

## **Caracterización y potenciales impactos ambientales de las deyecciones ganaderas**

Rodolfo Canet, Marta Ribó, Fernando Pomares y María del Remedio Albiach

Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Departamento de Recursos Naturales.

Apartado oficial. 46113-Moncada

(E-mail: [rcanet@ivia.es](mailto:rcanet@ivia.es))

### **Resumen**

Las grandes cantidades de deyecciones ganaderas que se generan anualmente en España hacen que su impacto ambiental sea muy considerable, aunque la extrema heterogeneidad de sus características, las cuales dependen de una gran variedad de factores aparte de la especie animal que las origina, hace que aquel sea muy difícil cuantificar de manera precisa. Por sus especiales características, son las deyecciones de las explotaciones intensivas de ave y porcino las más relevantes, lo que las ha hecho objeto de aplicación de las nuevas normativas ambientales europeas (Directiva IPPC). Si bien los impactos potenciales son numerosos, los más importantes, así como sus agentes causales, son la generación de gases de efecto invernadero (metano y óxido nitroso), la acidificación de suelos y aguas superficiales por gases disueltos en las precipitaciones (amoníaco), la eutrofización de aguas superficiales por vertidos o escorrentías (nitrógeno y fósforo) y la contaminación de aguas subterráneas (nitratos). Para controlar y en su caso minimizar estos impactos es necesaria una adecuada caracterización de las deyecciones, que tenga en consideración la gran variabilidad de estos materiales, así como su gestión en las mejores condiciones tanto en las fases de tratamiento y almacenamiento como en las de aplicación agrícola o aprovechamiento energético.

### **Palabras Clave**

Emisiones atmosféricas, contaminación de aguas, contaminación de suelos

## **INTRODUCCION**

La generación anual de deyecciones ganaderas en nuestro país está alcanzando cifras de enorme magnitud, con una producción total superior a los 90 millones de toneladas que,

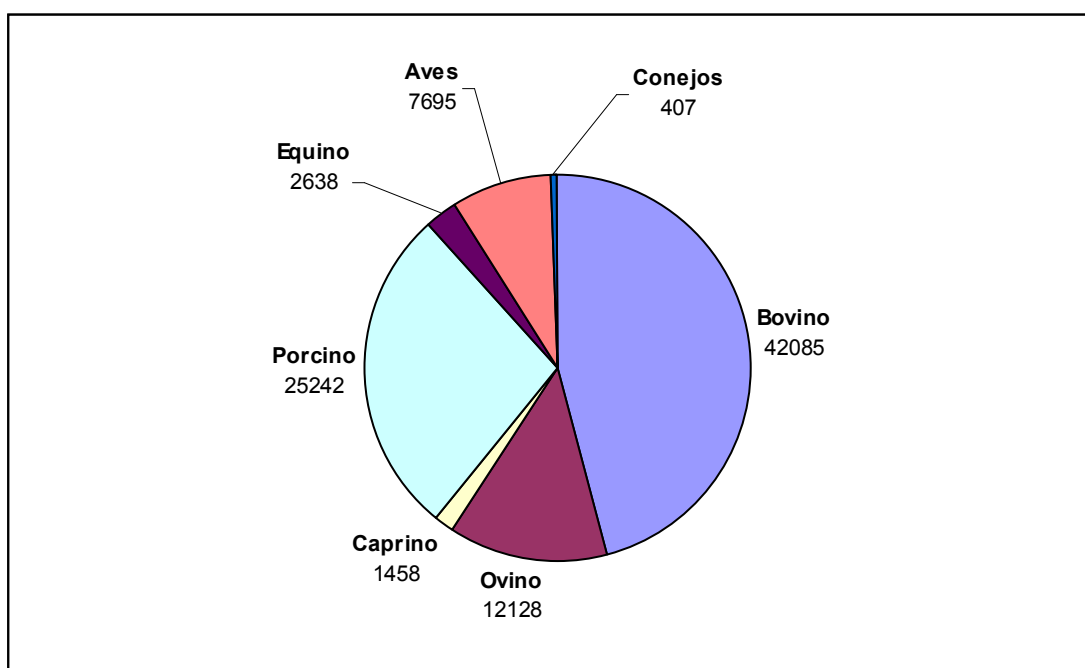
según datos del Ministerio de Agricultura (2004), se desglosan según especie animal y comunidad autónoma tal y como se muestra en las Figuras 1 y 2.

