivo de reforzar la conciencia pública sobre los problemas relacionados con el cambio climático, en 1994 entró en vigor la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Actualmente cuenta con un gran número de países comprometidos con reducir sus emisiones y desde 1997, los gobiernos acordaron incorporar el Protocolo de Kyoto (UNFCCC, 1998) que contaba con medidas más enérgicas. Sin embargo, los compromisos de este protocolo expiraron en 2012, y aunque en 2010, en México, se pretendía adoptar un nuevo protocolo, aun no se ha conseguido llegar a un acuerdo que lo sustituya.

Para cumplir con estos compromisos, la UE ha desarrollado diferentes legislaciones en materia ambiental, estas disposiciones vienen recogidas en la Tabla 1 donde se observan tanto las directivas europeas como su equivalente en la normativa española.

Tabla 1.: Normativa europea y española en relación a las emisiones contaminantes.
(Fuente: Elaboración propia a partir de información obtenida en BOE y DO).

Normativa Europea	Normativa Española
<i>Directiva 2001/81/CE</i> , sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos.	
<i>Directiva 2003/87/CE</i> , en la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.	<i>Ley 1/2005</i> , sobre el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en España.
<i>Reglamento 166/2006</i> , relativo al establecimiento de un registro europeo de emisiones y transferencias de	<i>Real Decreto 508/2007</i> , por el que se regula el suministro de información sobre emisiones de E-PRTR y de las

contaminantes.	autorizaciones ambientales integradas.
<i>Directiva 2008/50/CE</i> , relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa.	<i>Real Decreto 102/2011</i> , relativo a la mejora de la calidad del aire.
<i>Directiva 2010/75/UE</i> sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación).	<i>Ley 5/2013</i> , sobre la prevención y control integrados de la contaminación.

El sector ganadero también se encuentra sujeto a la legislación vigente, por este motivo, tomando en consideración las características técnicas de las instalaciones y sus condiciones locales ambientales, ha establecido un sistema de prevención y control integrados de la contaminación y se modifica el sistema de concesión de licencias para el funcionamiento de las actividades de cría intensiva de ganado porcino, entre otras, basándolas en la Autorización Ambiental Integrada (AAI) con el principal objetivo de garantizar que las instalaciones adoptan la medidas para la prevención y el control integrado de la contaminación, en especial mediante la aplicación de Mejores Técnicas Disponibles aprobadas por la Comisión Europea donde se fijan algunos parámetros tales como los valores límite de emisión de los principales contaminantes, los procedimientos para la gestión de residuos y las medidas para garantizar la protección del aire, del suelo y de las aguas, además de algunos procedimientos más (MAPA, 2006).

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente trabajo es el desarrollo de un modelo de cálculo que permita obtener de una manera aproximada la tasa de emisión de gases de efecto invernadero y de amoníaco como gas acidificante, producida por las explotaciones españolas de ganado de porcino blanco en régimen intensivo.

Además, se plantea una evaluación de la respuesta del modelo frente a diferentes condiciones utilizando datos productivos típicos de granjas españolas (procedentes de la base de datos del porcino español BDPorc 2016) y de piensos habituales. También se realizará un análisis de sensibilidad para determinar los parámetros que presentan una mayor influencia sobre las emisiones de las explotaciones.

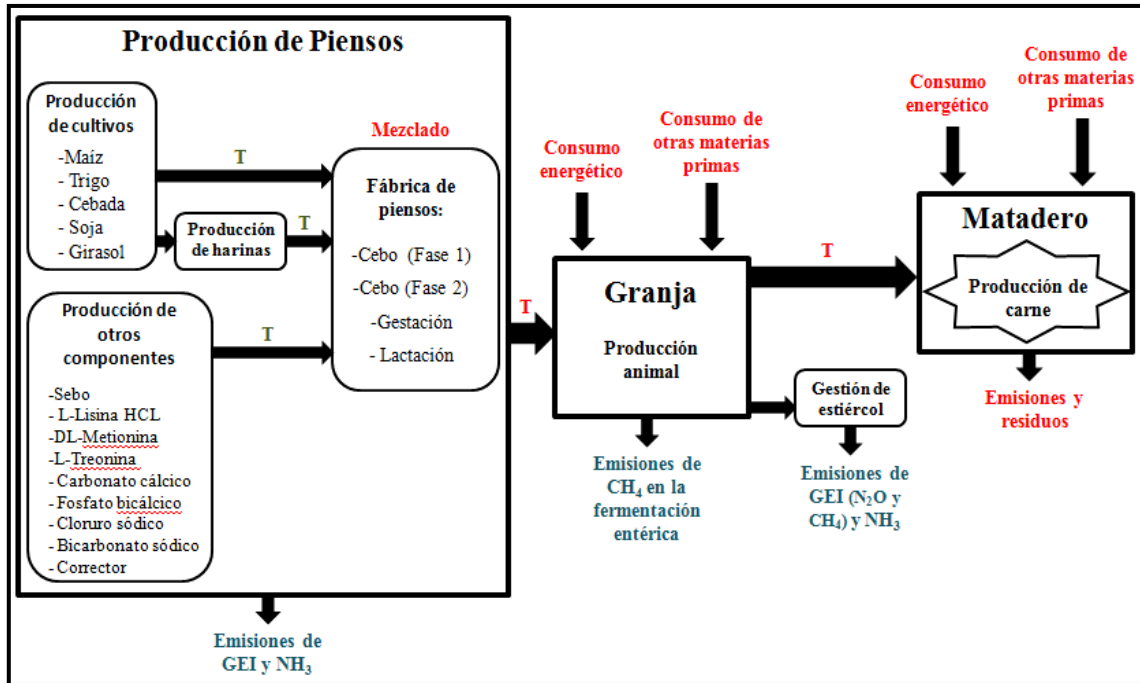
3. DESARROLLO DEL MODELO

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO

El modelo se va a centrar tanto en las emisiones asociadas al pienso como a las derivadas de la gestión del estiércol dentro de la explotación, pero no va a considerar otras variables tales como el transporte del pienso desde la fábrica a la granja, el transporte de los animales al matadero, el consumo de energía en la granja, etc. Estas variables no se tienen en cuenta puesto que con el modelo se pretende poder comparar tipos de dietas y parámetros productivos de la granja, por tanto esos parámetros se consideran fijos dentro del modelo de tal modo que no presentan un efecto sobre la comparación final.

En la Figura 2 se muestra un esquema de los procesos que abarca el modelo, desde la producción de los componentes de los piensos hasta la venta de los animales al matadero, incluyendo las operaciones y emisiones que se van a poder calcular con el modelo (en verde y azul) y las que no (en rojo).

Figura 2.: Esquema de las operaciones y emisiones incluidas o excluidas en el Modelo de cálculo.



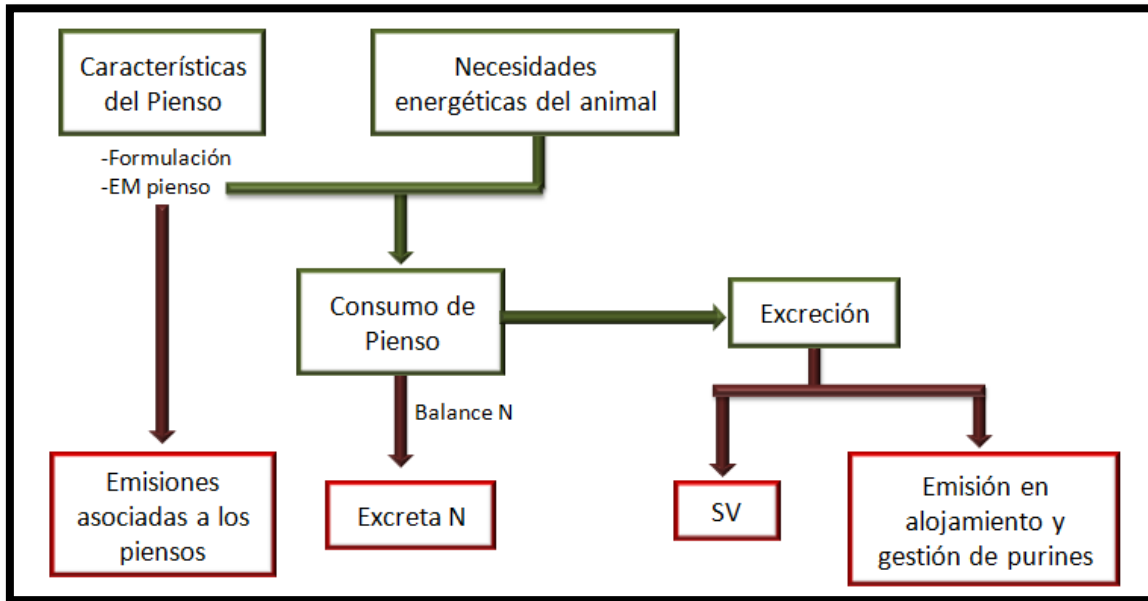
T= Transporte.

Esta herramienta va a estimar tanto la huella de carbono como las emisiones de amoníaco, estas últimas se han añadido puesto que el sector porcino ha provocado un gran incremento de las emisiones de amoníaco en los últimos 50 años, siendo uno de los sectores que más contribuye (MAPA, 2006). Por tanto conocerlas permitirá a las explotaciones conocer sus niveles de emisión, compararse con otras explotaciones y poder intervenir mediante la implantación de estrategias de reducción.

Para la elaboración del modelo de cálculo se ha utilizado como base el software Microsoft Excel ®. De tal forma que el modelo se construye como un libro que consta de 8 hojas. La primera hoja muestra la entrada de datos, las siguientes hojas, a su vez, reflejan la estructura de la granja, las necesidades energéticas dentro de la explotación, las características de los piensos empleados, las características de los ingredientes, el balance de nitrógeno y las emisiones generadas en la explotación, habiendo una última hoja donde se recoge un resumen de los resultados.

El modelo funciona con un objetivo productivo, la cantidad de carne producida al año (en kg), que es un parámetro de entrada, y desde este parámetro se derivan el resto de variables. En la Figura 3 se observa un esquema del modelo, el cual se basa en un balance entre las necesidades energéticas de los animales y las características de los piensos empleados para satisfacer estas necesidades, al mismo tiempo se incluye también en el balance la formulación de esos piensos. A partir de esto se calculan todas las posibles emisiones: las asociadas a los piensos, la excreta de N y SV y las emisiones derivadas del alojamiento y gestión de los purines.

Figura 3.: Esquema del balance entre el pienso y las excreciones y demás emisiones de gases contaminantes sobre el que se basa el Modelo de cálculo.



3.2. BALANCE ENERGÉTICO

En primer lugar, conocer las características de los piensos y de las materias primas que los componen es fundamental porque son parámetros clave sobre las emisiones, ya que van a determinar tanto la cantidad como la composición del purín, que tiene una relación directa con las emisiones de gases contaminantes.

En cuanto a las necesidades de energía metabolizable (EM) de los animales se han calculado a partir de las necesidades energéticas no productivas (de mantenimiento y termorregulación) y productivas (de crecimiento, producción de leche y gestación).

Una vez conocidas las necesidades energéticas de los animales y el contenido en EM del pienso, se determina la ingesta de pienso, y de cada materia prima que lo compone por parte de los animales. Este resultado se mayoró en un 10% considerando así el desperdicio de alimento que pueda ocurrir en la explotación (Carr, 2008), por lo que se puede calcular las emisiones atribuibles directamente al pienso consumido. Además, conociendo la ingesta del alimento y el contenido de proteína bruta del mismo, se obtiene el nitrógeno ingerido, y seguidamente se determina el nitrógeno retenido por los animales. Con el balance de estos parámetros se calcula el nitrógeno excretado con el cual se estiman las emisiones de compuestos nitrogenados derivadas del purín.

Sin embargo, las necesidades nutricionales de los animales no son las mismas, para todos los tipos de animales, variando en función de su edad, características biológicas y parámetros productivos. Por este motivo, se necesita determinar previamente a todo lo anterior, las distintas categorías de animales de la explotación que presenten características nutricionales y fisiológicas similares.

Así, es necesario recopilar ciertos datos de la explotación, que son solicitados al ganadero en la primera hoja del Modelo, llamada "Datos". En esta hoja los datos solicitados son los siguientes:

- Producción de carne objetivo (P_{carne}) en kg.

- Peso de la canal (P_{canal}) en kg.
- Rendimiento de la canal en tanto por cien (R_{canal}).
- Peso medio al nacimiento (P_{nac}) en kg.
- Peso medio al destete (P_{dest}) en kg.
- Peso medio de la cerda adulta (P_{cerda}) en kg.
- Peso medio del verraco adulto (P_{verraco}) en kg.
- Engorde, ganancia diaria de peso (GDP) en kg/día.
- Mortalidad en la fase de transición en tanto por cien (M_T).
- Mortalidad entre el nacimiento y el destete en tanto por cien (M_{N-D}).
- Mortalidad en la fase de cebo (M_C).
- Fallos en la gestación en tanto por cien (F_{gest}).
- Tasa de fertilidad en tanto por cien (F).
- Tasa de reposición en tanto por cien (T_R).
- Tamaño camada: número de lechones nacidos vivos por parto (N_{camada}).
- Número de partos por cerda y año (N_{partos})
- Ratio hembras primíparas/múltiparas en tanto por cien ($R_{p/m}$).
- Ratio verraco/cerda en tanto por cien ($R_{v/c}$).
- Edad al destete (E_{dest}) en días.
- Edad a la primera inseminación (E_{ins}) en días.
- Intervalo destete-cubrición fértil (I_{d-c}) en días.
- Temperatura ambiente en la granja (T_{amb}) en °C.

3.3. DETERMINACIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE ANIMALES

En primer lugar, como ya se ha visto anteriormente, resulta necesario dividir la explotación en grupos de animales (categorías) que sean homogéneos entre sí con características nutricionales y productivas similares. En este Modelo se han considerado las categorías que se recogen en la Tabla 2 donde también se muestran sus correspondencias con las categorías existentes en el censo oficial del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Se puede apreciar que se han agregado las categorías de lechones y de cerdo de 20-49 kg constituyendo una única categoría en este trabajo, mientras que se han tenido que desagregar las categorías de verracos y de reproductora que ya ha parido no cubierta.

Tabla 2.: Categorías de animales empleadas en el modelo y su correspondencia con las categorías del Anuario de Estadística 2014, MAGRAMA.

Categorías del Anuario de Estadística del MAGRAMA	Categorías utilizadas en este trabajo	Código ¹
Lechones (6 - 20 kg)	Cebo (Fase 1)	P1
Cerdo de 20 - 49 kg		
Cerdo de 50 – 79 kg	Cebo (Fase 2)	P2
Cerdo de 80 – 109 kg		
Verracos (>50 kg)	Verracos de reposición	P10
	Verracos	P11

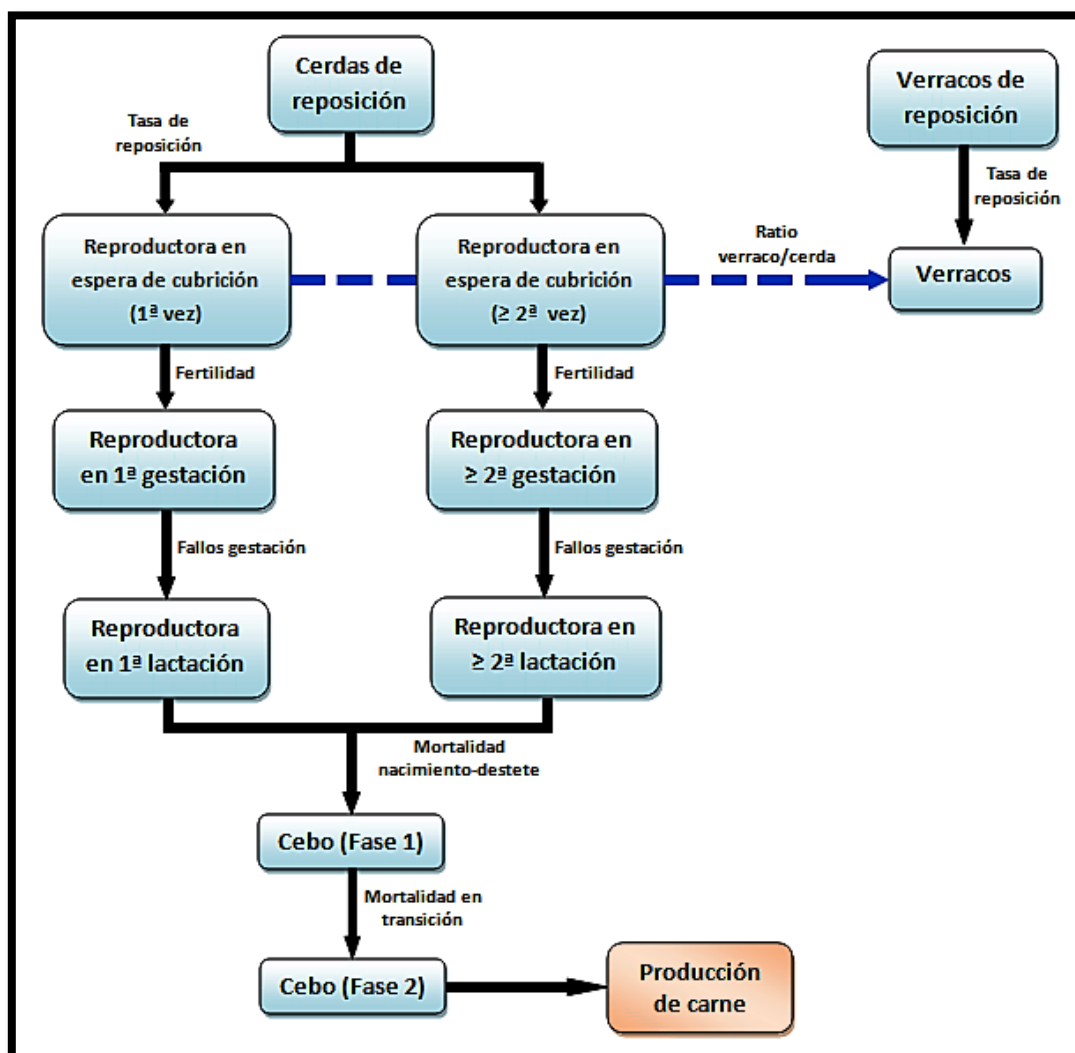
Reproductora que nunca ha parido no cubierta	Cerdas de reposición	P3
Reproductora que nunca ha parido cubierta	Reproductora en 1ª gestación	P4
Reproductora que ya ha parido cubierta	Reproductora en $\geq 2^{\text{a}}$ gestación	P7
Reproductora que ya ha parido no cubierta	Reproductoras en 1ª lactación	P5
	Reproductora en espera de cubrición (1ª vez)	P6
	Reproductora en $\geq 2^{\text{a}}$ lactación	P8
	Reproductora en espera de cubrición ($\geq 2^{\text{a}}$ vez)	P9

¹Códigos utilizados en el presente trabajo para referirse a las correspondientes categorías de animales.