En cantidades producidas destacan las deyecciones de bovino y porcino, mientras que entre las comunidades son Cataluña y Castilla-León las que generan anualmente mayores cantidades.

Obviamente, cantidades tan elevadas de deyecciones ganaderas pueden tener un gran impacto ambiental en función de sus características y de cómo se gestionan. A pesar de que los impactos ambientales, definidos como *las consecuencias provocadas por cualquier acción que modifique las condiciones de subsistencia o de sustentabilidad de un ecosistema, parte de él o de los individuos que lo componen*, pueden ser positivos o negativos, son éstos últimos los más importantes de cara al mejor encaje de la producción ganadera en las sociedades avanzadas y por tanto serán los tratados fundamentalmente en este capítulo.

La preocupación acerca del potencial impacto ambiental de las actividades ganaderas ha hecho que en la Ley 16/2002 de prevención y control integrados de la contaminación, transposición de la Directiva Europea 96/61/CE (Directiva IPPC), incluya las explotaciones de mayor tamaño destinadas a la cría intensiva de aves de corral o de cerdos entre las instalaciones objeto de su aplicación, en particular las que superan los siguientes tamaños:

- 40.000 emplazamientos para gallinas ponedoras o el número equivalente para otras orientaciones productivas de aves.
- 2.000 plazas de cerdos de cría de más de 30 kg.
- 750 plazas de cerdas.



**Figura 1.** Generación de deyecciones ganaderas en 2004 según especie animal (miles de t)

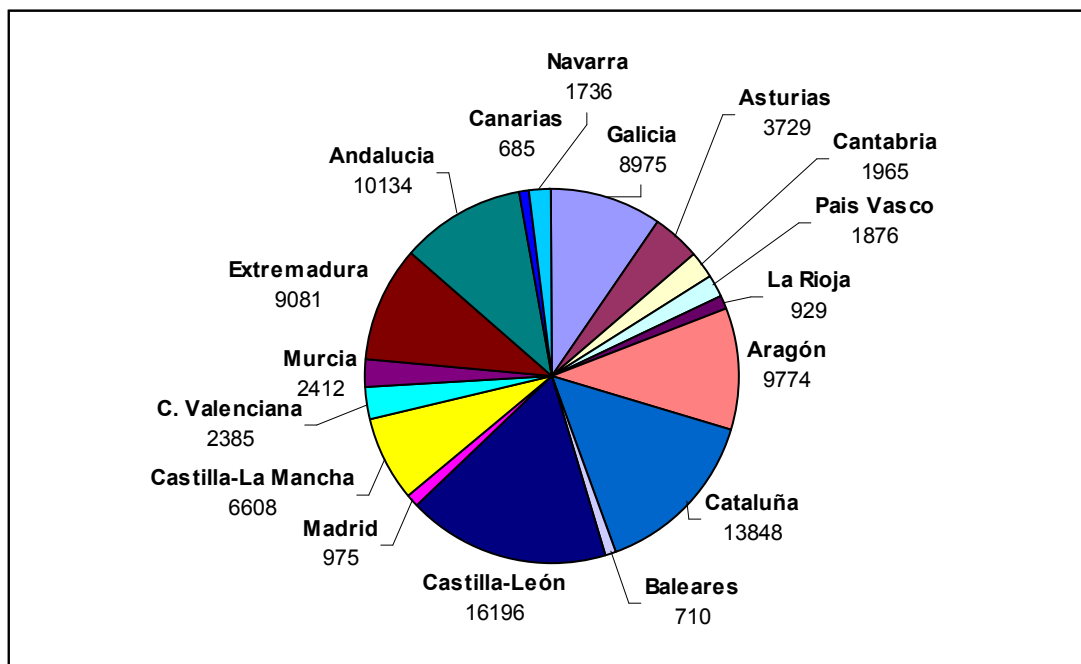


Figura 2. Generación de deyecciones ganaderas en 2004 según CC. AA. (miles de t)

Los impactos ambientales pueden ser clasificados de diferentes maneras, aunque resulta habitual hacerlo en función del medio afectado y del tipo de perturbación. Así, los medios potencialmente afectables por las deyecciones ganaderas son:

- *atmósfera*: emisión de olores, liberación de gases con efecto invernadero, destrucción de la capa de ozono, llegada de microorganismos mediante bioaerosoles, etc.
- *suelo*: contaminación por componentes orgánicos e inorgánicos de las deyecciones, degradación por salinización o por desestabilización de su estructura, contaminación microbiana, etc.
- *agua*: contaminación de aguas subterráneas y superficiales por compuestos orgánicos e inorgánicos, tanto por lixiviación, como por vertido o escorrentías, contaminación biológica, eutrofización de ecosistemas acuáticos, etc.
- *alimentos*: contaminación microbiológica de productos para consumo humano o animal por contacto directo o indirecto con gérmenes procedentes de las deyecciones.

Los principales tipos de impacto son:

- liberación de olores, intensos y muy molestos
- contaminación química, por exceso de nutrientes, metales pesados y contaminantes orgánicos
- contaminación microbiológica
- intensificación del calentamiento global, por liberación de gases con efecto invernadero
- destrucción de la capa de ozono, debido a gases como el metano o el óxido nítrico
- degradación del suelo, debido a la desestabilización de su estructura

- eutrofización de aguas superficiales, por desequilibrios en el ecosistema causados por la llegada de un exceso de nutrientes

### **Caracterización de las deyecciones ganaderas**

Las características de cada deyección ganadera, junto a su gestión y manejo, son el factor esencial de cara al análisis de su potencial impacto sobre el medio ambiente. Existe, no obstante, una enorme variabilidad en la composición de estos materiales que dificulta sobremedida la previsión de los efectos que pueden producir sobre el medio ambiente. Esta variabilidad se debe a la influencia sobre las deyecciones de factores tan diversos como la especie, raza y destino del animal, su edad, alimentación, cría, materiales utilizados como cama y cantidades de los mismos, la gestión de las aguas de lavado, tratamiento posterior de la deyección, etc. De este modo, un error grave y muy habitual es considerar cada tipo de deyección como una categoría de materiales más o menos homogéneos y confiar en las cifras publicadas en referencia a su composición, cuando en realidad materiales clasificados en una misma categoría pueden resultar sorprendentemente diferentes, tal y como se refleja en la Tabla 1, que recoge la caracterización analítica de deyecciones con muy distintas propiedades pese a provenir de la misma especie animal.

A pesar de lo delicadas que resultan las generalizaciones, tal y como se ha podido ver anteriormente, las deyecciones ganaderas son materiales con un contenido muy destacable de materia orgánica y elementos minerales, así como cantidades usualmente poco importantes de contaminantes como los metales pesados, compuestos orgánicos y restos de antibióticos, presentando también una elevadísima actividad biológica como consecuencia de un gran contenido de microorganismos, particularmente bacterias. En las deyecciones frescas buena parte del nitrógeno se encuentra en forma orgánica, mientras que en el caso del fósforo la relación entre las formas minerales y orgánicas es extraordinariamente variable. La relación entre las formas minerales y orgánicas de ambos nutrientes, así como las velocidades de liberación son de nuevo muy dependientes del tipo de deyección y su tratamiento posterior. El resto de elementos nutritivos se encuentran en diferentes formas minerales, aunque asociados en muchos casos a la materia orgánica.

### **IMPACTOS POTENCIALES SOBRE LA ATMÓSFERA**

Los potenciales impactos de las deyecciones ganaderas sobre la atmósfera son la generación de olores, la emisión de gases acidificantes y de efecto invernadero, así como la liberación de microorganismos en forma de bioaerosoles. En función del agente, estos impactos se producen preferentemente en las etapas de almacenamiento, tratamiento y aplicación agrícola o bien durante todas ellas de forma indistinta.