3.4. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE ANIMALES DE CADA CATEGORÍA

A modo de explicación, en la Figura 4, se puede observar un esquema de las relaciones existentes entre las categorías utilizadas en el Modelo.

Figura 4.: Esquema de las correlaciones entre las diferentes categorías empleadas en el Modelo.



Todos los cálculos necesarios para determinar el censo de animales de cada categoría en la explotación para alcanzar el objetivo productivo se recogen en la segunda hoja del modelo, llamada “Estructura granja”. En esta hoja se requieren ciertos datos que han sido solicitados a los ganaderos en la primera hoja del Modelo “Datos”. Estos datos son los siguientes:

- Producción de carne objetivo (P_{carne}) en kg.
- Peso de la canal (P_{canal}) en kg.
- Rendimiento de la canal en tanto por cien (R_{canal}).
- Mortalidad en la fase de transición en tanto por cien (M_T).
- Tasa de reposición en tanto por cien (T_R).
- Fallos en la gestación en tanto por cien (F_{gest}).
- Mortalidad entre el nacimiento y el destete en tanto por cien (M_{N-D}).
- Mortalidad en la fase de cebo (M_C).
- Ratio hembras primíparas/múltiparas en tanto por cien ($R_{p/m}$).
- Tamaño camada: número de lechones nacidos vivos por parto (N_{camada}).
- Número de partos por cerda y año (N_{partos}).
- Tasa de fertilidad en tanto por cien (F).
- Ratio verraco/cerda en tanto por cien ($R_{v/c}$).

En el caso de que algún ganadero no disponga de alguno de estos datos, a continuación, durante la explicación del cálculo de la cantidad de animales presentes en cada categoría, se introducen unos valores orientativos por si resulta necesario emplearlos.

Como ya se ha comentado, con todos estos datos podemos calcular el número de animales que son necesarios en la explotación dentro de cada categoría de la siguiente manera:

Cebo (Fase 1): su número es una proporción de los individuos presentes en la segunda fase del cebo (P_2), mayorando este valor ya que se tienen en cuenta la mortalidad existente durante la transición (M_T) y la mortalidad durante el periodo en el que permanecen los animales desde la transición hasta alcanzar los 49 kg, para esta última se considera un valor del 3% (MARM, 2008).

$$P_1 = \frac{P_2}{1 - M_T} \cdot 1,03$$

Cebo (Fase 2): su número es la relación existente entre la producción de carne de la explotación (P_{carne}) y el peso del animal vivo que se obtiene mediante la relación entre el peso de la canal (P_{canal}) y el rendimiento de la misma (R_{canal}), mayorando este valor ya que se tienen en cuenta la mortalidad existente durante el cebo (M_C).

$$P_2 = \frac{P_{carne}}{P_{canal}} \cdot R_{canal} \cdot M_C$$

Cerdas de reposición: su número es una proporción de las reproductoras que se encuentran en espera de cubrición (P_6 y P_7), que viene dado por la tasa de reposición (T_R).

$$P_3 = (P_6 + P_7) \cdot T_R$$

Reproductora en 1ª gestación: su número es equivalente al número de reproductoras en primera lactación (P5) teniendo en cuenta los posibles fallos que se produzcan durante la gestación.

$$P_4 = \frac{P_5}{1 - F_{\text{gest}}}$$

Reproductora en 1ª lactación: su número se obtiene en función del número de animales existentes en la primera fase de cebo (P1) que son a su vez los lechones nacidos por cerda y año (N_{lechones}) excluyendo los que mueren desde el nacimiento hasta el destete. Sin embargo, sólo se encuentran en primera lactación las hembras primíparas por lo cual se corrige el valor con el ratio hembras primíparas/múltiparas ($R_{p/m}$).

$$P_5 = \frac{P_1}{(1 - M_{N-D}) \cdot N_{\text{lechones}}} \cdot R_{p/m}$$

N_{lechones} se obtiene a su vez como el producto de los lechones nacidos vivos por parto (N_{camada}) y el número de partos por cerda y año (N_{partos}).

Reproductora en espera de cubrición (1ª vez): su número es una proporción de las reproductoras en 1ª gestación (P4), que viene dado por la fertilidad (F).

$$P_6 = \frac{P_4}{F}$$

Reproductora en $\geq 2^{\text{a}}$ gestación: su número es equivalente al número de reproductoras que se encuentre en su segunda o más lactación (P8) teniendo en cuenta los posibles fallos que se produzcan durante la gestación.

$$P_7 = \frac{P_8}{1 - F_{\text{gest}}}$$

Reproductora en $\geq 2^{\text{a}}$ lactación: su número se obtiene de la misma forma que el número de reproductora en 1ª lactación (P5), pero sin tener en cuenta las hembras primíparas por lo cual se corrige el valor con el ratio hembras múltiparas/primíparas ($1 - R_{p/m}$).

$$P_8 = \frac{P_1}{(1 - M_{N-D}) \cdot N_{\text{lechones}}} \cdot (1 - R_{p/m})$$

Reproductora en espera de cubrición ($\geq 2^{\text{a}}$ vez): su número es una proporción de las reproductoras en $\geq 2^{\text{a}}$ gestación (P7), que viene dado por la fertilidad (F).

$$P_9 = \frac{P_7}{F}$$

Verracos de reposición: éstos se adquieren con 3.5 meses de edad, y se consideran jóvenes hasta que tienen 12 meses (MARM, 2008). Su número es una proporción de verracos (P11), que viene dado por la tasa de reposición (T_R).

$$P_{10} = P_{11} \cdot T_R$$

Verracos. Los verracos jóvenes que tienen 12 meses permanecen otro año en la explotación, siendo considerados como verracos adultos (MARM, 2008). Su número es una proporción de las reproductoras que se encuentran en espera de cubrición (P_6 y P_9), este coeficiente es el ratio verraco/cerda ($R_{v/c}$).

$$P_{11} = \frac{P_6 + P_9}{R_{v/c}}$$

A continuación, en la Tabla 3, se muestra a modo resumen todas las ecuaciones para el cálculo del número de animales presentes en las categorías elegidas en el presente trabajo junto con valores orientativos de los datos necesarios para realizar dichos cálculos, en caso de no disponer de algún dato.

Tabla 3.: Ecuaciones de cálculo de la cantidad de animales presentes en cada categoría y valores orientativos de los parámetros solicitados a los ganaderos.

Categoría	Ecuaciones: Cantidad de animales	Valores orientativos de los datos solicitados al ganadero
Cebo (Fase 1)	$P_1 = \frac{P_2}{1 - M_T} \cdot 1,03$	$M_T = 4,11\% ^1$
Cebo (Fase 2)	$P_2 = \frac{P_{carne}}{P_{canal}}$	$P_{canal} = 85,2 \text{ kg} ^2$ $R_{canal} = 79\% ^3$ $M_C = 3,8\% ^4$
Cerdas de reposición	$P_3 = (P_6 + P_9) \cdot T_R$	$T_R = 47,19\% ^5$
Reproductora en 1ª gestación	$P_4 = \frac{P_5}{1 - F_{gest}}$	$F_{gest} = 1,87\% ^5$
Reproductora en 1ª lactación	$P_5 = \frac{P_1}{(1 - M_{N-D}) \cdot N_{lechones}} \cdot R_{p/m}$	$N_{camada} = 12,98 \frac{\text{lechones}}{\text{cerda y parto}} ^5$ $N_{parto} = 2,05 \frac{\text{partos}}{\text{cerda y año}} ^5$ $R_{p/m} = 82,3\% ^5$ $M_{N-D} = 17,4\% ^5$
Reproductora en espera de cubrición (1ª vez):	$P_6 = \frac{P_4}{F}$	$F = 86,41\% ^5$
Reproductora en $\geq 2^a$ gestación	$P_7 = \frac{P_8}{1 - F_{gest}}$	$F_{gest} = 1,87\% ^5$
Reproductora en $\geq 2^a$ lactación	$P_8 = \frac{P_1}{(1 - M_{N-D}) \cdot N_{lechones}} \cdot (1 - R_{p/m})$	$N_{camada} = 12,98 \frac{\text{lechones}}{\text{cerda y parto}} ^5$ $N_{parto} = 2,05 \frac{\text{partos}}{\text{cerda y año}} ^5$ $R_{p/m} = 82,3\% ^5$ $M_{N-D} = 17,4\% ^5$

Reproductora en espera de cubrición ($\geq 2^{\text{a}}$ vez)	$P_9 = \frac{P_7}{F}$	$F = 86,41\% ^5$
Verracos de reposición	$P_{10} = P_{11} \cdot T_R$	$T_R = 47,19\% ^5$
Verracos	$P_{11} = \frac{P_6 + P_9}{R_{V/C}}$	$R_{V/C} = 0,27\% ^5$

¹Mortalidad en la fase de transición (Agostini et al., 2013)

²Peso canal medio para el cerdo de cebo en España (MAGRAMA, 2015).

³Rendimiento canal medio para el cerdo de cebo en España (MERCASA, 2012).

⁴Valores medio según MARM, 2008.

⁵Valores medios en España (BDporc, 2016).

3.5. ESTIMACIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS SOBRE LOS ANIMALES

Antes de calcular las necesidades nutricionales de los animales, es necesario conocer el peso inicial (P_{inicial}), final (P_{final}) y medio (P_{medio}) de cada categoría, así como la duración del periodo de cada categoría (D) y la ganancia media diaria (GMD).

Los parámetros correspondientes a los pesos se han estimado debido principalmente a la imposibilidad práctica para el ganadero de pesar a todos sus animales en cada período productivo. También se ha estimado la duración de cada estado del período productivo y la ganancia media de peso diaria de los animales, si bien el ganadero debe de aportar ciertos datos que serán los siguientes:

- Peso medio al destete (P_{dest}) en kg.
- Peso medio de la cerda adulta (P_{cerda}) en kg.
- Peso medio del verraco adulto (P_{verraco}) en kg.
- Peso de la canal (P_{canal}) en kg.
- Rendimiento de la canal en tanto por cien (R_{canal}).
- Edad al destete (E_{dest}) en días.
- Edad a la primera inseminación (E_{ins}) en días.
- Intervalo destete-cubrición fértil (I_{d-c}) en días.
- Engorde, ganancia diaria de peso (GDP) en kg/día.

Los cálculos realizados para obtener estos parámetros han sido los siguientes:

Cebo (Fase 1): su peso inicial se corresponde con el peso medio al destete, mientras que su peso final es de 50 kg (MARM, 2008). En esta fase los animales experimentan un mayor crecimiento en comparación con otras categorías, por tanto, a nivel práctico, la GMD se mayor en un 15% del GDP (Whittemore, 1994).

$P_{\text{inicial}} = P_{\text{dest}}$	$P_{\text{final}} = 50$	$D = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{\text{GMD}}$	$\text{GMD} = \text{GDP} \cdot 1,15$
--	-------------------------	--	--------------------------------------

Cebo (Fase 2): su peso inicial se corresponde con el peso final de los animales que salen de la fase anterior de cebo, y su peso final se obtiene de la relación entre el peso de la canal y el rendimiento de misma. En esta fase los animales experimentan un menor crecimiento en comparación con la categorías de Cebo (Fase 1), por tanto la GMD se ve reducida en un 15% del GDP (Whittemore, 1994).

$P_{\text{inicial}} = P_{\text{final (P1)}}$	$P_{\text{final}} = \frac{P_{\text{canal}}}{R_{\text{canal}}}$	$D = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{\text{GMD}}$	$\text{GMD} = \text{GDP} \cdot 0,85$
--	--	--	--------------------------------------

Cerdas de reposición: su peso inicial se corresponde con el peso final de los animales que salen de la fase 1 de cebo, mientras que su peso final es el 65% del peso de una cerda adulta (MARM, 2008). Para el periodo productivo se considera que se obtiene haciendo la diferencia entre la edad a la primera inseminación y la edad al destete más la duración del periodo productivo de la primera fase de cebo. La GMD se obtiene, al igual que en el resto de las categorías (salvo en las de cebo), con la relación que existe entre la diferencia del peso inicial y final y la duración del periodo.

$P_{\text{inicial}} = P_{\text{final (P1)}}$	$P_{\text{final}} = 0,65 \cdot P_{\text{cerda}}$	$D = E_{\text{ins}} - E_{\text{dest}} - D_{(P1)}$	$\text{GMD} = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{D}$
--	--	---	--

Reproductora en 1ª gestación: estas cerdas llegan a esta categoría con el mismo peso del que salen en la fase anterior (Cerdas de reposición), mientras que durante la gestación engordan 21 kg, periodo que dura 114 días (MARM, 2008). La GMD se determina del mismo modo que para la categoría P3.

$P_{\text{inicial}} = P_{\text{final (P3)}}$	$P_{\text{final}} = P_{\text{inicial}} + 21$	$D = 114$	$\text{GMD} = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{D}$
--	--	-----------	--

Reproductora en 1ª lactación: esta categoría está constituida por cerdas paridas que permanecen con los lechones hasta su destete que es lo que dura su periodo productivo, después del parto pierden alrededor de 17 kg (MARM, 2008) manteniendo este peso hasta finalizar su periodo en esta categoría, por tanto la GMD, que se obtiene al igual que en las dos categorías anteriores (P3 y P4), siempre va a ser nula puesto que no aumentan de peso durante la lactación.

$P_{\text{inicial}} = P_{\text{final (P4)}} - 17$	$P_{\text{final}} = P_{\text{inicial}}$	$D = E_{\text{dest}}$	$\text{GMD} = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{D}$
---	---	-----------------------	--

Reproductora en espera de cubrición (1ª vez): al ser la continuación de la categoría “reproductora en 1ª lactación” el peso inicial se corresponde con el final de esta categoría. En esta fase las cerdas descansan desde el destete hasta la cubrición y durante este periodo adquieren el peso de una cerda adulta (se le atribuye a esta categoría este peso porque si se les añade directamente a las cerdas en gestación se sobredimensiona el consumo de pienso). La GMD no se obtiene como en el resto de las categorías, porque se obtendría un valor incoherente ya que se le ha atribuido un peso final de una cerda adulta, por tanto se considera que su valor se corresponde con la GMD de la categoría “cerdas de reposición”.

$P_{\text{inicial}} = P_{\text{final (P5)}}$	$P_{\text{final}} = P_{\text{cerda}}$	$D = I_{D-C}$	$\text{GMD} = \text{GMD}_{(P3)}$
--	---------------------------------------	---------------	----------------------------------

Reproductora en $\geq 2^a$ gestación: todos los parámetros se calculan del mismo modo que los de la categoría “reproductora en 1^a gestación”, salvo que hay que tener en cuenta que esta fase es la continuación de la categoría “reproductora en espera de cubrición (1^a vez)”.

$P_{\text{inicial}} = P_{\text{final}} (P6)$	$P_{\text{final}} = P_{\text{inicial}} + 21$	$D = 114$	$GMD = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{D}$
--	--	-----------	---

Reproductora en $\geq 2^a$ lactación: todos los parámetros se calculan del mismo modo que los de la categoría “reproductora en 1^a lactación”, pero contando que esta fase es la continuación de la categoría “reproductora en $\geq 2^a$ gestación”.

$P_{\text{inicial}} = P_{\text{final}} (P7) - 17$	$P_{\text{final}} = P_{\text{inicial}}$	$D = E_{\text{dest}}$	$GMD = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{D}$
---	---	-----------------------	---

Reproductora en espera de cubrición ($\geq 2^a$ vez): todos los parámetros se calculan del mismo modo que los de la categoría “reproductora en espera de cubrición (1^a vez)”, salvo que hay que tener en cuenta que esta categoría es la continuación de la categoría “reproductora en $\geq 2^a$ lactación”.

$P_{\text{inicial}} = P_{\text{final}} (P8)$	$P_{\text{final}} = P_{\text{cerda}}$	$D = I_{D-C}$	$GMD = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{D}$
--	---------------------------------------	---------------	---

Verracos de reposición: su peso inicial se corresponde con el peso final de los animales que salen de la fase 1 de cebo, mientras que su peso final el 65% de éste (MARM, 2008), se considera que su periodo productivo es el mismo que el de “cerdas de reposición”.

$P_{\text{inicial}} = P_{\text{final}} (P1)$	$P_{\text{final}} = 0,65 \cdot P_{\text{verraco}}$	$D = D_{(P3)}$	$GMD = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{D}$
--	--	----------------	---

Verracos: al ser la continuación de la categoría “verracos de reposición” el peso inicial se corresponde con el final de esta categoría, y se considera que se encuentran en esta fase durante 12 meses (MARM, 2008).

$P_{\text{inicial}} = P_{\text{final}} (P10)$	$P_{\text{final}} = P_{\text{verraco}}$	$D = 365$	$GMD = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{D}$
---	---	-----------	---

En la Tabla 4 se recogen, a modo resumen, todas las ecuaciones de cálculo de los parámetros necesarios para proceder a la estimación de las necesidades energéticas de los animales. Además, en la Tabla 5 se recogen valores orientativos de una granja de la información correspondiente a este apartado para cada una de las categorías consideradas.

Tabla 4.: Ecuaciones de cálculo de los pesos iniciales, finales y medios, duración del periodo y GMD para cada categoría animal.

Categoría	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	Duración del periodo (días)	GMD (kg/día)
P1	$P_{\text{inicial}} = P_{\text{dest}}$	$P_{\text{final}} = 50$	$D = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{GMD}$	$GMD = GDP \cdot 1,15$

P2	$P_{\text{inicial}} = P_{\text{final}} (P1)$	$P_{\text{final}} = \frac{P_{\text{canal}}}{R_{\text{canal}}}$	$D = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{\text{GMD}}$	$\text{GMD} = \text{GDP} \cdot 0,85$
P3	$P_{\text{inicial}} = P_{\text{final}} (P1)$	$P_{\text{final}} = 0,65 \cdot P_{\text{cerda}}$	$D = E_{\text{ins}} - E_{\text{dest}} - D_{(P1)}$	$\text{GMD} = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{D}$
P4	$P_{\text{inicial}} = P_{\text{final}} (P3)$	$P_{\text{final}} = P_{\text{inicial}} + 21$	$D = 114$	$\text{GMD} = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{D}$
P5	$P_{\text{inicial}} = P_{\text{final}} (P4) - 17$	$P_{\text{final}} = P_{\text{inicial}}$	$D = E_{\text{dest}}$	$\text{GMD} = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{D}$
P6	$P_{\text{inicial}} = P_{\text{final}} (P5)$	$P_{\text{final}} = P_{\text{cerda}}$	$D = I_{D-c}$	$\text{GMD} = \text{GMD}_{(P3)}$
P7	$P_{\text{inicial}} = P_{\text{final}} (P6)$	$P_{\text{final}} = P_{\text{inicial}} + 21$	$D = 114$	$\text{GMD} = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{D}$
P8	$P_{\text{inicial}} = P_{\text{final}} (P7) - 17$	$P_{\text{final}} = P_{\text{inicial}}$	$D = E_{\text{dest}}$	$\text{GMD} = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{D}$
P9	$P_{\text{inicial}} = P_{\text{final}} (P8)$	$P_{\text{final}} = P_{\text{cerda}}$	$D = I_{D-c}$	$\text{GMD} = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{D}$
P10	$P_{\text{inicial}} = P_{\text{final}} (P1)$	$P_{\text{final}} = 0,65 \cdot P_{\text{verraco}}$	$D = D_{(P3)}$	$\text{GMD} = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{D}$
P11	$P_{\text{inicial}} = P_{\text{final}} (P10)$	$P_{\text{final}} = P_{\text{verraco}}$	$D = 365$	$\text{GMD} = \frac{P_{\text{final}} - P_{\text{inicial}}}{D}$

Tabla 5.: Pesos iniciales, finales y medios (en kg), duración del periodo (en días) y GMD (en kg/día) estimados para cada categoría animal.