Las explotaciones ganaderas están obligadas a notificar a la Consejería con competencias en Medio Ambiente de su Comunidad Autónoma los índices de emisiones, para posteriormente ser remitidos al Ministerio de Medio Ambiente, que debe elaborar el Inventario Estatal de Emisiones Contaminantes (EPER, del inglés European Pollutant Emission Register), en cumplimiento de la Decisión 2000/479/CE relativa a la realización del inventario europeo de emisiones contaminantes. Los compuestos que deben notificar los ganaderos, cuyas explotaciones quedan supeditadas a la mencionada Directiva IPPC, son el metano, el óxido nítrico, el amoníaco y las partículas de tamaño

**Tabla 1.** Tabla comparativa de las características de diferentes deyecciones ganaderas

	Gallina 1	Gallina 2	Oveja 1	Oveja 2	Vaca 1	Vaca 2	Cerdo 1	Cerdo 2
Materia seca (%)	76	74	25	63	23	65	11,1	9,2
pH	6,80	6,65	7,85	8,07	8,17	8,50	--	--
CE (dS/m)	5,78	10,20	2,81	8,93	4,03	10,60	--	--
Materia orgánica (%)	64,71	81,30	64,08	69,60	66,28	41	66,3	66,3
Nitrógeno (%)	1,74	4,01	2,54	2,74	1,84	1,13	7,65	6,38
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (%)	4,18	3,12	1,19	1,05	1,73	0,66	5,89	6,74
Potasio (K <sub>2</sub> O) (%)	3,79	2,41	2,83	2,55	3,10	2,30	4,33	2,86
Relación C/N	20,15	10,20	10,57	14,10	13,90	14,60	5,03	6,03
Calcio (CaO)(%)	8,90	3,25	7,76	5,84	3,74	7,49	5,46	6,86
Magnesio (MgO)(%)	2,90	1,81	1,51	0,95	1,08	1,11	1,77	2,14
Sodio (Na)(%)	0,59	0,50	0,62	0,30	0,58	0,72	0,68	0,55
Hierro (mg/kg)	4900	1251	3400	4906	4100	7574	3752	3620
Manganeso (mg/kg)	506	319	306	222	172	193	407	428
Cinc (mg/kg)	452	270	120	82	133	113	658	759
Cobre (mg/kg)	177	250	27	72	33	36	624	193

Tabla 2. Emisiones de gases por plaza ganadera

PORCINO	AMONIACO (kg NH <sub>3</sub> -N/plaza)			ÓXIDO NITROSO (kg N <sub>2</sub> O-N/plaza)		METANO (kg CH <sub>4</sub> /plaza)	
	Volatilización establo	Volatilización almacenado ext.	Volatilización abonado	Emisión en el almacenado	Emisión en el abonado	Fermentación entérica	Emisión por gestión del estiércol
Lechones de 6 a 20 kg	0,4194	0,2969	0,1780	0,000445	0,0067	1,2	8,72
Cerdos de 20 a 50 kg	2,1180	1,4992	0,8991	0,002249	0,0337	1,2	23,15
Cerdos de 50 a 100 kg	3,0036	2,1261	1,2750	0,003189	0,0478	1,2	50,33
Cerdos de 20 a 100 kg	2,5623	1,8137	1,0877	0,002721	0,0408	1,2	40,26
Madres con lechones de 0 a 6 kg	5,2981	3,7503	2,2491	0,005625	0,0843	1,5	134,20
Madres con lechones hasta 20 kg	6,3579	4,5004	2,6989	0,006751	0,1012	1,5	134,20
Cerdas de reposición	3,0036	2,1261	1,2750	0,003189	0,0478	1,5	51,28
Cerdas en ciclo cerrado	20,3442	14,4007	8,6361	0,021601	0,3239	10,5	357,32
Verracos	6,3559	4,4991	2,6981	0,006749	0,1012	1,5	134,20
AVES	Volatilización establo	Volatilización almacenado ext.	Volatilización abonado	Emisión en el almacenado	Emisión en el abonado	Emisión por gestión del estiércol	
Pollos de carne	0,3466	0	0,0278	0,004770	0,0019	La emisión viene dada por un factor de emisión provincial que oscila entre los 0,0778 kg/plaza de Palencia y los 0,113 kg/plaza de Las Palmas	
Gallinas en batería (cintas sin presecado)	0,0342	0,3671	0,0348	0,007642	0,0032		
Gallinas en batería (cintas de presecado)	0,0318	0,1591	0,0485	0,011851	0,0050		
Gallinas en batería (con foso profundo)	0,0832	0,3671	0,0270	0,006663	0,0028		