Categoría	Peso inicial (kg)	Peso final (kg)	Peso medio (kg)	Duración del periodo (días)	GMD (kg/día)
P1	6,4	50	28,2	58,8	0,74
P2	50	107,8	78,9	105,5	0,55
P3	50	146,3	98,1	188	0,51
P4	146,3	167,3	156,8	114	0,18
P5	150,3	150,3	150,3	23,96	0,00
P6	150,3	225,0	187,6	8,54	0,51
P7	225,0	246	235,5	114	0,18
P8	229	229	229,0	23,96	0,00
P9	229	225	227,0	8,54	-0,47
P10	50	172,25	111,1	188	0,65
P11	172,25	265	218,6	365	0,25

*Para obtener estos resultados se han empleado los siguientes datos según las ecuaciones de cálculo que se han indicado anteriormente:

- $P_{\text{dest}} = 6,4$ kg (MARM, 2008).
- $P_{\text{cerd}} = 225$ kg (MARM, 2008).
- $P_{\text{verraco}} = 265$ kg (MARM, 2008).
- $P_{\text{canal}} = 85,2$ kg. Peso canal medio para el cerdo de cebo en España (MAGRAMA, 2015).
- $R_{\text{canal}} = 79\%$. Rendimiento canal medio para el cerdo de cebo en España (MERCASA, 2012).
- $E_{\text{dest}} = 23,96$ días. Valor medio en España (BDporc, 2016). Aunque según las exigencias legales de bienestar animal debería ser de unos 28 días (MAGRAMA, 2012).
- $E_{\text{ins}} = 271$ días. Valor medio en España (BDporc, 2016).
- $I_{D-c} = 8,54$ días. Valor medio en España (BDporc, 2016).
- $\text{GDP} = 0,645$ kg/día. Valores medio según MARM, 2008.

3.6. NECESIDADES ENERGÉTICAS DE LOS ANIMALES

El cálculo de las necesidades energéticas de los animales se obtiene a partir de la energía metabolizable total, la cual, a su vez, se obtiene de las necesidades energéticas productivas y no productivas (MARM, 2008).

En los siguientes subapartados se presentan los métodos de estimación de los diferentes tipos de necesidades que se han de cubrir:

3.6.1. Necesidades diarias de energía no productiva

Se trata de todas las necesidades energéticas del animal que cubren sus requerimientos no relacionados con los parámetros de crecimiento o reproducción, por tanto se incluyen las necesidades energéticas de mantenimiento y termorregulación.

3.6.1.1. Energía metabolizable para el mantenimiento

En el presente trabajo, la energía metabolizable para mantenimiento, es decir, para cubrir los gastos de metabolismo basal del animal incluyendo un 15% de incremento por gastos de actividad física, se calcula a través de la siguiente ecuación (FEDNA, 2013):

$$EM_m \text{ (MJ/día)} = a \text{ (MJ / kg y día)} \cdot PV^b \text{ (kg)}$$

Siendo:

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

En la Tabla 6 se recogen los valores del coeficiente a y del exponente b para cada una de las categorías animales. Estos valores han sido fijados a partir de los valores expuestos en FEDNA (2013).

Tabla 6.: Valores de los parámetros a y b de cada una de las categorías animales para el cálculo de la EM_m .

Categoría	a ⁴	b
Cebo (Fase 1)	0,86248	0,6
Cebo (Fase 2)	0,86248	0,6
Cerdas de reposición	0,86248	0,6
Reproductora en 1ª gestación	0,43752	0,75
Reproductora en 1ª lactación	0,46892	0,75
Reproductora en espera de cubrición (1ª vez)	0,43752	0,75
Reproductora en ≥ 2ª gestación	0,43752	0,75
Reproductora en ≥ 2ª lactación	0,46892	0,75
Reproductora en espera de cubrición (≥ 2ª vez)	0,43752	0,75
Verracos de reposición	0,86248	0,6
Verracos	0,43752	0,75

⁴ Este coeficiente de valor calórico en la fuente original (FEDNA, 2013), viene expresado en la unidad *kcal EM/kg*, y ha sido convertido en este trabajo a *MJ EM/kg* multiplicando por el factor 0,0041855 MJ/kcal.

3.6.1.2. Energía metabolizable para la termorregulación

La energía metabolizable para la termorregulación depende tanto de la categoría animal y del peso medio de la misma como de la temperatura ambiente que exista en la explotación, ya que existe una temperatura crítica por debajo de la cual el animal empieza a quemar nutrientes para mantener su temperatura corporal constante (FEDNA, 2013). La temperatura crítica se ha obtenido para todas las categorías siguiendo la siguiente ecuación (FEDNA, 2013):

$$T^a_{crítica} = [26 - 0,061 \cdot \text{Peso vivo (kg)}]$$

Como ya se ha comentado, la energía metabolizable para la termorregulación varía en función de la categoría animal, en la tabla 7 se recogen las ecuaciones empleadas en este modelo para el cálculo de la misma. Estas ecuaciones han sido fijadas según la Norma FEDNA de ganado porcino (2013).

Tabla 7.: Ecuaciones de cálculo de Energía metabolizable para la termorregulación (EM_t) en cada una de las categorías animales.

Código	Categoría	EM_t (MJ/kg)
-	TODAS	Si $T_{amb} \geq T_c \rightarrow EM_t = 0$
P1	Cebo (Fase 1)	Si $T_{amb} < T_c$ \downarrow $EM_t = (0,06845418^* + 0,003684384 \cdot PV) \cdot (T_c - T_{amb})$
P2	Cebo (Fase 2)	
P3	Cerdas de reposición	
P6	Reproductora en espera de cubrición (1ª vez)	
P9	Reproductora en espera de cubrición ($\geq 2^a$ vez)	
P10	Verracos de reposición	
P11	Verracos	
P4	Reproductora en 1ª gestación	Si $T_{amb} < T_c$ \downarrow $EM_t = (0,01088568 + PV^{0,75}) \cdot (T_c - T_{amb})$
P5	Reproductora en 1ª lactación	Si $T_{amb} < T_c$ \downarrow $EM_t = (0,01423512 + PV^{0,75}) \cdot (T_c - T_{amb})$
P7	Reproductora en $\geq 2^a$ gestación	Si $T_{amb} < T_c$ \downarrow $EM_t = (0,01004832 + PV^{0,75}) \cdot (T_c - T_{amb})$
P8	Reproductora en $\geq 2^a$ lactación	Si $T_{amb} < T_c$ \downarrow $EM_t = (0,01339776 + PV^{0,75}) \cdot (T_c - T_{amb})$

*Este valor calórico y todos los que vienen seguidamente, en la fuente original (FEDNA, 2013), vienen expresados en kcal EM/kg, y han sido convertidos en este trabajo a MJ EM/kg multiplicando por el factor 0,0041855 MJ/kcal.

Siendo:

- PV: Peso vivo del animal (kg)
- T_c : Temperatura crítica (°C)
- T_{amb} : Temperatura ambiente en la granja (°C)
- EM_i : Energía metabolizable para termorregulación (MJ/kg).

3.6.2. Necesidades diarias de energía productiva

Dentro de la energía productiva se incluyen todas aquellas necesidades energéticas del animal durante el crecimiento, la lactación y la gestación, en función del tipo de animal y por tanto de la categoría. A continuación, en los siguientes subapartados se describe el cálculo de cada una de estas energías.

3.6.2.1. Energía metabolizable para el crecimiento

Esta energía se obtiene empleando la siguiente ecuación (FEDNA, 2013):

$$EM_c \left(\frac{MJ}{día} \right) = 53,5 \left(\frac{MJ}{kg} \right) \cdot Frac_{grasa} \cdot GMD \left(\frac{kg}{día} \right) + 50,6 \left(\frac{MJ}{kg} \right) \cdot Frac_{proteína} \cdot GMD \left(\frac{kg}{día} \right)$$

Siendo:

- $Frac_{grasa}$: Fracción de grasa en cada kg de incremento de peso
- 53,5: Coste energético de la síntesis de grasa (MJ EM/kg)* (FEDNA, 2006)
- $Frac_{proteína}$: Fracción de proteína en cada kg incremento de peso
- 50,6: Coste energético de la síntesis de proteína (MJ EM/kg)* (FEDNA, 2006)
- GMD : Ganancia media diaria (kg/día)

*Este valor calórico, en la fuente original (FEDNA, 2006), vienen expresados en *kcal EM/kg*, y se ha convertido en este trabajo *MJ EM/kg* multiplicando por el factor 0,0041855 MJ/kcal.

Los valores de los parámetros $Frac_{grasa}$ y $Frac_{proteína}$, dependen del tipo de animal y vienen recogidos en la Tabla 8 (MARM, 2008).

Tabla 8.: Coeficientes de estimación de la ganancia de grasa ($Frac_{grasa}$) y proteína ($Frac_{proteína}$).

Categoría	$Frac_{grasa}$	$Frac_{proteína}$
Cebo (Fase 1)	0,11	0,13
Cebo (Fase 2)	0,222	0,157
Cerdas de reposición	0,241	0,153
Reproductora en 1ª gestación	0,241	0,153
Reproductora en 1ª lactación	0,241	0,153
Reproductora en espera de cubrición (1ª vez)	0,28	0,13
Reproductora en $\geq 2^a$ lactación	0,28	0,13
Reproductora en espera de cubrición ($\geq 2^a$ vez)	0,28	0,13
Verracos de reposición	0,222	0,157
Verracos	0,203	0,161

Si bien, a las reproductoras en 2ª o más gestación no se les atribuye una energía de crecimiento porque si no se contabiliza dos veces que necesitan energía para ganar peso.

3.6.2.2. Energía metabolizable para la producción de leche

Para proceder al cálculo de esta energía, es necesario que el ganadero haya aportado ciertos datos, los cálculos se han visto anteriormente. Los datos que se han de conocer son:

- Peso medio al nacimiento (P_{nac}) en kg.
- Peso medio al destete (P_{dest}) en kg.
- Mortalidad entre el nacimiento y el destete en tanto por cien (M_{N-D}).
- Tamaño camada: número de lechones nacidos vivos por parto (N_{camada}).
- Edad al destete (E_{dest}) en días.

Una vez que se tienen estos datos, el cálculo de la energía metabolizable para la producción de leche sólo se aplica a las categorías de “reproductora en 1ª lactación” y “reproductora en ≥ 2 ª lactación”, y se obtiene a través de la siguiente ecuación (FEDNA, 2013):

$$EM_l(\text{MJ}/\text{día}) = 0,0285958 \cdot (P_{dest} - P_{nac}) \times \frac{100}{E_{dest}} \cdot T_{camada} - 0,52335 \cdot T_{camada}$$

Siendo:

- 0,0285958: Coste energético de la ganancia de peso del lechón (MJ EM/g)*
- T_{camada} : Tamaño medio de la camada al destete; que se obtiene: $T_{camada} = N_{camada} \times (1 - M_{N-D})$
- 0,52319: Término independiente de la regresión (MJ EM/día y lechón)

*Este valor calórico, en la fuente original (FEDNA, 2006), vienen expresados en *kcal EM/kg*, y se ha convertido en este trabajo *MJ EM/kg* multiplicando por el factor 0,0041855 MJ/kcal.

3.6.2.3. Energía metabolizable para la gestación

El cálculo de esta energía es el resultado de la suma entre la energía atribuible al crecimiento del feto y anexos, la ganancia en peso de la ubre, y la necesidad de energía para la ganancia de reservas (MARM, 2008). Por tanto esta energía sólo se aplica a las categorías de “reproductora en 1ª gestación” y “reproductora en ≥ 2 ª gestación”, y se calcula mediante la siguiente ecuación (FEDNA, 2013):

$$EM_g(\text{MJ}/\text{día}) = EM_{\text{fetos y anexos}}(\text{MJ}/\text{día}) + EM_{\text{ganancia reservas}}(\text{MJ}/\text{día}) + EM_{\text{ganancia peso ubre}}(\text{MJ}/\text{día})$$

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

a) Energía metabolizable para el crecimiento del feto y anexos

Para su cálculo se ha de conocer de nuevo el peso medio al nacimiento (P_{nac}) y el tamaño de la camada (N_{camada}), y se determina según la ecuación basada en FEDNA (2013), pero adaptada a los parámetros del presente trabajo, por lo cual la ecuación queda de la siguiente manera:

$$EM_{\text{fetos y anexos}}(\text{MJ}/\text{día}) = \left[\frac{10,88568 (\text{MJ}/\text{kg}) \cdot P_{nac}(\text{kg}) \cdot N_{camada}}{365 (\text{días})} \right]$$

Siendo:

10,88568: Valor energético del lechón (MJ EM/kg), (FEDNA, 2013). *

b) Energía metabolizable para la ganancia de reservas

Esta energía representa el incremento de peso que las cerdas en gestación ganan a lo largo del período productivo, por tanto se recurre a los pesos inicial y final de la Tabla 4.

Si bien, en las reproductoras en primera gestación se considera que todo el incremento de peso de la cerda se debe al crecimiento del feto y anexos y a la ganancia de peso de la ubre sin haber ganancia de reservas. (MARM, 2008). Por tanto la siguiente ecuación (FEDNA, 2013) sólo se aplica a la categoría “Reproductora en ≥ 2ª gestación”:

$$EM_{\text{ganancia reservas}} \text{ (MJ/día)} = \left[\frac{[P_{\text{final}}(\text{kg}) - P_{\text{inicial}}(\text{kg})] \cdot 20,09664 \text{ (MJ/kg)}}{D \text{ (días)}} \right]$$

Siendo:

20,09664: Valor energético de la ganancia de reservas de la cerda (MJ EM/kg).⁴

c) Energía metabolizable para la ganancia de peso de la ubre

Se obtiene a través de la siguiente ecuación (FEDNA, 2013):

$$EM_{\text{ganancia peso ubre}} \text{ (MJ/día)} = 0,774558 \text{ (MJ/día)} \cdot \frac{D \text{ (días)} - 80 \text{ (días)}}{D \text{ (días)}}$$

Siendo:

0,774558 MJ/d el valor energético promedio para el incremento del tejido mamario entre los días 80 y 114 de la gestación (FEDNA, 2013).

3.6.3. Energía total necesaria de la ingesta

Obtenidos todos los cálculos anteriores se estima la energía diaria necesaria para cada categoría animal, que equivale a la suma de las diferentes energías:

$$EM_{\text{total diaria}} \text{ (MJ/día)} = EM_m + EM_t + EM_c + EM_l + EM_g$$

Sin embargo, se ha tenido en cuenta que durante la lactación las cerdas movilizan reservas de energía previamente acumuladas a lo largo de la gestación, y que se estiman en 13,7 MJ/día, de acuerdo con las normas de la BSAS (2003).

Así, para las categorías “Reproductora en 1ª lactación” y “Reproductora en ≥ 2ª lactación” la energía total necesaria de la ingesta se obtiene de esta manera:

$$EM_{\text{total diaria}} \text{ (MJ/día)} = EM_m + EM_t + EM_c + EM_l + EM_g - 13,7 \left(\frac{\text{MJ}}{\text{día}} \right)$$

En el modelo, una vez conocida la energía diaria necesaria, ésta se convierte en anual, representando al total de animales de la categoría, simplemente multiplicando por la duración del periodo (D_n) y por el número de animales de la categoría (P_n):

$$EM_{\text{total anual}} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{año}} \right) = EM_{\text{total diaria}} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{día y animal}} \right) \cdot D_n (\text{días}) \cdot P_n$$

3.7. DIETA BASAL DE LOS ANIMALES

A la hora de realizar el balance nutricional, se necesita conocer la dieta de los animales para lo cual se han establecido unos piensos tipo. La razón por la que se ha decidido fijar unos piensos tipo es por las variaciones existentes en la composición de los piensos a lo largo del tiempo ya sea por la disponibilidad de materias primas en el mercado o por el precio de las mismas, por lo que el balance podría cambiar bastante. Sin embargo, el ganadero tiene la posibilidad de modificar la cuantía de cada materia prima que compone los piensos adaptándola a la de los piensos que utiliza en su explotación.

Para obtener los piensos tipo se ha tenido en cuenta las necesidades mínimas y máximas de las distintas categorías en cuanto a energía metabolizable (EM), proteína bruta (PB), digestibilidad de algunos aminoácidos como lisina, metionina, cisteína y treonina, y de algunos macrominerales como el calcio, fósforo, sodio y cloro. Todo ello basándose en la Norma FEDNA (2013), que es un referente de la alimentación animal en España.

El valor nutritivo de los piensos se ha estimado a partir de las tablas de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos, FEDNA (2010). Los ingredientes que constituyen los piensos diseñados para este trabajo son el maíz, trigo, cebada, salvado de trigo, harina de girasol (con un contenido en PB del 28%), harina de soja (con un contenido en PB del 44%), sebo, L-Lisina HCL, DL-Metionina, L-Treonina, carbonato cálcico, fosfato bicálcico anhidro, cloruro sódico (riqueza 96%), bicarbonato sódico y un corrector vitamínico y de oligoelementos. La cantidad de cada ingrediente se ha establecido, como ya se ha indicado anteriormente, en función de las necesidades mínimas y máximas de las categorías animales y del precio de mercado de estas materias primas durante el periodo comprendido entre febrero de 2014 y marzo de 2016 (CESFAC, 2016). En el Anejo 1 se puede observar cómo se ha obtenido cada pienso.

En total se han considerado cuatro tipos de pienso: dos para cebo (fase 1 y fase 2), uno para las reproductoras en gestación y otro restante para las reproductoras en lactación. Sin embargo, no se ha tenido en cuenta ni el pienso de iniciación para los lechones ni el de transición, puesto que el consumo de ambos es muy bajo en comparación con el del resto de los piensos. En las Tablas 22, 23, 24 y 25 del Anejo 1 aparecen la composición, la energía metabolizable, el contenido en proteína bruta, la humedad y el precio de cada uno de los piensos.