inferior a 10 micras. Para facilitar el cálculo de estas emisiones en cada explotación, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación ha hecho públicas unas tablas que permiten estimar las emisiones de gases en cada una de las fuentes (establo, almacenamiento y abonado) en función del número de plazas. En la Tabla 2 se muestran los valores estimados de emisión por plaza para el amoniaco, el óxido nitroso y el metano, los principales gases involucrados.

### **Emisión de olores**

Si bien la importancia del olor puede considerarse marginal en comparación al resto de impactos potenciales, ya que los daños sobre la salud, de presentarse, sólo aparecerían a muy cortas distancias y grandes concentraciones de las sustancias liberadas, su importancia económica y social es muy grande y, por tanto, las explotaciones ganaderas pueden verse muy afectadas en cuando a su localización y funcionamiento. El olor en las deyecciones ganaderas se debe fundamentalmente al amoniaco, gas detectable en concentraciones de entre 15 y 25 ppm. No obstante, cuando las deyecciones sufren descomposiciones en ausencia de oxígeno comienza la liberación de compuestos como sulfuro de hidrógeno, escatoles, indoles, aminas, mercaptanos y otros gases sulfurados, detectables a concentraciones muchísimo menores. El tratamiento de las deyecciones es por tanto muy importante de cara a la calidad e intensidad de las emisiones de olores. Similarmente, el aprovechamiento agrícola de estos residuos también dará lugar a la aparición de olores más o menos intensos en función de la metodología utilizada en la aplicación. Por último, debido a que es un impacto limitado en distancia, la legislación aplicable suele ser de rango autonómico o municipal.

### **Emisión de gases acidificantes**

El amoniaco, el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno son los principales gases cuyo depósito da lugar a la acidificación de suelos y aguas superficiales. No obstante, mientras los últimos gases tienen principalmente su origen en la industria y el transporte, el amoniaco procede fundamentalmente de fuentes agrarias, muy especialmente en la ganadería aunque también se producen emisiones derivadas de los fertilizantes y de la descomposición de los restos vegetales. Su vida media en la atmósfera oscila entre tres y seis días, y no se traslada normalmente más allá de unos cientos de kilómetros desde su lugar de emisión, por lo que se considera un contaminante a escala regional. Buena parte se deposita cerca del foco de emisión en forma particulada, mientras que el resto puede reaccionar en la atmósfera formando compuestos y aerosoles amoniacaes que pueden ser trasladados a distancias superiores y finalmente depositados sobre el terreno o el agua por las precipitaciones.

Los daños producidos son muy variables en función del lugar de deposición. Cuando estos compuestos nitrogenados llegan a las aguas superficiales se contribuye a su eutrofización, mientras que cuando llegan al suelo se produce su acidificación, mayor o menor en función de la capacidad de tamponamiento de éste. Mientras que en los países del norte de Europa los suelos suelen tener muy baja capacidad de tamponamiento y por tanto son fácilmente afectados, los suelos de buena parte de las zonas mediterráneas tienen una gran capacidad de amortiguar la acidez debido a la abundancia en su composición de materiales carbonatados. En España, en particular, los excedentes sobre la carga crítica, o *estimación cuantitativa por debajo de la cual según los conocimientos actuales no se producen efectos nocivos importantes sobre los elementos sensibles especificados del medio ambiente*, son menores a cero salvo en parte de Galicia.