Conociendo el contenido energético de los piensos tipo (EM_{pienso}) y las necesidades energéticas ($EM_{\text{total diaria}}$) de las diferentes categorías animales, se determina la ingesta de pienso por parte de los animales (kg/día y animal). De este modo, la cantidad de pienso consumido diariamente por cada animal (C_{pienso}) se calcula a partir de la energía requerida por cada categoría animal y el correspondiente aporte energético del alimento, además se mayor un 10% considerando así el desperdicio de alimento que pueda ocurrir en la explotación (Carr., 2008) tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$C_{\text{pienso}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{día y animal}} \right) = \frac{EM_{\text{total diaria}} (\text{MJ/día})}{EM_{\text{pienso}} (\text{MJ/kg})} \cdot 1,1$$

En el modelo, el consumo de pienso diario se convierte en anual, representando al total de animales de la categoría, simplemente multiplicando por la duración del periodo (D_n) y por el número de animales de la categoría (P_n):

$$C_{\text{pienso anual}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right) = C_{\text{pienso}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{día y animal}} \right) \cdot D_n (\text{días}) \cdot P_n$$

Siendo:

n : número de la categoría correspondiente

Para determinar el consumo de materia seca (MS) del pienso anualmente se multiplica el consumo de pienso anual por el contenido de materia seca del mismo:

$$C_{\text{pienso MS anual}} \left(\frac{\text{kg MS}}{\text{año}} \right) = C_{\text{pienso anual}} (\text{kg / año}) \cdot \left(1 - \frac{\text{Humedad} (\%)}{100} \right)$$

Siendo:

Humedad: el contenido de humedad del pienso en porcentaje. Este valor se recoge en las Tablas 22, 23, 24 y 25.

El cálculo del coste del pienso anualmente se obtiene multiplicando el consumo de pienso anual por el precio del mismo:

$$\text{Coste}_{\text{pienso}} \left(\frac{\text{€}}{\text{año}} \right) = C_{\text{pienso anual}} (\text{kg / año}) \cdot \text{Precio}_{\text{pienso}} (\text{€/kg})$$

Siendo:

$\text{Precio}_{\text{pienso}}$: el precio de cada pienso. Este valor se recoge en las Tablas 22, 23, 24 y 25.

3.8. BALANCE DE NITRÓGENO

Por un lado, dado que se conoce el contenido en proteína bruta del pienso, se puede determinar el nitrógeno ingerido, y a continuación se calcula el nitrógeno retenido por los animales durante su crecimiento, el periodo de lactación y de gestación.

Por otro lado, el nitrógeno excretado se puede determinar haciendo un balance entre el nitrógeno ingerido con el pienso y el nitrógeno retenido.

3.6.1. Nitrógeno ingerido

Como ya se ha indicado, este factor se obtiene a partir de la proteína ingerida, a la cual se le aplica un factor de conversión de 1/6,25 (kg de N/ kg de PB) debido a que se considera que la PB contiene un 16% de nitrógeno. Esto queda reflejado en la siguiente ecuación:

$$N_{\text{ingerido}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{día}} \right) = C_{\text{pienso}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{día y animal}} \right) \cdot \frac{PB_{\text{pienso}} (\%)}{100} \cdot \frac{1}{6,25}$$

Siendo:

PB_{pienso} : Contenido en proteína bruta del pienso (% sobre materia fresca).

Para determinar el nitrógeno ingerido total se emplea la siguiente ecuación:

$$N_{\text{ingerido total}}(\text{kg}) = \frac{N_{\text{ingerido}}(\text{kg/día}) \cdot D(\text{días})}{P_n}$$

Siendo:

P_n : Número de animales presentes en un momento dado en la explotación de la categoría n.

3.8.2. Nitrógeno retenido

3.8.2.1. Nitrógeno retenido en el crecimiento

En el presente modelo, el nitrógeno retenido durante el crecimiento se determina según la ecuación basada en FEDNA (2006), pero adaptada a los parámetros del presente trabajo, de tal forma que la ecuación resultante es:

$$N_{\text{crecimiento}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{día}} \right) = \frac{\text{Frac}_{\text{proteína}}(\text{kg PB/kg}) \cdot \text{GMD}(\text{kg/día})}{6,25 (\text{Kg N/kg PB})}$$

Siendo:

$\text{Frac}_{\text{proteína}}$: Fracción de proteína retenida en cada kg incremento de peso. Este valor se recoge en la Tabla 8.

3.8.2.2. Nitrógeno retenido en el crecimiento de los lechones lactantes

Como se ha podido observar en el modelo, los lechones lactantes no tienen una categoría propia puesto que las necesidades energéticas se asocian a las madres (Reproductora en 1ª lactación y Reproductora en $\geq 2^{\text{a}}$ lactación). Estos animales retienen 0,155 kg de proteína bruta por cada kg de ganancia de peso (Noblet y Etienne, 1987). Así pues, para estas dos categorías de reproductoras, la retención de nitrógeno debida al crecimiento de los lechones viene determinada por la siguiente ecuación (basada en MARM (2008), pero adaptada a los parámetros de este trabajo):

$$N_{\text{lactación}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{día}} \right) = \frac{0,155 \cdot \frac{[P_{\text{dest}}(\text{kg}) - P_{\text{nac}}(\text{kg})] \cdot N_{\text{camada}}}{E_{\text{dest}}(\text{días})}}{6,25}$$

3.8.2.3. Nitrógeno retenido en la gestación

El nitrógeno retenido en la gestación se estima a partir del número de lechones nacidos vivos por parto (N_{camada}), del peso del lechón en el nacimiento (P_{nac}) y del contenido en proteína del lechón recién nacido, para el cual se estima un valor del 20% (Kyriazakis, 2006). Por tanto para obtener este parámetro se aplica la siguiente ecuación, que sólo se utiliza para las categorías de Reproductora en 1ª gestación y Reproductora en $\geq 2^{\text{a}}$ gestación.

$$N_{\text{gestación}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{día}} \right) = \frac{N_{\text{camada}} \cdot P_{\text{nac}}(\text{kg}) \cdot 0.2}{6,25}$$

2.6.2.4. Nitrógeno retenido total

La suma de los tres factores anteriores: $N_{\text{crecimiento}}$, $N_{\text{lactación}}$ y $N_{\text{gestación}}$ representa el nitrógeno total retenido diariamente, que sigue la siguiente ecuación:

$$N_{\text{retenido}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{día}} \right) = N_{\text{crecimiento}}(\text{kg/día}) + N_{\text{lactación}}(\text{kg/día}) + N_{\text{gestación}}(\text{kg/día})$$

Sin embargo, para obtener el nitrógeno total retenido anualmente se emplea la siguiente ecuación:

$$N_{\text{retenido total}}(\text{kg}) = \frac{N_{\text{retenido}}(\text{kg/día}) \cdot D(\text{días})}{P_n}$$

Siendo:

P_n : Número de animales presentes en un momento dado en la explotación de la categoría n.

3.6.3. Nitrógeno excretado

Es el resultado de la diferencia entre la entrada de nitrógeno (N_{ingerido} o $N_{\text{ingerido total}}$), y el nitrógeno retenido por los animales (N_{retenido} o $N_{\text{retenido total}}$), como se muestra a continuación:

$$N_{\text{excretado}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{día}} \right) = N_{\text{ingerido}}(\text{kg/día}) - N_{\text{retenido}}(\text{kg/día})$$

$$N_{\text{excretado total}}(\text{kg}) = N_{\text{ingerido total}}(\text{kg}) - N_{\text{retenido total}}(\text{kg})$$

3.9. EXCRECIÓN DE SÓLIDOS VOLÁTILES

Basándose en las directrices del IPCC de 2006, la excreción de sólidos volátiles equivale a la fracción de la dieta consumida que no se digiere, y que se obtiene a través de la energía bruta del alimento (EB_{pienso}) y de su digestibilidad (DE), calculándose de la siguiente manera:

$$SV \left(\frac{\text{kg MS}}{\text{año}} \right) = C_{\text{pienso anual}} \cdot EB_{\text{pienso}} \cdot [(1 - DE) + \text{Frac}_{\text{orina}}] \cdot (1 - C_{\text{zs}}) \cdot \frac{1 \text{ kg MS}}{18.45 \text{ MJ}}$$

Siendo:

EB_{pienso} : Energía bruta del alimento (MJ/kg). La obtención de este valor se explica en el Anejo 2.

DE: Digestibilidad del pienso ingerido (fracción). Se obtiene a través de la relación existente entre la energía digestible (ED) del pienso y la EB del mismo. El valor de la ED se obtiene para cada ingrediente de las Tablas FEDNA 2010, y el valor para cada pienso tipo aparece en la Tabla 9:

Tabla 9.: Valores de DE (en MJ/kg MS) en función del tipo de pienso.

Tipo de Pienso	DE
Pienso Gestación	0,71
Pienso Lactación	0,73
Pienso Cebo 1	0,75
Pienso Cebo 2	0,75

Frac_{orina}: Fracción de la energía bruta perdida en la orina. En porcino se considera un 0,02 (IPCC, 2006).

Czs: Proporción de cenizas en el estiércol. En porcino se estima un 0,02 (IPCC, 1997).

El total de SV producidos en el conjunto de la explotación se obtiene a través del sumatorio de las cantidades de SV excretadas por cada categoría animal:

$$SV_{\text{explotación}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right) = \sum SV_i \left(\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right)$$

Siendo:

$\sum SV_i$ (kg/año): Suma de las cantidades de SV excretadas por cada categoría animal.

3.10. EMISIONES POR GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL

Conociéndose el nitrógeno total excretado en el conjunto de la explotación ($N_{\text{excretado explotación}}$) se puede estimar qué cantidad de ese nitrógeno se emitirá en forma de NH_3 y qué cantidad en forma de N_2O .

En cuanto al metano, al procesarse el purín líquido, se descompone anaeróbicamente y puede producir una cantidad significativa de CH_4 . Al conocerse también la cantidad de sólidos volátiles excretados al año en la explotación ($SV_{\text{explotación}}$) se puede calcular la cantidad de metano que se emitirá a partir de estos sólidos volátiles.

3.10.1. Emisión de NH_3

Dentro de las explotaciones porcinas durante la gestión del estiércol, el amoníaco se puede emitir tanto en el alojamiento como en el almacenamiento posterior de los purines en balsas.

Por un lado, para calcular la cantidad de NH_3 emitida durante el alojamiento se considera un factor de emisión de 0,187 kg de NH_3 /kg de N excretado para todas las reproductoras (desde P4 hasta P9), y de 0,238 para el resto de categorías (EEA, 2013).

Por tanto, las emisiones de NH_3 se calculan utilizando las ecuaciones que se recogen en la Tabla 10 en función de la categoría animal.

Tabla 10.: Ecuaciones de cálculo del amoníaco total anual emitido por cada categoría animal en el alojamiento.

Categorías		Ecuación
P4 P5 P6	P7 P8 P9	$NH_3 \text{ alojamiento } \left(\frac{\text{kg}}{\text{año}}\right) = 0,187 \cdot N_{\text{excretado total}}(\text{kg/año})$
P1 P2 P3	P10 P11	$NH_3 \text{ alojamiento } \left(\frac{\text{kg}}{\text{año}}\right) = 0,238 \cdot N_{\text{excretado total}}(\text{kg/año})$

Por otro lado, para calcular la cantidad de NH_3 emitida el almacenamiento posterior, se considera un factor de emisión de 0,119 kg de NH_3 /kg de $N_{\text{disponible}}$ para todas las categorías, siendo el $N_{\text{disponible}}$ el excretado menos el ya emitido como NH_3 en el alojamiento (Hutchings et al., 2013). Por tanto se emplea la siguiente ecuación:

$$NH_3 \text{ almacenamiento } \left(\frac{\text{kg}}{\text{año}}\right) = 0,119 \cdot N_{\text{disponible}}(\text{kg/año})$$

Siendo:

$NH_3 \text{ almacenamiento}$: Amoníaco total emitido en el almacenamiento por categoría animal.

$N_{\text{disponible}}$: Nitrógeno total excretado disponible tras descontar el transformado en NH_3 en el alojamiento. Se obtiene a través de esta ecuación:

$$N_{\text{disponible}}(\text{kg/año}) = N_{\text{excretado total}}(\text{kg/año}) - N_{\text{alojamiento}}(\text{kg/año})$$

Siendo:

$N_{\text{alojamiento}}$: Nitrógeno emitido en forma de amoníaco en el alojamiento, que se obtiene de la siguiente manera:

$$N_{\text{alojamiento}}(\text{kg/año}) = NH_3 \text{ alojamiento} \times \frac{14}{17}$$

De tal forma, que el total de amoníaco emitido debido a la gestión del estiércol, para cada categoría animal, es la suma del emitido en el alojamiento y el emitido en el almacenamiento:

$$NH_3 \text{ estiércol } \left(\frac{\text{kg}}{\text{año}}\right) = NH_3 \text{ alojamiento}(\text{kg/año}) + NH_3 \text{ almacenamiento}(\text{kg/año})$$

Mientras que el amoníaco emitido por la gestión del estiércol en el total de la explotación es la suma de las cantidades de amoníaco emitidas por todas las categorías animales:

$$NH_3 \text{ estiércol explotación } \left(\frac{\text{kg}}{\text{año}}\right) = \sum NH_3 \text{ estiércol}_i(\text{kg/año})$$

Siendo:

$\sum \text{NH}_3_{\text{estiércol } i} (\text{kg/año})$: Suma de las cantidades de NH_3 emitidas durante la gestión del estiércol por cada categoría animal.

3.10.2. Emisión de N_2O

Las emisiones directas de N_2O durante la gestión del estiércol se producen a través de la nitrificación y desnitrificación del nitrógeno contenido en el estiércol. Sin embargo, mientras que la producción y emisión de N_2O del estiércol requiere la presencia de nitritos o de nitratos en un ambiente anaeróbico, esta transformación ha de estar precedida por condiciones aeróbicas necesarias para la formación de estas formas oxidadas del nitrógeno (IPCC, 2006). Es por este motivo por el cual el porcino emite muy pocas emisiones de este gas puesto que el estiércol se gestiona prácticamente en condiciones anaeróbicas, y por tanto el proceso de nitrificación no puede producirse totalmente.

Aun así, por ser un gas con un alto potencial de calentamiento global, se han calculado las emisiones de N_2O debido al almacenamiento del estiércol. Para ello se han empleado los coeficientes de emisiones (P) del Registro estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes (EPER-España), que para las categorías del presente trabajo se recogen en la Tabla 11.:

Tabla 11.: Emisiones de N_2O (en $\text{kg N}_2\text{O/plaza y año}$) debidas a la gestión del estiércol para categoría animal.

Categoría	Emisión de N_2O ($\text{kg N}_2\text{O/plaza y año}$)
Cebo (Fase 1)	0,002249
Cebo (Fase 2)	0,003189
Cerdas de reposición	0,003189
Reproductora en 1ª gestación	0,005625
Reproductora en 1ª lactación	0,005625
Reproductora en espera de cubrición (1ª vez)	0,021601
Reproductora en $\geq 2^{\text{a}}$ gestación	0,005625
Reproductora en $\geq 2^{\text{a}}$ lactación	0,005625
Reproductora en espera de cubrición ($\geq 2^{\text{a}}$ vez)	0,021601
Verracos de reposición	0,003189
Verracos	0,006749

Por tanto el cálculo de N_2O por categoría animal y por el conjunto de la explotación se obtienen aplicando las siguientes ecuaciones:

$$\text{N}_2\text{O}_{\text{estiércol}} \left(\text{kg N}_2\text{O/año} \right) = \text{Plazas}_n \cdot P_n (\text{kg N}_2\text{O/año})$$

Siendo:

$\text{N}_2\text{O}_{\text{estiércol}}$: Óxido de nitrógeno anual emitido a partir del almacenamiento del estiércol por una categoría animal.

P_n = Emisión de N_2O por plaza y año de la categoría n.

$$N_2O_{\text{estiércol explotación}} \left(\text{kg } N_2O / \text{año} \right) = \sum N_2O_{\text{estiércol}_i} \left(\text{kg } N_2O / \text{año} \right)$$

Siendo:

$\sum N_2O_{\text{estiércol}_i}$ (kg N_2O /año): Suma de las cantidades de N_2O emitidas durante el almacenamiento del estiércol por cada categoría animal.

En cuanto al número de plazas en funcionamiento, éste se calcula a través del número de animales presentes en cada categoría y el número de periodos por año de esa categoría (MARM, 2008), empleando la siguiente ecuación:

$$\text{Plazas}_n = P_n \cdot N^\circ \text{ de periodos}$$

Siendo:

- Plazas_i : número de plazas en funcionamiento para una categoría n.
- P_n : Número de animales presentes en un momento dado en la explotación de la categoría n.
- N° de periodos: número de periodos existentes para cada categoría. Este parámetro, a su vez, depende del periodo de no ocupación (tiempo en días durante el cual la plaza de una categoría determinada está desocupada por vacío sanitario) y del periodo productivo (D). Por tanto el N° de periodos se obtiene de la siguiente forma (MARM,2008):

$$N^\circ \text{ de periodos} = \frac{365 \text{ (días/año)}}{\text{Periodo no ocupación (días)} + D \text{ (días)}}$$

En la práctica, tras el periodo de cebo y el periodo de lactación se realizan tareas de limpieza y vacío sanitario (MARM, 2008). Por este motivo, se ha considerado un periodo de no ocupación de 7 días para las categorías de “Cebo (Fase 1)”, “Cebo (Fase 2)”, “Reproductora en 1ª lactación” y “Reproductora en $\geq 2^a$ lactación”. Para el resto de categorías se ha considerado una ocupación total.

Resumiendo, el número de plazas en funcionamiento se calcula como se muestra en la Tabla 12 en función de cada categoría animal:

Tabla 12.: Ecuaciones de cálculo para el número de plazas en función de la categoría animal.

Categorías		Ecuación
P1 P2	P5 P8	$\text{Plazas}_n = P_n \cdot \frac{D(\text{días}) + 7(\text{días})}{365 \text{ (días/año)}}$
P3 P4 P6 P7	P9 P10 P11	$\text{Plazas}_n = P_n \cdot \frac{D(\text{días}) + 7(\text{días})}{365 \text{ (días/año)}}$

3.10.3. Emisión de CH_4

En el caso del ganado porcino al gestionarse el estiércol producido como líquido, éste se descompone anaeróbicamente y puede llegar a producir una cantidad significativa de CH_4 (IPCC, 2006).

El metano emitido a partir de los sólidos volátiles tanto para cada categoría animal como para el conjunto de la explotación, se obtiene de la siguiente manera (MAGRAMA, 2014):

$$\text{CH}_4_{\text{estiércol}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right) = 0,105525 \cdot \text{SV}(\text{kg/año})$$

Siendo:

$\text{CH}_4_{\text{estiércol}}$: Metano total anual emitido a partir de los sólidos volátiles por una categoría animal.

$$\text{CH}_4_{\text{estiércol explotación}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right) = \sum \text{CH}_4_{\text{estiércol}_i} (\text{kg/año})$$

Siendo:

$\sum \text{CH}_4_{\text{estiércol}_i} (\text{kg/año})$: Suma de las cantidades de CH_4 emitidas durante la gestión del estiércol por cada categoría animal.

3.11. EMISIONES ASOCIADAS A LOS PIENSOS

Para determinar los impactos ambientales asociados a la producción de los ingredientes de los piensos se ha utilizado la base de datos Ecoinvent 3.01 (ECOINVENT CENTRE, 2016), que recoge el análisis de ciclo de vida de los ingredientes hasta su transformación en materias primas para la formulación de los piensos (no incluye pues el proceso final de mezclado ni de transporte hasta la granja).

En la Tabla 13 se recoge las emisiones tanto de GEI como de amoníaco de las materias primas que componen los piensos de este trabajo.

Tabla 13.: Datos de emisión de GEI y amoníaco de las materias primas que constituyen los piensos diseñados para este trabajo (maíz, trigo, cebada, salvado de trigo, harina de girasol, harina de soja, sebo, L-Lisina HCL, DL-Metionina, L-Treonina, carbonato cálcico, fosfato bicálcico anhidro, cloruro sódico, bicarbonato sódico y un corrector vitamínico y de oligoelementos).

Materia Prima	GEI (kg CO ₂ eq/ kg MS)					NH ₃ (g NH ₃ -N/kg MS)
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Otros	TOTAL	
Maíz	0,330	0,013	0,383	0,001	0,727	6,603
Trigo	0,158	0,005	0,260	0,000	0,423	4,724
Cebada	0,345	0,014	0,730	0,001	1,091	0,914
Salvado de trigo	0,411	0,018	0,118	0,000	0,547	2,085
Harina de girasol 28	0,831	0,083	0,331	0,001	1,246	5,824
Harina de soja 44	4,347	0,020	0,237	0,000	4,604	4,911
Sebo	0,624	0,038	0,001	0,001	0,664	
L-LISINA HCL					4,290	
DL-METIONINA					2,960	
L-TREONINA					4,290	
Carbonato cálcico					0,436	
Fosfato bicálcico					1,202	

Cloruro sódico					0,216	
Bicarbonato sódico					0,436	
Corrector vit.-olig.	1,364	0,069	0,416	0,003	1,852	0,465

Como se puede observar en la Tabla 13, las materias primas: L-Lisina HCL, DL-Metionina, L-Treonina, carbonato cálcico, fosfato bicálcico anhidro, cloruro sódico, bicarbonato sódico sólo disponen de datos de emisión de GEI, no existiendo datos referentes al amoníaco en la base de datos utilizada.

Al conocerse las emisiones de cada materia que compone los piensos, conociéndose la composición de los mismos se obtiene las emisiones asociadas a cada pienso tipo, éstas se recogen en la Tabla 14.

Tabla 14.: Emisiones de GEI y NH₃ en función del tipo de pienso.

Tipo de Pienso	GEI <i>(kg CO₂ eq/ kg MS)</i>	NH₃ <i>(g NH₃/kg MS)</i>
Pienso Gestación	1,76	1,84
Pienso Lactación	1,22	1,51
Pienso Cebo 1	1,65	3,76
Pienso Cebo 2	1,56	3,69

De tal manera que conociéndose el consumo anual de materia seca de los piensos, por cada categoría animal y por el conjunto de la explotación, y las emisiones de GEI y de NH₃ de los mismos, se puede obtener el total de emisiones asociadas a los piensos de cada categoría animal y del conjunto de la explotación, aplicándose las siguientes ecuaciones:

$$GEI_{\text{pienso}} \left(\frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{año}} \right) = C_{\text{pienso MS anual}} \left(\frac{\text{kg MS}}{\text{año}} \right) \cdot GEI \left(\frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{kg MS}} \right)$$

$$GEI_{\text{pienso (explotación)}} \left(\frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{año}} \right) = \sum GEI_{\text{pienso}} \left(\frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{año}} \right)$$

Siendo:

GEI_{pienso}: Cantidad de GEI asociada al pienso consumido por cada categoría animal.

GEI: Cantidad de GEI generada por cada pienso. Estos valores se presentan en la Tabla 14.

GEI_{pienso (explotación)}: Cantidad de GEI asociada al pienso consumido en el conjunto de la explotación.

$$NH_3_{\text{pienso}} \left(\frac{\text{kg NH}_3}{\text{año}} \right) = C_{\text{pienso MS anual}} \left(\frac{\text{kg MS}}{\text{año}} \right) \cdot NH_3 \left(\frac{\text{g NH}_3}{\text{kg MS}} \right) \cdot \frac{1}{1000 \text{ (g/kg)}}$$

$$\text{NH}_3 \text{ pienso (explotación)} \left(\frac{\text{kg NH}_3}{\text{año}} \right) = \sum \text{NH}_3 \text{ pienso} \left(\frac{\text{kg NH}_3}{\text{año}} \right)$$

Siendo:

$\text{NH}_3 \text{ pienso}$: Cantidad de NH_3 asociada al pienso consumido por cada categoría animal.

NH_3 : Cantidad de NH_3 generada por cada pienso. Estos valores se presentan en la Tabla 14.

$\text{NH}_3 \text{ pienso (explotación)}$: Cantidad de NH_3 asociada al pienso consumido en el conjunto de la explotación.

3.12. EMISIONES DE METANO POR FERMENTACIÓN ENTÉRICA

Además del metano generado durante la gestión de los estiércoles, este gas también se origina como subproducto de los procesos de fermentación que se producen durante la digestión del alimento ingerido por el animal. Por tanto, la cantidad de metano emitido depende tanto del animal como de la calidad y la cantidad de la dieta consumida, además, supone una pérdida de energía en el proceso digestivo que se cuantifica a través del factor Y_m , que es el porcentaje de la energía bruta del alimento que se transforma en metano.

La emisión de metano debida a fermentación entérica 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), y se calcula con la siguiente ecuación basada en IPCC (2006) pero adaptada a los parámetros de este trabajo:

$$\text{CH}_4 \text{ fermentación} \left(\frac{\text{kg CH}_4}{\text{año}} \right) = \frac{\text{EB}_{\text{total anual}} \text{ (MJ/año)} \cdot Y_m \text{ (\%)}}{55,65 \text{ (MJ/kg CH}_4)}$$

Siendo:

$\text{CH}_4 \text{ fermentación}$: Factor de emisión de metano por fermentación entérica.

$\text{EB}_{\text{total anual}}$: Energía bruta total anual del pienso consumido por cada categoría animal. Su obtención viene explicada en el Anejo 2.

El factor 55,65 (MJ/kg CH_4) es el contenido de energía del metano.

Y_m : Tasa de conversión de metano, es decir la fracción de la energía bruta del alimento que se transforma en metano. Los valores para cada categoría animal se recoge en la Tabla 15.

Tabla 15.: Tasa de conversión de metano (en %) para cada categoría animal. (IPCC, 1997. Noblet y Shi, 1994).

Categoría	Y_m (%)
Cebo (Fase 1)	0,60
Cebo (Fase 2)	0,60
Cerdas de reposición	0,65
Reproductora en 1ª gestación	1,05
Reproductora en 1ª lactación	0,90
Reproductora en espera de cubrición (1ª vez)	1,05
Reproductora en $\geq 2^{\text{a}}$ gestación	1,05

Reproductora en $\geq 2^{\text{a}}$ lactación	0,90
Reproductora en espera de cubrición ($\geq 2^{\text{a}}$ vez)	1,05
Verracos de reposición	0,709
Verracos	0,99

Una vez obtenida la emisión de metano para cada categoría animal, se procede a conocer la emisión de metano por fermentación entérica del conjunto de la explotación:

$$\text{CH}_4_{\text{ fermentación explotación}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{año}} \right) = \sum \text{CH}_4_{\text{ fermentación}_i} (\text{kg/año})$$

Siendo:

$\sum \text{CH}_4_{\text{ fermentación}_i} (\text{kg/año})$: Suma de las cantidades de metano entérico generadas por cada categoría animal.

3.13. EMISIONES TOTALES

Recopilando todo lo anterior, el modelo recoge las emisiones que se generan en tres puntos: la producción de piensos, la gestión del estiércol y la fermentación entérica. Sumando las cantidades de cada contaminante emitidas en los tres puntos se obtiene la cantidad total emitida de ese contaminante en la explotación.

Para obtener la emisión de GEI, al expresarse en unidades de CO_2 equivalentes, cada sustancia es multiplicada por su correspondiente factor de caracterización, así por ejemplo para el metano se emplea un valor de 21 como potencial de calentamiento global (IPCC, 2007) y para el óxido nitroso un valor de 298 (IPCC, 2007). Por tanto la emisión de kg equivalentes de CO_2 se obtiene con la siguiente ecuación:

$$\text{GEI}_{\text{TOTAL}} \left(\frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{año}} \right) = \text{GEI}_{\text{estiércol}} \left(\frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{año}} \right) + \text{GEI}_{\text{pienso}} \left(\frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{año}} \right) + \text{GEI}_{\text{fermentación}} \left(\frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{año}} \right)$$

Siendo:

$$\text{GEI}_{\text{estiércol}} \left(\frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{año}} \right) = \left[21 \cdot \text{CH}_4_{\text{ estiércol}} \left(\frac{\text{kg CH}_4}{\text{año}} \right) + 298 \cdot \text{N}_2\text{O}_{\text{ estiércol}} \left(\frac{\text{kg N}_2\text{O}}{\text{año}} \right) \right]$$

$$\text{GEI}_{\text{fermentación}} \left(\frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{año}} \right) = \left[21 \cdot \text{CH}_4_{\text{ fermentación}} \left(\frac{\text{kg CH}_4}{\text{año}} \right) \right]$$

La cantidad de amoníaco total emitido, se obtiene de la suma de las emisiones generadas en la gestión del estiércol y de las asociadas al pienso:

$$\text{NH}_3_{\text{ TOTAL}} \left(\frac{\text{kg NH}_3}{\text{año}} \right) = \text{NH}_3_{\text{ estiércol}} \left(\frac{\text{kg NH}_3}{\text{año}} \right) + \text{NH}_3_{\text{ pienso}} \left(\frac{\text{kg NH}_3}{\text{año}} \right)$$

4. PUESTA A PUNTO DEL MODELO

Introducidas todas las ecuaciones vistas anteriormente en las hojas de cálculo, en este apartado se pretende realizar una serie de simulaciones para testar el modelo y poder estimar y

comparar las emisiones tanto de GEI como de NH₃. En primer lugar se ha desarrollado un análisis de sensibilidad del modelo, para evaluar su respuesta frente a diferentes parámetros de entrada. Posteriormente se han evaluado dos escenarios diferentes: en primer lugar se realiza una comparación entre diferentes tipos de alimentación, y en segundo lugar entre explotaciones clasificadas en función de su productividad. Todos los resultados obtenidos con el modelo son similares a los que se recogen en el inventario de emisiones de España.

4.1. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Este análisis se realiza con la finalidad de identificar cuáles son los parámetros que más influyen sobre las emisiones. De tal manera que utilizando los valores medios de las explotaciones de España (“España media”), se han modificado todos los parámetros en un 15%, 10% y 5% tanto por debajo de la media como por encima, y se han calculado las emisiones por 1000 kg de carne para cada caso. En las figuras 5 y 6 se muestran los parámetros que más han influido en las emisiones, éstos por orden de importancia son: el rendimiento de la canal, el peso de la canal, la ganancia diaria de peso, el número de partos por cerda y año, y finalmente el tamaño de la camada.

Figura 5.: Análisis de sensibilidad para la emisión de GEI (kg de CO₂ eq) por 1000 kg de carne producida.

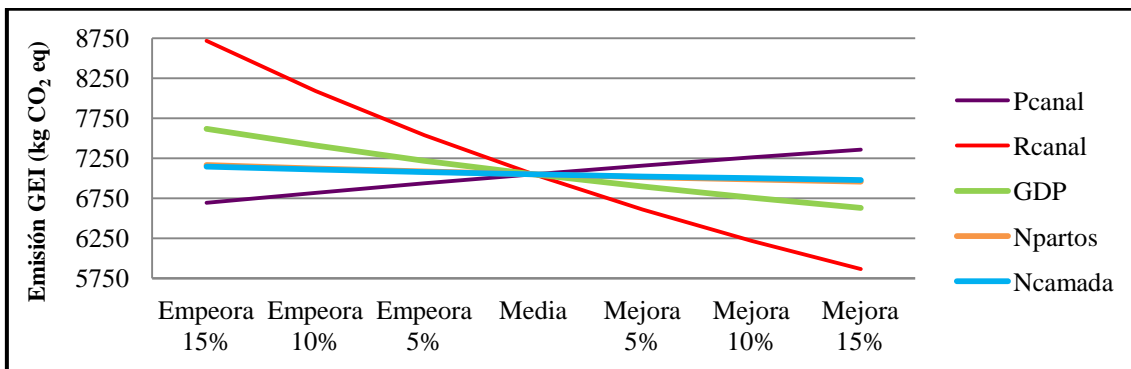
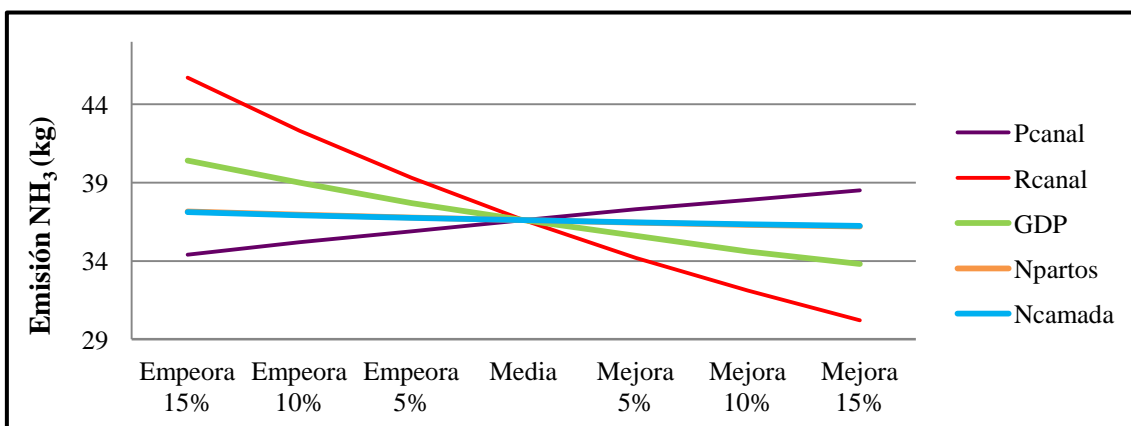


Figura 6.: Análisis de sensibilidad para la emisión de GEI (en kg de CO₂ eq) por 1000 kg de carne producida.



Como se observa en ambas figuras (Figuras 5 y 6) el parámetro que más influye en las emisiones es el rendimiento de la canal puesto que se necesitan menos individuos para alcanzar el objetivo de producción de carne, por lo tanto concuerda con lo visto en el apartado anterior,

ya que las granjas con mejores índices productivos, que presentan un rendimiento de la canal superior a la media, son más eficientes desde el punto de vista de la producción de emisiones.

4.2. ANÁLISIS EN FUNCIÓN DE LA ALIMENTACIÓN

Para realizar la simulación, se han planteado tres tipos de alimentación: una a base de los piensos tipo desarrollados en el presente trabajo (“Pienso tipo”), otra con una reducción del 50% en harina de soja con respecto a los piensos tipo (“Pienso (reducido en soja)”) cuyas características se recoge en el Anejo 3 y otra con únicamente dos piensos (“Dos piensos”): uno para cebo (correspondiente al pienso tipo: Cebo Fase 1) y otro para las reproductoras (correspondiente al pienso tipo: Lactación). Para los datos de entrada se han considerado los valores de la categoría “España media”.

En la Figura 7 se indican los porcentajes de emisión de GEI obtenidos con el modelo en los tres puntos estudiados (pienso, fermentación entérica y gestión del estiércol) para los diferentes tipos de alimentación planteados. Se puede observar que independientemente del tipo de alimentación, la mayor parte de estas emisiones están asociadas al pienso (aproximadamente un 70% del total), seguidas por la gestión del estiércol (con más de un 25% del total) y por último por la fermentación entérica a la cual se le atribuye únicamente el 2% del total de emisiones de GEI. Se puede comprobar como una reducción en el contenido en soja contribuye a la reducción del peso del pienso en el total de las emisiones de GEI. Esto puede deberse a que la harina de soja lleva asociada más cantidad de emisiones de GEI (579 g de CO₂/kg) que la harina de girasol (474 g de CO₂ eq/kg), que es la que ha sustituido en mayor parte a la harina de soja en el “Pienso (reducido en soja)”, principalmente porque el cultivo de soja presenta mayores requerimientos de fertilización nitrogenada, alrededor de un 18% más que el cultivo de girasol (van Krimpen et al., 2013). Por tanto incidir en el pienso y en concreto en su formulación es un factor clave para reducir las emisiones de GEI generadas en la granja.

Al mismo tiempo, en la Figura 8 se indican los porcentajes de emisión de NH₃ en la granja debidas tanto al pienso como a la gestión del estiércol. En este caso las principales emisiones se generan durante la gestión del estiércol, aproximadamente dos tercios del total, mientras que asociadas al pienso sólo se debe un tercio del total. Sin embargo, las emisiones de amoníaco del estiércol derivan del nitrógeno que no ha sido retenido por el animal y es expulsado, y por tanto indirectamente también están relacionadas con la alimentación. Por lo que también puede resultar interesante modificar la alimentación para reducir la emisión de amoníaco en la explotación.

Figura 7.: Porcentaje de emisión de GEI en los tres puntos estudiados en el modelo: pienso, fermentación entérica y gestión del estiércol; en función del tipo de alimentación aportada a los animales.

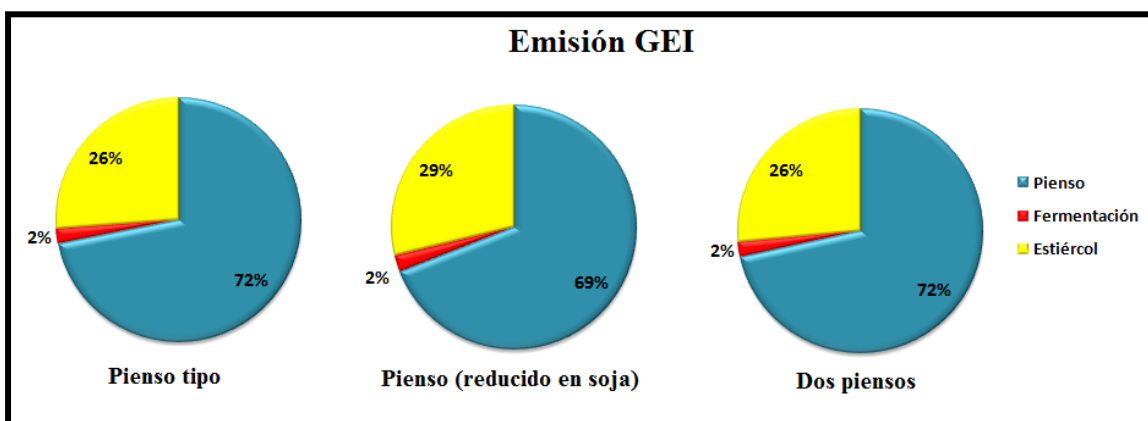
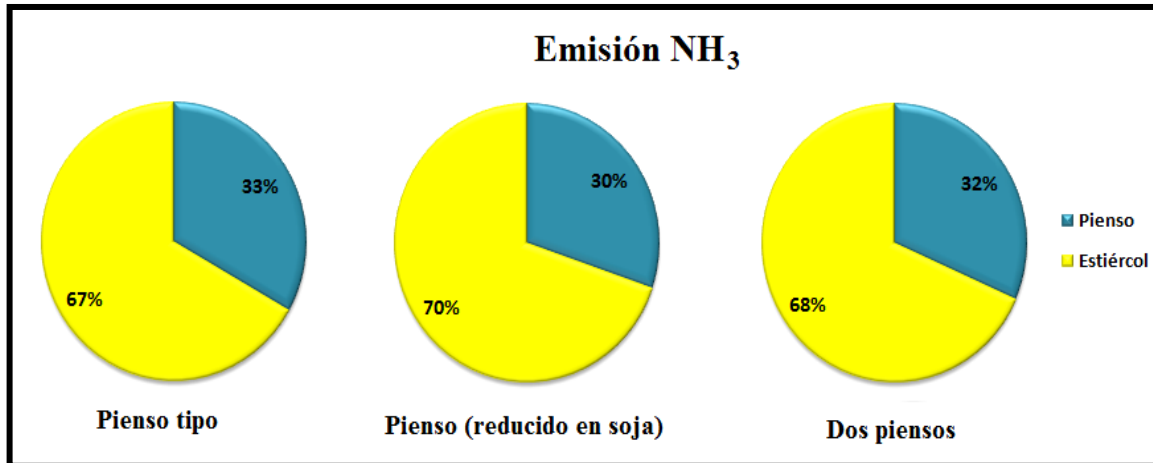


Figura 8.: Porcentaje de emisión de amoníaco en los dos puntos estudiados en el modelo: pienso y gestión del estiércol; en función del tipo de alimentación aportada a los animales.

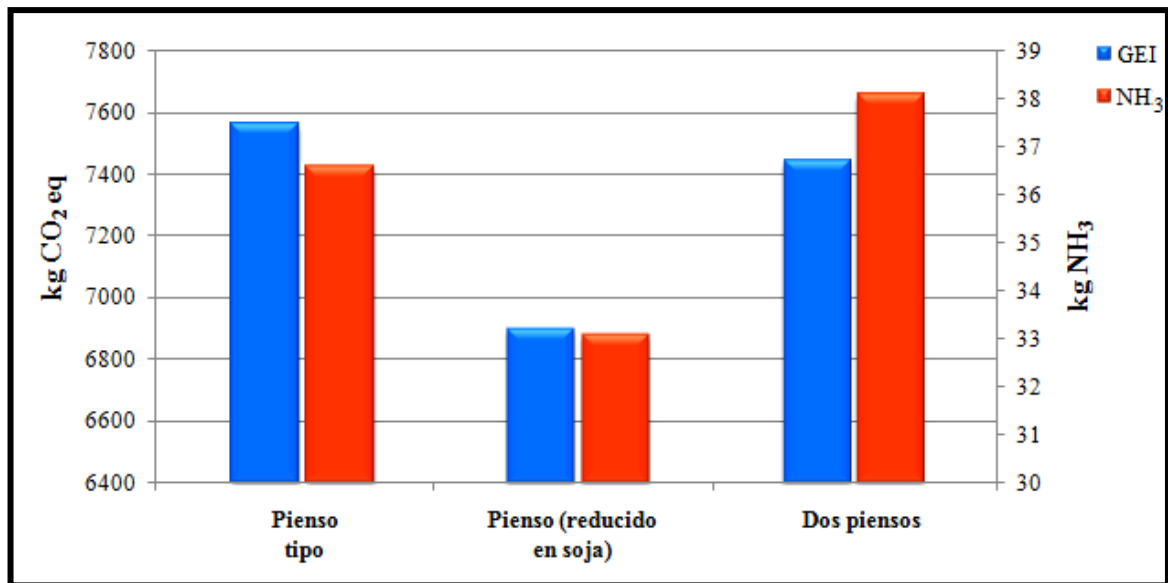


Desde el punto de vista medioambiental puede resultar interesante usar piensos con una reducción de soja, sin embargo, a cambio de reducir el contenido en harina de soja, para satisfacer las necesidades nutricionales de los animales se necesita incrementar en la formulación de los piensos el contenido de otras materias primas con un precio más elevado a la harina de soja, como son L-lisina, DI-metionita o L-Treonina, esto provoca que el precio final del pienso aumente en más de un 50% respecto al “Pienso tipo”. También hay que tener en cuenta que esta situación puede variar con el paso del tiempo en función del precio de las materias primas.

Respecto a los valores de emisión absolutos (que deben considerarse en un contexto de ACV que no incluye todas las fases de producción, como se ha comentado anteriormente) la Figura 9 muestra los resultados obtenidos para GEI y Amoníaco en función de la dieta empleada. Todos los resultados obtenidos con el modelo en este escenario son ligeramente superiores a los obtenidos en otros análisis, como en Gerber et al (2013), esto podría deberse a que los datos de “España media” con los que se han realizado los cálculos para este escenario tienen una productividad numérica mayor que las que se presentan en los datos del citado estudio.

Así, en la Figura 9 se puede observar que el empleo de piensos con un contenido en harina de soja menor puede llegar a reducir tanto las emisiones de GEI como de NH₃ generadas en la granja en casi un 10%. Por otro lado, el empleo de dos piensos en lugar de cuatro, aunque reduce ligeramente las emisiones de GEI, aumenta las emisiones de NH₃ en un 4%. Esto se debe en gran parte a que se ingiere más cantidad de nitrógeno con el pienso y por tanto se excreta una mayor cantidad de nitrógeno en el estiércol, lo que conlleva a que la gestión del estiércol tenga una carga superior en la emisión de amoníaco.

Figura 9.: Emisiones de GEI (en kg de CO₂ eq) y NH₃ (en kg) por 1000 kg de carne producida en función del tipo de alimentación aportada a los animales.



4.3. ANÁLISIS EN FUNCIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD

En esta simulación, se han utilizado los datos de las tres categorías definidas anteriormente: “España mejores”, “España media” y “España peores”, y para realizar el balance alimenticio se ha utilizado el “Pienso tipo”.

La mayoría de los datos requeridos, que se indican en el apartado 3.2. de este trabajo, se han obtenido a través del Sistema electrónico de acceso al Banco de Datos de Referencia del Porcino Español (BDPorc, 2016). Estos datos se han organizado en tres categorías, que se han clasificado como “España mejores”, (resultados del tercio superior de explotaciones españolas recogidas en la base de datos en función de la productividad numérica), “España media” (todas las explotaciones españolas) y “España peores” (tercio inferior en función de la productividad numérica), los datos obtenidos son los siguientes:

Tabla 16.: Valores para los parámetros M_{N-D} , F_{gest} , F , T_R , N_{camada} , N_{partos} , $R_{p/m}$, $R_{v/c}$, E_{dest} , E_{ins} y I_{d-c} en función de la productividad de las explotaciones españolas (mejores, peores y media).

Parámetro	España mejores	España media	España peores
M_{N-D} = Mortalidad entre el nacimiento y el destete (%)	16,8	17,4	17,7
F_{gest} = Fallos en la gestación (%)	1,37	1,87	2,62
F = Tasa de fertilidad (%)	88,99	86,41	83,67
T_R = Tasa de reposición (%)	47,80	46,57	45,43
N_{camada} = Tamaño camada (lechones nacidos vivos por parto)	14,44	12,98	12,49
N_{partos} = Número de partos por cerda y año	2,26	2,05	1,49
$R_{p/m}$ = Ratio hembras primíparas/múltiparas (%)	80	82,3	90,35
$R_{v/c}$ = Ratio verraco/cerda (%)	0,14	0,27	0,31
E_{dest} = Edad al destete (días)	24,26	23,96	23,75
E_{ins} = Edad a la primera inseminación (días)	259,84	270,73	279,79
I_{d-c} = Intervalo destete-cubrición fértil (días)	7,16	8,54	9,43

El resto de datos se han obtenido de distintas fuentes, los valores aparecen en la Tabla 17. Para las variables P_{nac} , P_{dest} , P_{cerda} , $P_{verraco}$, GDP y M_C se han obtenido los valores medios a través de MARM (2008). El valor medio de los parámetros: P_{nac} , P_{dest} , P_{cerda} , $P_{verraco}$ y GDP se ha mayorado un 10% para las mejores explotaciones y se ha minorado un 10% para las peores explotaciones, en cambio para el parámetro M_C se ha aumentado el valor medio en un 1% para las peores explotaciones y se ha reducido en un 1% para las mejores. La M_T presenta un valor medio de 4,11% (Agostini et al., 2013), este valor, al igual que con la variable M_C , se ha aumentado también en un 1% para las peores explotaciones y se ha reducido en un 1% para las mejores. El peso medio de la canal (P_{canal}) para el cerdo de cebo en España es de 85, 2 kg (MAGRAMA, 2015), este dato también se ha mayorado un 10% para las mejores explotaciones y se ha minorado un 10% para las peores, mientras que para R_{canal} se ha asignado un valor medio de 79% (MERCASA, 2012) y se ha mayorado un 2% para las mejores explotaciones y se ha minorado un 2% para las peores.

Tabla 17.: Valores para los parámetros P_{canal} , P_{nac} , P_{dest} , P_{cerda} , $P_{verraco}$, GDP , M_T y M_C en función de la productividad de las explotaciones españolas (mejores, peores y media).

Parámetro	España mejores	España media	España peores
R_{canal} = Rendimiento de la canal (%)	81	79	77
P_{canal} = Peso de la canal (kg)	93,72	85,20	76,68
P_{nac} = Peso medio al nacimiento (kg)	1,65	1,50	1,35
P_{dest} = Peso medio al destete (kg)	7,04	6,40	5,76
P_{cerda} = Peso medio de la cerda adulta (kg)	247,5	225,0	202,5
$P_{verraco}$ = Peso medio del verraco adulto (kg)	291,5	265,0	238,5
GDP = Engorde, ganancia diaria de peso (kg/día)	0,710	0,645	0,581
M_T = Mortalidad en la fase de transición (%)	3,11	4,11	5,11
M_C = Mortalidad en la fase de cebo (%)	2,8	3,8	4,8

También se ha tenido que asignar un valor al parámetro $T_{amb.}$, el cual se ha estimado que es 4°C superior al valor medio de la temperatura en España, que es de 15,06 °C (AEMET, 2016), por tanto el valor medio en el interior de las explotaciones es de 19,06 °C, este parámetro se ha considerado constante para los tres tipos de explotaciones españolas, sin variar en función de la productividad.

La Figura 10 muestra los resultados de emisiones en valor absoluto de GEI y NH_3 . Se observa que las explotaciones con mejores índices técnicos tienen una menor cantidad de emisiones tanto de GEI como de amoníaco por kg de carne, por ejemplo la categoría “España mejores” emite un 6,3% menos de GEI que “España media” y un 16,7% menos que “España peores”, lo mismo sucede con la emisión de NH_3 , la categoría “España mejores” emite un 7,1% menos que “España media” y un 18,2% menos que “España peores”. Esto se debe a que las explotaciones con mejores índices técnicos presentan una mayor eficiencia de los recursos, principalmente del pienso, puesto que las granjas con peores índices consumen un 17% más de pienso en comparación con las explotaciones con mejores índices, además al ingerir más cantidad de nitrógeno el contenido de éste en los purines será mayor y por tanto las emisiones de NH_3 debidas a la gestión del estiércol también lo son, como se observa en la Figura 12. Esto último también se observa en otros estudios, por ejemplo en el artículo *Greenhouse gas emissions from pig and chicken supply chains* (McLeod et al., 2013) las granjas con mejores

índices productivos presentan mejores tasas de conversión del pienso y menor excreta de sólidos volátiles (5,2 kg de SV/kg proteína obtenida) que las granjas con peores índices (18,6 kg de SV/kg proteína obtenida).

Figura 10.: Emisiones de GEI (en kg de CO₂ eq) y NH₃ (en kg) por 1000 kg de carne producida en función de la productividad numérica de las explotaciones (“España mejores”, “España media” y “España peores”).

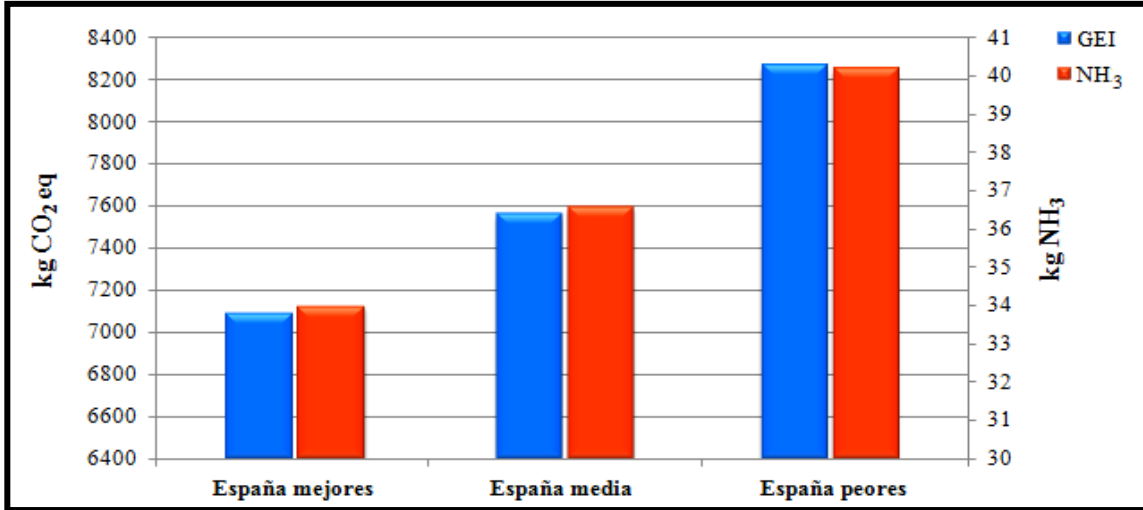


Figura 11.: Porcentaje de emisión de GEI en los tres puntos estudiados en el modelo: pienso, fermentación entérica y gestión del estiércol; en función de la productividad de las explotaciones.

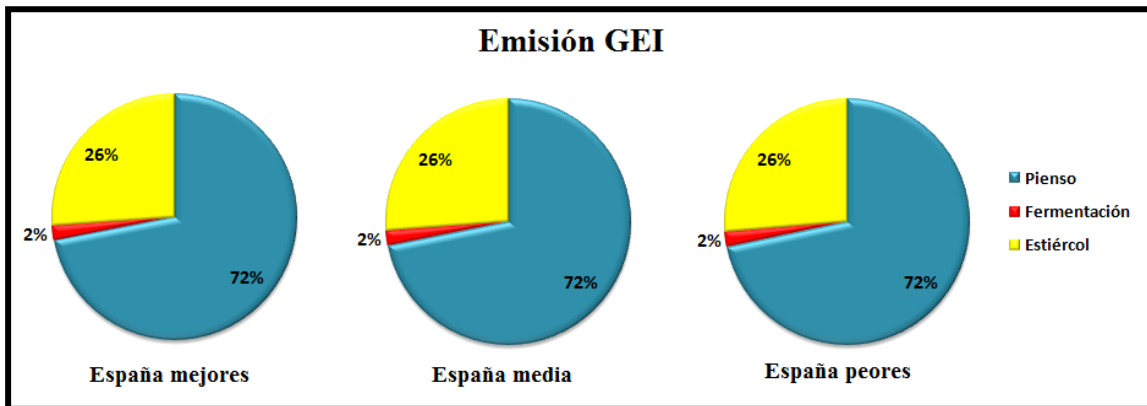
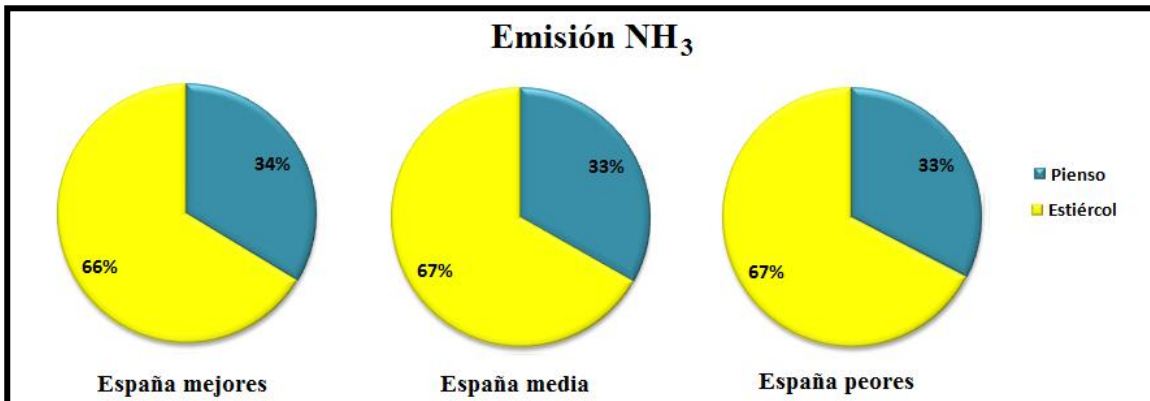


Figura 12.: Porcentaje de emisión de NH₃ en los tres puntos estudiados en el modelo: pienso, fermentación entérica y gestión del estiércol; en función de la productividad de las explotaciones.



5. CONCLUSIONES

A raíz de la evaluación de los resultados de este trabajo se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Se ha desarrollado un modelo de cálculo de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero y Amoníaco asociadas a la producción de carne de porcino en España.
- El modelo es robusto y sensible a parámetros zootécnicos y de composición del alimento de los animales.
- El hecho de modificar los piensos habituales utilizando otros que contengan materias primas con menores emisiones asociadas, como piensos con un menor contenido en harina de soja, puede derivar en una reducción considerable de las emisiones tanto de GEI como de NH₃ en el conjunto de la explotación. Si bien, con los precios actuales de mercado, este cambio supone un incremento considerable del coste del pienso que puede ser superior al 50% respecto al de los piensos habituales.
- Las explotaciones con mejores índices técnicos en España son más eficientes desde el punto de vista ambiental, ya que producen menos emisiones de GEI y de amoníaco.
- Este modelo permite su ampliación, incorporando las operaciones y procesos (con sus emisiones asociadas) que no están incluidas, así como otros impactos ambientales, que puedan completar el Análisis de Ciclo de Vida de la carne de porcino.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AEMA, 2015. Agencia Europea de Medio Ambiente. *El medio ambiente en Europa: Estado y perspectivas 2015-Informe de síntesis*. AEMA, Copenhague.
- AEMET, 2016. Agencia Estatal de Meteorología. (Página consultada en junio de 2016). AEMET, (on-line). Dirección URL: <http://www.aemet.es>
- Agostini et al., 2013. Management factors affecting mortality, feed intake and feed conversion ratio of grow-finishing pigs. *Journal of Animal Science* 8:8, 1312-1318.
- ATSDR, 2016. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (Página consultada en abril de 2016). ATSDR, (on-line). Dirección URL: <http://www.atsdr.cdc.gov/es/>
- Barona et al, 2010. The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, 5: 2.
- BDPorc, 2016. Banco de Datos de Referencia del Porcino Español. Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentaries. (Página consultada en agosto de 2016). BDPorc, (on-line). Dirección URL: <http://www.bdporc.irta.es/>
- BOE (Boletín Oficial del Estado). Directiva 2001/81/CE, de 23 de octubre de 2001, sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos. BOE 27/11/2001.
- BOE (Boletín Oficial del Estado). Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero. BOE 10/03/2005.

- BOE (Boletín Oficial del Estado). Ley 5/2013, de 11 de junio, por la que se modifican la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación y la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. BOE 12/06/2013.
- BOE (Boletín Oficial del Estado). [Real Decreto 102/2011](#), de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. BOE 29/01/2011.
- BOE (Boletín Oficial del Estado). Real Decreto 508/2007, de 20 de abril, por el que se regula el suministro de información sobre emisiones del Reglamento E-PRTR y de las autorizaciones ambientales integradas. BOE 21/04/2007.
- BSAS (2003). Nutrient Requirements Standards for Pigs. The British Society of Animal Science working party. Penicuik, Reino Unido.
- Carr, J. 2008. Management Practices To Reduce Expensive Feed Wastage. *The Pig Journal*, Supl: 1.
- CESFAC, 2016. Confederación Española de Fabricación de Alimentos Compuestos para Animales. *Evolución de los precios de las materias primas para el cálculo del precio de los piensos 2015-2016 (I)*. CESFAC, Madrid.
- CESFAC, 2016. Confederación Española de Fabricación de Alimentos Compuestos para Animales. *Evolución de los precios de las materias primas para el cálculo del precio de los piensos 2015-2016 (II)*. CESFAC, Madrid.
- CONAMA, 2014. Mitigación y adaptación en el sector agrario. Fundación Global Nature. CONAMA, Madrid.
- De Blas, C. 2016. Comunicación personal.
- Diario Oficial de la Unión Europea. [Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 13 de octubre de 2003](#), por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo. DO 25/10/2003.
- Diario Oficial de la Unión Europea. DIRECTIVA 2008/50/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. DO 11/06/2008.
- Diario Oficial de la Unión Europea. DIRECTIVA 2010/75/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 24 de noviembre de 2010 sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación). DO 17/12/2010.
- Diario Oficial de la Unión Europea. REGLAMENTO (CE) N° 166/2006 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 18 de enero de 2006, relativo al establecimiento de un registro europeo de emisiones y transferencias de contaminantes y por el que se modifican las Directivas 91/689/CEE y 96/61/CE del Consejo. DO 04/02/2006.
- ECOIL, 2006. Life Cycle Assessment as a Decision SUPPORT Tool for the Eco Production of Olive Oil. *Análisis del ciclo de vida (ACV)- LIFE04 ENV/GR/110*.
- Ecoinvent® 3.01 Database (2013) Ecoinvent® Swiss Center for Life Cycle Inventories. (Página consultada en enero de 2016). ECOINVENT, (on-line). Dirección URL: <http://www.ecoinvent.org/database/ecoinvent-33/ecoinvent-33.html>
- EEA, 2013. European Environment Agency. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013. EEA, Luxembourg.

- EPER-ESPAÑA, 2007. Registro Estatal de Emisiones y Fuentes Contaminantes. *Cuadros de cálculo de emisiones de gases del sector ganadero en relación con la directiva IPPC*. EPER-ESPAÑA, Madrid.
- European statistics, 2016. (Página consultada en mayo de 2016). EUROSTAT, (on-line). Dirección URL: <http://ec.europa.eu/eurostat>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division, 2016. (Página consultada el 2 de mayo de 2016). FAOSTAT, (on-line). Dirección URL: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QA/S>
- FEDNA. 2010. Tablas FEDNA de Composición y Valor Nutritivo de Alimentos para Fabricación de Piensos Compuestos (3ª ed). De Blas, C., Gasa, J. y Mateos, G.G. FEDNA, Madrid.
- FEDNA. 2013. Necesidades nutricionales para ganado porcino (2ª ed). De Blas, C., Gasa, J. y Mateos, G.G. FEDNA, Madrid.
- Gerber et al, 2013. *Tackling climate change through livestock- A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Groen et al, 2016. Sensitivity analysis of greenhouse gas emissions from a pork production chain. *Journal of Cleaner Production* 129, 202-211.
- IPCC, 1997. Agriculture. Edición: Kroeze, C. En: Revised 1996 IPCC Guidelines for Greenhouse Gas Inventories. Capítulo 4, Pag. 1-140.
- IPCC, 2006. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Editado por National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. y Tanabe K. (eds). Publicado por: IGES, Japón.
- IPCC, 2007. *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza.
- IPCC, 2014: Resumen para responsables de políticas. En: *Cambio climático 2014: Mitigación del cambio climático. Contribución del Grupo de trabajo III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [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 y J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.
- Krupa, S. V. (2003). Effects of atmospheric ammonia (NH₃) on terrestrial vegetation: a review. *Environmental Pollution* 124, 179-221.
- Kyriazakis, I. y Whitmore, C.T. 2006. *Whitmore's Science and Practice of Pig Production*. Blackwell Publishing, Oxford, Reino Unido.
- MacLeod et al., 2013. *Greenhouse gas emissions from pig and chicken supply chains – A global life cycle assessment*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- MAGRAMA, 2012. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. *Guía explicativa para la aplicación del RD 1135/2002, de 31 de octubre relativo a las normas mínimas de protección de los cerdos*. MAGRAMA, Madrid.
- MAGRAMA, 2015. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. *Anuario de Estadística 2014*. MAGRAMA, Madrid.

- MAGRAMA, 2016. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Avance Anuario de Estadística 2015. MAGRAMA, Madrid.
- MAGRAMA, 2016. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. *El sector de la carne de cerdo en cifras. Principales indicadores económicos en 2015*. Subdirección General de Productos Ganaderos. MAGRAMA, Madrid.
- MAPA, 2006. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. *Guía de mejores técnicas disponibles del sector porcino*. MAPA, Madrid.
- MARM, 2008. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. *Balance de nitrógeno y emisiones en la ganadería, 4. Porcino intensivo*. Borrador. MARM, Madrid.
- MERCASA, 2012. Porcino. Guía práctica. Illescas, J.L., Ferrer, S. y Bacho, O. MERCASA, Madrid.
- 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.
- NRC, 1998. *NUTRIENT REQUIREMENTS OF SWINE: 10th Revised Edition*. Subcommittee on Swine Nutrition, Committee on Animal Nutrition, National Research Council. NATIONAL ACADEMY PRESS, Washington, D.C. 210 pp.
- UNFCCC, 1998. United Nations Framework Convention on Climate Change. *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*.
- van Krimpen et al., 2013. Wageningen UR, Livestock Research Partner in livestock innovations. *Cultivation, processing and nutritional aspects for pigs and poultry of European protein sources as alternatives for imported soybean products*, Report 662.
- Whittemore, C.T., 1994. *Growth and the simulation of animal responses*. En: *Principles of Pig Science*. Ed.: Cole, D.J.A., Wiseman, J. And Varley, M.A. Nottingham University Press.

7. ANEJOS

ANEJO 1: OBTENCIÓN DE LOS PIENSOS TIPO

El cálculo de los piensos se ha llevado a cabo utilizando la programación lineal, de tal forma que se puede obtener mezclas de alimentos que cubren las necesidades nutritivas de los animales con el mínimo coste.

Par el cálculo se ha tenido en cuenta una serie de condiciones referidas tanto a los niveles nutritivos que han de aportarse a los animales en función de sus necesidades como a los niveles de uso de algunos alimentos.

Para establecer las necesidades nutritivas de los animales se han empleado valores mínimos y máximos de determinados factores y nutrientes (EM, PB, lisina, metionina, cisteína y treonina digestibles, y algunos macrominerales como el calcio, fósforo, sodio y cloro) que aparecen en las Normas FEDNA- Ganado porcino (2013), en función de la categoría animal. En este trabajo se han fijado cuatro piensos distintos en función de las categorías, a continuación en la Tabla 18 se recoge las categorías animales a las que les corresponde cada pienso.

Tabla 18.: Piensos tipos con su correspondientes categorías animales.

Denominación	Categorías
Pienso Gestación	Reproductora en 1ª gestación Reproductora en ≥ 2ª gestación Reproductora en espera de cubrición (1ª vez) Reproductora en espera de cubrición (≥ 2ª vez) Verracos
Pienso Lactación	Reproductoras en 1ª lactación Reproductora en ≥ 2ª lactación
Pienso Cebo 1	Cebo (Fase 1)
Pienso Cebo 2	Cebo (Fase 2) Cerdas de reposición Verracos de reposición

Cabe aclarar que en el caso del Pienso Gestación se ha incluido la categoría de Verracos puesto que las cerdas gestantes tienen unas necesidades nutritivas muy similares a los verracos, además en la práctica los ganaderos suelen alimentar a los verracos con el mismo pienso que emplean para las cerdas gestantes.

Una vez establecidos los piensos tipo, se fijan los valores mínimos y máximos de los factores y nutrientes comentados anteriormente, dichos valores se recogen en la Tabla 19.

Tabla 19.: Valores mínimos y máximos de EM, PB, lisina, metionina, cisteína y treonina digestibles, y calcio, fósforo, sodio y cloro, en función del tipo de pienso. (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de NORMAS FEDNA – Ganado porcino (2013).

Tipo de Pienso	Necesidades	EM (kcal/kg)	PB (g/kg)	LYS dig (g/kg)	M+C dig (g/kg)	THR dig (g/kg)	Ca (g/kg)	P dig (g/kg)	Na (g/kg)	Cl (g/kg)
----------------	-------------	--------------	-----------	----------------	----------------	----------------	-----------	--------------	-----------	-----------

Pienso Gestación	Mínimas	2875	137	5,1	3,4	3,7	8,1	2,9	1,8	1,6
	Máximas		158				10,5			2
Pienso Lactación	Mínimas	2980	164	8,4	4,7	5,5	9,5	3,2	1,9	1,7
	Máximas		175				10,5			3
Pienso Cebo 1	Mínimas	3185	164	9,6	5,8	6,2	6,9	2,9	1,9	1,6
	Máximas		180				8			2
Pienso Cebo 2	Mínimas	3180	151	8,7	5,2	5,6	6,6	2,6	1,8	1,4
	Máximas		170				8			2

El valor nutritivo de los piensos se ha estimado a partir de las tablas *de composición y valor nutritivo de alimentos para la fabricación de piensos compuestos*, FEDNA (2010). Los ingredientes que constituyen los piensos diseñados para este trabajo son el maíz, trigo, cebada, salvado de trigo, harina de girasol (con un contenido en PB del 28%), harina de soja (con un contenido en PB del 44%), sebo, L-Lisina HCL, DL-Metionina, L-Treonina, carbonato cálcico, fosfato bicálcico anhidro, cloruro sódico (riqueza 96%), bicarbonato sódico y un corrector vitamínico y de oligoelementos. En La Tabla 20 se muestran los valores nutritivos, vistos anteriormente, de cada materia prima empleada en la formulación de los piensos tipo.

Tabla 20.: EM (en kcal/kg), PB, lisina, metionina, cisteína y treonina digestibles, calcio, fósforo, sodio y cloro (en g/kg) y precio (en €/t) de las materias primas que constituyen los piensos diseñados para este trabajo (maíz, trigo, cebada, salvado de trigo, harina de girasol, harina de soja, sebo, L-Lisina HCL, DL-Metionina, L-Treonina, carbonato cálcico, fosfato bicálcico anhidro, cloruro sódico, bicarbonato sódico y un corrector vitamínico y de oligoelementos). (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de FEDNA, 2010 y CESFAC, 2016).

Materias primas	EM (kcal/kg)	PB (g/kg)	LYS dig (g/kg)	M+C dig (g/kg)	THR dig (g/kg)	Ca (g/kg)	P dig (g/kg)	Na (g/kg)	Cl (g/kg)	Precio (€/t)
Maíz	3390	75	1,7	2,7	2,2	0,3	0,5	0,1	0,5	197,0
Trigo	3250	112	2,6	3,7	2,7	0,5	1,1	0,2	0,8	194,0
Cebada	3070	113	3,2	3,5	2,9	0,6	1	0,2	1,2	181,3
Salvado de trigo	2600	149	4,4	4,1	3,5	1,2	2,1	0,3	0,7	168,3
Harina de girasol 28	2080	281	7,9	9,4	8	3,2	1,4	0,3	1	191,1
Harina de soja 44	3070	440	23,5	10,7	14,6	2,9	2,6	0,2	0,4	388,0
Sebo	7935									590,6
L-LISINA HCL	3950	945	780						193	1412,9
DL-METIONINA	5030	585		990		0,2				5236,4
L-TREONINA	3790	725			98			0,5	2	2418,9
Carbonato cálcico						386		0,7	0,2	30,0
Fosfato bicálcico						270	128,6	0,3	6	442,1
Cloruro sódico								384	576	73,1
Bicarbonato sódico								271		277,8

Corrector vit.-olig.										2410,0
----------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--------

También se ha tenido en cuenta en la formulación que ciertas materias primas presentan algunas restricciones a la hora de incorporarlas en los piensos, estas restricciones se han basado en datos de FEDNA, 2016. Aunque se ha añadido una restricción más para el maíz en Pienso Cebo 2, ya que, debido al bajo precio que presentaba en el periodo estudiado, con el cálculo se obtenían piensos con un contenido en maíz muy elevado. Sin embargo, en la realidad esto no sucede puesto que el maíz presenta problemas de granulado, además de que un exceso de maíz puede provocar problemas de grasa blanda en la canal ya que tiene un contenido apreciable en grasa poli-insaturada (de Blas, 2016). Por este motivo el maíz se ha limitado en este pienso con un valor estimado del 30%. En la Tabla 21 se presentan todas las restricciones que se han utilizado en el cálculo.

Tabla 21.: Restricciones tanto mínimas como máximas (en porcentaje) de las materias primas que constituyen los piensos diseñados para este trabajo (maíz, trigo, cebada, salvado de trigo, harina de girasol, harina de soja, sebo, L-Lisina HCL, DL-Metionina, L-Treonina, carbonato cálcico, fosfato bicálcico anhidro, cloruro sódico, bicarbonato sódico y un corrector vitamínico y de oligoelementos). (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de FEDNA, 2010).

Materias primas	Restricciones (%)							
	Pienso Gestación		Pienso Lactación		Pienso Cebo 1		Pienso Cebo 2	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Maíz								30
Trigo		40		40		35		10
Cebada						35		
Salvado de trigo		35		35		6		12
Harina de girasol 28		15		12		0		6
Harina de soja 44						20		
Sebo		4		4		2		4
L-LISINA HCL								
DL-METIONINA								
L-TREONINA								
Carbonato cálcico								
Fosfato bicálcico								
Cloruro sódico								
Bicarbonato sódico								
Corrector vit.-olig.	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3

Teniendo en cuenta todos estos componentes se formulan los cuatro piensos tipo, cuyas composiciones se muestran en las Tablas 22, 23, 24 y 25.

Tabla 22.: Pienso Cebo 1 (sólo se aporta a la categoría de “Cebo (Fase 1)”).

Materia Prima	Composición (%)	EM (MJ)	PB (%)	Humedad (%)	Precio (€/kg)
Maíz	12,319	1,75	0,92	1,70	0,0243
Trigo	35,000	4,76	3,92	3,99	0,0679
Cebada	26,297	3,38	2,97	2,58	0,0477
Harina de soja 44	20,000	2,57	8,80	2,40	0,0776
Sebo	1,736	0,58	-	0,00	0,0103
L-LISINA HCL	0,377	0,06	0,36	0,01	0,0053
DL-METIONINA	0,112	0,02	0,07	0,00	0,0059
L-TREONINA	1,328	0,21	0,96	0,01	0,0321
Carbonato cálcico	0,633	-	-	0,00	0,0002
Fosfato bicálcico	1,299	-	-	0,01	0,0057
Cloruro sódico	0,075	-	-	0,00	0,0001
Bicarbonato sódico	0,525	-	-	0,00	0,0015
Corrector vit.-olig.	0,300	-	-	0,00	0,0072
TOTAL	100	13,33	18,00	10,70	0,2857

Tabla 23.: Pienso Cebo 2 (se aporta a las categorías de “Cebo (Fase 2)”, “Cerdas de reposición” y “Verracos de reposición”).

Materia Prima	Composición (%)	EM (MJ)	PB (%)	Humedad (%)	Precio (€/kg)
Maíz	30,000	4,26	2,25	4,14	0,0591
Trigo	10,000	1,36	1,12	1,14	0,0194
Cebada	34,635	4,45	3,91	3,39	0,0628
Harina de soja 44	20,229	2,60	8,90	2,43	0,0785
Sebo	1,416	0,47		0,00	0,0084
L-LISINA HCL	0,265	0,04	0,25	0,00	0,0037
DL-METIONINA	0,065	0,01	0,04	0,00	0,0034
L-TREONINA	0,727	0,12	0,53	0,01	0,0176
Carbonato cálcico	0,669	-	-	0,00	0,0002
Fosfato bicálcico	1,141	-	-	0,01	0,0050
Cloruro sódico	0,118	-	-	0,00	0,0001
Bicarbonato sódico	0,434	-	-	0,00	0,0012
Corrector vit.-olig.	0,300	-	-	0,00	0,0072
TOTAL	100	13,31	17,00	11,12	0,2666

Tabla 24.: Pienso Gestación (se aporta a las categorías de “Reproductora en 1ª gestación”, “Reproductora en espera de cubrición (1ª vez)”, “Reproductora en $\geq 2^{\text{a}}$ gestación”, “Reproductora en espera de cubrición ($\geq 2^{\text{a}}$ vez)” y “Verracos”).

Materia Prima	Composición (%)	EM (MJ)	PB (%)	Humedad (%)	Precio (€/kg)
Cebada	83,427	10,72	9,43	8,18	0,1513
Harina de girasol 28	10,078	0,88	2,83	1,04	0,0193
Harina de soja 44	3,249	0,42	1,43	0,39	0,0126

L-LISINA HCL	0,112	0,02	0,11	0,00	0,0016
Carbonato cálcico	0,860	-	-	0,01	0,0003
Fosfato bicálcico	1,431	-	-	0,01	0,0063
Cloruro sódico	0,101	-	-	0,00	0,0001
Bicarbonato sódico	0,442	-	-	0,00	0,0012
Corrector vit.-olig.	0,300	-	-	0,00	0,0072
TOTAL	100	13,79	13,79	9,62	0,1998

Tabla 25.: Pienso Lactación (se aporta a las categorías de “Reproductora en 1ª lactación” y “Reproductora en \geq 2ª lactación”).

Materia Prima	Composición (%)	EM (MJ)	PB (%)	Humedad (%)	Precio (€/kg)
Maíz	3,473	49,30	0,26	0,48	0,0068
Cebada	73,246	9,41	8,28	7,18	0,1328
Harina de soja 44	19,093	2,45	8,40	2,29	0,0741
L-LISINA HCL	0,194	0,03	0,18	0,00	0,0027
L-TREONINA	0,522	0,08	0,38	0,00	0,0126
Carbonato cálcico	1,138	-	-	0,01	0,0003
Fosfato bicálcico	1,519	-	-	0,01	0,0067
Cloruro sódico	0,269	-	-	0,00	0,0002
Bicarbonato sódico	0,245	-	-	0,00	0,0007
Corrector vit.-olig.	0,300	-	-	0,00	0,0072
TOTAL	100	12,48	17,50	9,97	0,2443

ANEJO 2: CÁLCULO DE LA ENERGÍA BRUTA

La energía bruta (EB) es la energía liberada en forma de calor por la combustión completa de un alimento mediante oxidación en una bomba calorimétrica, su valor varía en función de las proporciones de hidratos de carbono, grasas y proteínas presentes en el alimento (NRC, 1998). Al conocerse la composición de los piensos es posible predecir con bastante precisión el contenido en energía bruta de los mismos.

Por tanto, la energía bruta de los piensos, necesaria para calcular tanto la cantidad de sólidos volátiles excretada como la emisión de metano durante la fermentación entérica, se ha obtenido a partir de la energía bruta del extracto etéreo (EE), de la proteína bruta (PB) y de la ceniza (Ce) de cada componente de los piensos, utilizando la siguiente ecuación (NRC,1998):

$$EB_{\text{ingrediente}} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{kg MS}} \right) = 17,3405265^* + 0,234388^* \cdot \text{EE} (\%) + 0,0627825^* \cdot \text{PB}(\%) - 0,184162^* \cdot \text{Ce}(\%)$$

*Estos valores calóricos, en la fuente original (NRC, 1998), vienen expresados en *kcal/kg*, y han sido convertidos en este trabajo a *MJ/kg* multiplicando por el factor 0,0041855 MJ/kcal.

Siendo:

$EB_{\text{ingrediente}}$: Energía bruta de cada materia prima que compone los piensos (en MJ/kg MS).

PB: Contenido en proteína bruta de cada materia prima que compone los piensos (en %).
Este valor se obtiene de las Tablas FEDNA 2010.

EE: Contenido del extracto etéreo de cada materia prima que compone los piensos (en %).
Este valor se obtiene de las Tablas FEDNA 2010.

Ce: Contenido en cenizas de cada materia prima que compone los piensos (en %). Este valor se obtiene de las Tablas FEDNA 2010.

La EB total de cada pienso (EB_{pienso}) se obtiene a través de la suma de las EB de las materias primas que componen ese pienso en función de su composición dentro del mismo:

$$EB_{\text{pienso}} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{kg MS}} \right) = \sum \left(EB_{\text{ingrediente}_i} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{kg MS}} \right) \cdot \frac{\text{Composición} (\%)}{100} \right)$$

Siendo:

EB_{pienso} : Energía bruta del pienso (en MJ/kg MS).

$\sum \left(EB_{\text{ingrediente}_i} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{kg MS}} \right) \cdot \frac{\text{Composición} (\%)}{100} \right)$: Suma de los productos de la EB de cada ingrediente y su composición.

Composición (%): Porcentaje del contenido de cada ingrediente en el pienso.

A continuación, en la Tabla 26 se recoge el valor de los parámetros (PB, EE y Ce) necesarios para obtener la energía bruta y el valor de esta última para cada materia prima que se

emplea en la formulación de los piensos tipo. Además en la Tabla 27 se recoge la EB de cada uno de los piensos.

Tabla 26.: PB, Ce, EE (en porcentaje) y EB (en MJ/kg MS) de las materias primas que constituyen los piensos diseñados para este trabajo (maíz, trigo, cebada, salvado de trigo, harina de girasol, harina de soja, sebo, L-Lisina HCL, DL-Metionina, L-Treonina, carbonato cálcico, fosfato bicálcico anhidro, cloruro sódico, bicarbonato sódico). (Fuente: Elaboración propia a partir de datos de FEDNA, 2010 y NRC, 1998).

Materia Prima	PB (%)	Ce (%)	EE (%)	EB (MJ/kg MS)
Maíz	7,5	1,2	3,6	18,4
Trigo	11,2	1,6	1,8	18,2
Cebada	11,3	2,2	2,0	18,1
Salvado de trigo	14,9	4,8	3,5	18,2
Harina de girasol 28	28,1	6,1	1,5	18,3
Harina de soja 44	44	6,2	1,9	19,4
Sebo	0	0,0	100,0	40,8
L-LISINA HCL	94,5	0,5	0,0	23,2
DL-METIONINA	58,5	0,5	0,0	20,9
L-TREONINA	72,5	0,5	0,0	21,8
Carbonato cálcico		98,0	0,0	
Fosfato bicálcico		88,0	0,0	1,1
Cloruro sódico		96,0	0,0	
Bicarbonato sódico		99,0	0,0	

Tabla 27.: Valores de EB (en MJ/kg MS) en función del tipo de pienso.

Tipo de Pienso	EB (MJ/kg MS)
Pienso Gestación	18,40
Pienso Lactación	18,37
Pienso Cebo 1	17,63
Pienso Cebo 2	17,79

ANEJO 3: PIENSOS REDUCIDOS EN SOJA

Para el análisis de escenarios propuesto en el apartado 5 de la Memoria de este trabajo, se ha planteado reducir el contenido en harina de soja de los piensos tipo en un 50%, puesto que la soja es un cultivo que requiere mucha fertilización además de ser una materia prima importada en su mayoría de terceros países, por lo que las emisiones debidas tanto a la fertilización como al transporte de las mismas incrementan las emisiones de los piensos tipo.

El cálculo de estos piensos, “Pienso (reducido en soja)”, se ha realizado de la misma forma con la que se han obtenido los piensos tipo y que viene explicada en el Anejo 1, pero se han añadido nuevas restricciones para la Harina de soja 44 en todos los piensos, de tal manera que el máximo permitido sea la mitad del contenido en los piensos tipo.

En las Tablas 28, 29, 30 y 31 se recogen las características (composición, EM, EB, humedad, PB y el precio) de estos piensos: “Pienso (reducido en soja)”.

Tabla 28.: Pienso Cebo 1 (sólo se aporta a la categoría de “Cebo (Fase 1)”).

Materia Prima	Composición (%)	EM (MJ)	EB (MJ/kg MS)	Humedad (%)	PB (%)	Precio (€/kg)
Maíz	57,69	8,19	10,63	7,96	4,33	0,1136
Salvado de trigo	6,00	0,65	1,09	0,72	0,89	0,0101
Harina de soja 44	10,00	1,229	1,94	1,20	4,40	0,0388
Sebo	2,00	0,66	0,82	-	-	0,0188
L-LISINA HCL	0,76	0,12	0,18	0,01	0,71	0,0107
DL-METIONINA	8,98	1,89	1,88	0,04	5,25	0,4702
L-TREONINA	3,33	0,53	0,73	0,02	2,41	0,0805
Carbonato cálcico	0,43	-	-	-	-	0,0001
Fosfato bicálcico	1,73	-	0,02	0,01	-	0,0077
Bicarbonato sódico	8,78	-	-	-	-	0,0244
Corrector vit.-olig.	0,30	-	-	-	-	0,0072
TOTAL	100	13,33	17,28	9,97	18,00	0,7751

Tabla 29.: Pienso Cebo 2 (se aporta a las categorías de “Cebo (Fase 2)”, “Cerdas de reposición” y “Verracos de reposición”).

Materia Prima	Composición (%)	EM (MJ)	EB (MJ/kg MS)	Humedad (%)	PB (%)	Precio (€/kg)
Maíz	7,17	1,02	1,32	0,99	0,54	0,0141
Trigo	10,00	1,36	1,82	1,14	1,12	0,0194
Cebada	57,87	7,44	10,48	5,67	6,54	0,1049
Harina de girasol 28	6,00	0,52	1,10	0,62	1,69	0,0115
Harina de soja 44	10,12	1,30	1,96	1,21	4,45	0,0392
Sebo	4,00	1,33	1,63	-	-	0,0236
L-LISINA HCL	0,46	0,08	0,11	0,01	0,44	0,0065
DL-METIONINA	0,10	0,02	0,02	-	0,06	0,0051
L-TREONINA	1,57	0,25	0,34	0,01	1,14	0,0379

Carbonato cálcico	0,64	-	-	-	-	0,0002
Fosfato bicálcico	1,19	-	0,01	0,01	-	0,0053
Cloruro sódico	0,02	-	-	-	-	0,0000
Bicarbonato sódico	0,57	-	-	-	-	0,0016
Corrector vit.-olig.	0,30	-	-	-	-	0,0072
TOTAL	100	13,31	18,80	9,66	15,97	0,2766

Tabla 30.: Pienso Gestación (se aporta a las categorías de “Reproductora en 1ª gestación”, “Reproductora en espera de cubrición (1ª vez)”, “Reproductora en ≥ 2ª gestación”, “Reproductora en espera de cubrición (≥ 2ª vez)” y “Verracos”).

Materia Prima	Composición (%)	EM (MJ)	EB (MJ/kg MS)	Humedad (%)	PB (%)	Precio (€/kg)
Trigo	25,44	3,46	4,62	2,90	2,85	0,0494
Cebada	54,87	7,05	9,94	5,38	6,20	0,0995
Harina de girasol 28	14,81	1,29	2,71	1,53	4,16	0,0283
Harina de soja 44	1,63	0,21	0,32	0,19	0,71	0,0063
L-LISINA HCL	0,15	0,02	0,03	-	0,14	0,0020
Carbonato cálcico	0,85	-	-	0,01	-	0,0003
Fosfato bicálcico	1,42	-	0,02	0,01	-	0,0063
Cloruro sódico	0,11	-	-	-	-	0,0001
Bicarbonato sódico	0,43	-	-	-	-	0,0012
Corrector vit.-olig.	0,30	-	-	-	-	0,0072
TOTAL	100	12,04	17,64	10,02	14,06	0,2005

Tabla 31.: Pienso Lactación (se aporta a las categorías de “Reproductora en 1ª lactación” y “Reproductora en ≥ 2ª lactación”).

Materia Prima	Composición (%)	EM (MJ)	EB (MJ/kg MS)	Humedad (%)	PB (%)	Precio (€/kg)
Trigo	40,00	5,44	7,27	4,56	4,48	0,0776
Cebada	32,34	4,16	5,86	3,17	3,65	0,0586
Harina de girasol 28	12,00	1,05	2,20	1,24	3,37	0,0229
Harina de soja 44	9,55	1,23	1,85	1,15	4,20	0,0370
Sebo	1,07	0,36	0,44	-	-	0,0063
L-LISINA HCL	0,40	0,07	0,09	0,01	0,38	0,0057
L-TREONINA	1,15	0,18	0,25	0,01	0,83	0,0279
Carbonato cálcico	1,09	-	-	0,01	-	0,0003
Fosfato bicálcico	1,57	-	0,02	0,01	-	0,0069
Cloruro sódico	0,22	-	-	-	-	0,0002
Bicarbonato sódico	0,32	-	-	-	-	0,0009
Corrector vit.-olig.	0,30	-	-	-	-	0,0072
TOTAL	100	12,48	17,98	10,14	16,92	0,2516

8. LISTA DE SÍMBOLOS

P	Emisión de N ₂ O por plaza y año
AAI	Autorización Ambiental Integrada
ACV	Análisis de Ciclo de Vida
AEMA	Agencia Europea de Medio Ambiente
AEMET	Agencia Estatal de Meteorología
BOE	Boletín Oficial del Estado
BSI	British Standards Institution
Ce	Contenido en cenizas
CESFAC	Confederación Española de Fabricación de Alimentos Compuestos para Animales
CH₄	Metano
CH₄ estiércol	Cantidad de metano emitida anualmente en la gestión del estiércol para cada categoría animal
CH₄ estiércol explotación	Cantidad de metano emitida anualmente en la gestión del estiércol en el conjunto de la explotación
CH₄ fermentación	Cantidad de metano emitida anualmente por fermentación entérica para cada categoría animal
CH₄ fermentación explotación	Cantidad de metano emitida anualmente por fermentación entérica en el conjunto de la explotación
Cl	Contenido en cloro
CO₂	Dióxido de carbono
CONAMA	Congreso Nacional del Medio Ambiente
Coste_{pienso}	Precio anual del pienso consumido en la explotación
C_{pienso}	Consumo diario de pienso
C_{pienso MS anual}	Consumo anual de MS del pienso
C_{pienso anual}	Consumo anual de pienso
Czs	Proporción de cenizas en el estiércol
D	Duración del periodo de una categoría
DE	Digestibilidad del pienso ingerido
DO	Diario Oficial de la Unión Europea
EB	Energía bruta
EB_{ingrediente}	Energía bruta de cada materia prima que compone los piensos
EB_{pienso}	Energía bruta del pienso

EB_{total anual}	Energía bruta total anual del pienso consumido por cada categoría animal
ED	Energía digestible
E_{dest}	Edad al destete
EE	Contenido del extracto etéreo
EEA	European Environment Agency
E_{ins}	Edad a la primera inseminación
EM	Energía metabolizable
EM_c	Energía metabolizable para el crecimiento
EM_{fetos y anexos}	Energía metabolizable atribuible al crecimiento del feto y anexos
EM_g	Energía metabolizable para la gestación
EM_{ganancia peso ubre}	Energía metabolizable para la ganancia en peso de la ubre
EM_{ganancia reservas}	Energía metabolizable para la ganancia de reservas
EM_m	Energía metabolizable para mantenimiento
EM_{pienso}	Energía metabolizable del pienso
EM_t	Energía metabolizable para la termorregulación
EM_{total anual}	Energía metabolizable total anual
EM_{total diaria}	Energía metabolizable total diaria
F	Tasa de fertilidad
FEDNA	Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal
F_{gest}	Fallos en la gestación
Frac_{grasa}	Fracción de grasa
Frac_{orina}	Fracción de la energía bruta perdida en la orina
Frac_{proteína}	Fracción de proteína
GDP	Ganancia diaria de peso
GEI	Gases de efecto invernadero
GEI_{estiércol}	Cantidad de GEI emitida en la gestión del estiércol
GEI_{fermentación}	Cantidad de GEI emitida por fermentación entérica
GEI_{pienso}	Cantidad de GEI asociada al pienso consumido por cada categoría animal
GEI_{pienso (explotación)}	Cantidad de GEI asociada al pienso consumido en el conjunto de la explotación
GHG	Greenhouse gas
GMD	Ganancia media diaria

HdC	Huella de carbono
I_{d-c}	Intervalo destete-cubrición fértil
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
LYS dig	Contenido en lisina digestible
M+C dig	Contenido en metionina y cistina digestibles
MAGRAMA	Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente
MAPA	Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
MARM	Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino
M_C	Mortalidad en la fase de cebo
M_{N-D}	Mortalidad entre el nacimiento y el destete
MS	Materia seca
M_T	Mortalidad en la fase de transición
N	Nitrógeno
N₂O	Óxido nitroso
N₂O_{estiércol}	Cantidad de N ₂ O emitida anualmente en el almacenamiento del estiércol por cada categoría animal
N₂O_{estiércol explotación}	Cantidad de N ₂ O emitida anualmente en el almacenamiento del estiércol en el conjunto de la explotación
Na	Contenido en sodio
N_{alojamiento}	Nitrógeno emitido en forma de amoníaco en el alojamiento
N_{camada}	Tamaño camada: número de lechones nacidos vivos por parto
N_{crecimiento}	Nitrógeno retenido durante el crecimiento
N_{disponible}	Nitrógeno total excretado disponible tras descontar el transformado en NH ₃ en el alojamiento
N_{excretado}	Nitrógeno excretado diariamente
N_{excretado total}	Nitrógeno excretado anualmente
N_{gestación}	Nitrógeno retenido en la gestación
NH₃	Amoniaco
NH₃ alojamiento	Cantidad de amoniaco emitida anualmente durante el alojamiento del estiércol
NH₃ almacenamiento	Cantidad de amoniaco emitida anualmente en el almacenamiento del estiércol
NH₃ estiércol	Cantidad de amoniaco emitida anualmente en la gestión del estiércol por cada categoría animal

NH_3 estiércol explotación	Cantidad de amoniaco emitida anualmente en la gestión del estiércol en el conjunto de la explotación
NH_3 pienso	Cantidad de amoniaco asociada al pienso consumido anualmente por cada categoría animal
NH_3 pienso explotación	Cantidad de amoniaco asociada al pienso consumido anualmente en el conjunto de la explotación
N_{ingerido}	Nitrógeno ingerido diariamente con el pienso
$N_{\text{ingerido total}}$	Nitrógeno ingerido anualmente con el pienso
$N_{\text{lactación}}$	Nitrógeno retenido en el crecimiento de los lechones lactantes
N_{lechones}	Número de lechones nacidos por cerda y año
N_{partos}	Número de partos por cerda y año
N_{retenido}	Nitrógeno retenido diariamente
$N_{\text{retenido total}}$	Nitrógeno retenido anualmente
P1	Categoría: Cebo (Fase 1)
P_1	Número de animales en la categoría P1
P2	Categoría: Cebo (Fase 2)
P_2	Número de animales en la categoría P2
P3	Categoría: Cerdas de reposición
P_3	Número de animales en la categoría P3
P4	Categoría: Reproductora en 1ª gestación
P_4	Número de animales en la categoría P4
P5	Categoría: Reproductoras en 1ª lactación
P_5	Número de animales en la categoría P5
P6	Categoría: Reproductora en espera de cubrición (1ª vez)
P_6	Número de animales en la categoría P6
P7	Categoría: Reproductora en $\geq 2^{\text{a}}$ gestación
P_7	Número de animales en la categoría P7
P8	Categoría: Reproductora en $\geq 2^{\text{a}}$ lactación
P_8	Número de animales en la categoría P8
P9	Categoría: Reproductora en espera de cubrición ($\geq 2^{\text{a}}$ vez)
P_9	Número de animales en la categoría P9
P10	Categoría: Verracos de reposición
P_{10}	Número de animales en la categoría P10
P11	Categoría: Verracos

P₁₁	Número de animales en la categoría P11
PB	Proteína bruta
PB_{pienso}	Contenido en proteína bruta del pienso
P_{canal}	Peso de la canal
P_{carne}	Producción de carne objetivo
P_{cerda}	Peso medio de la cerda adulta
P_{dest}	Peso medio al destete
P_{dig}	Contenido de fósforo digestible
P_{final}	Peso final
P_{inicial}	Peso inicial
P_{medio}	Peso medio
P_{nac}	Peso medio al nacimiento
PV	Peso medio del animal de una categoría
P_{verraco}	Peso medio del verraco adulto
R_{canal}	Rendimiento de la canal
R_{p/m}	Ratio hembras primíparas/multíparas
R_{v/c}	Ratio verraco/cerda
SV	Sólidos volátiles
SV_{explotación}	Cantidad de SV excretada anualmente en el conjunto de la explotación
T_{amb}	Temperatura ambiente en la granja
T_c	Temperatura crítica
THR dig	Contenido en treonina digestible
T_R	Tasa de reposición
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WRI	World Resources Institute
Y_m	Tasa de conversión de metano