## Emisión de gases de efecto invernadero

Se denomina efecto invernadero a la absorción en la atmósfera terrestre de las radiaciones infrarrojas emitidas por la superficie, impidiendo que se escapen al espacio exterior y aumentando por tanto las temperaturas medias del planeta. Este efecto es esencialmente natural, pero se está viendo exacerbado desde la Revolución Industrial por la emisión antropogénica de gases que contribuyen al mismo, y por otros problemas como la deforestación, que limitan la capacidad regenerativa de la atmósfera para eliminar el dióxido de carbono, su principal responsable. Aparte de éste, el resto de gases cuyas emisiones antropogénicas se considera que influyen directamente sobre el efecto invernadero son el metano, el óxido nitroso, los hidrofluorocarburos (HFC), los perfluorocarburos (PFC) y el hexafluoruro de azufre, mientras que los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), el monóxido de carbono y los compuestos orgánicos volátiles no metánicos (COVNM) tienen una influencia indirecta como precursores de ozono troposférico y los óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ) como precursores de aerosoles. Para simplificar los datos, habitualmente se multiplica las cantidades de estos gases por su potencia en la producción de efecto invernadero en relación a la del dióxido de carbono, hablándose en este caso de cantidades equivalentes de  $\text{CO}_2$ . De todos estos gases de efecto invernadero (GEI), los únicos en cuya emisión la ganadería tiene un papel relevante son el metano y el óxido nitroso.

La participación de las deyecciones ganaderas en esta problemática puede comprobarse en las cifras de los diferentes inventarios de GEI realizados por el Ministerio de Medio Ambiente, en concreto por la Subdirección General de Calidad del Aire y Prevención de Riesgos de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, incluidas en el apartado de Agricultura. Dentro de este apartado se incluyen tres fuentes de emisión relacionadas con las deyecciones ganaderas, que trataremos por separado a continuación:

- *Fermentación entérica en ganado doméstico.* Incluye las emisiones de metano provenientes de la fermentación entérica de la cabaña ganadera, que podrían considerarse desde el punto de vista de su impacto como deyecciones gaseosas. La constitución del aparato digestivo de los animales y su dieta son los principales factores que influyen en las cantidades de metano producidas. Los rumiantes son las especies con mayores tasas de emisión, destacando fundamentalmente los ganados vacuno y ovino (8.388 y 4.119 Gg de  $\text{CO}_2$  equivalente en 2004, respectivamente). En cuanto a la dieta, cuanto mayores sean las cantidades y menor la digestibilidad de los materiales, mayores serán las emisiones de metano. Durante el periodo 1990-2004, las emisiones aumentaron un 16,35% y pasaron de 11.870 a 13.706 Gg de  $\text{CO}_2$  equivalente, debido fundamentalmente al incremento del vacuno no lechero y, en menor medida, del porcino.
- *Gestión de estiércoles.* En este caso hay que considerar emisiones tanto de metano como de óxido nitroso, y el sistema de gestión es un factor clave en cuanto al tipo de gas formado y las cantidades liberadas. Cuando las deyecciones se descomponen en un medio anaeróbico se produce metano debido a la acción de bacterias metanogénicas, por lo que la fracción de aquellas que se descompone en anaerobiosis es el factor determinante de las cantidades de gas producidas. Esta fracción es mucho más elevada en los sistemas de tratamiento líquido que cuando las deyecciones se manejan en pilas o se depositan sobre los suelos agrícolas o pastizales. Por su parte, el óxido nitroso se produce por el ataque secuencial de los organismos nitrificantes y desnitrificantes a los



compuestos amoniacales formados en la mineralización del nitrógeno orgánico contenido en las deyecciones. En este caso, los sistemas de tratamiento sólido dominan y son los principales contribuyentes a las emisiones (un 96% del total de este apartado). Las emisiones de metano derivadas de la gestión de estiércoles se han incrementado un 42,8% en el periodo 1990-2004, pasando de 6.231 a 8.896 Gg de CO<sub>2</sub> equivalente, debido fundamentalmente al aumento del 48,95% en las derivadas del ganado porcino. Las de óxido nitroso se han incrementado en el mismo periodo un 20,19% al pasar de 2.465 a 2.962 Gg de CO<sub>2</sub> equivalente a causa del incremento en la cabaña ganadera.

- *Suelos agrícolas.* Si bien éstos son la principal fuente de emisiones de origen agrícola, con 21.042 Gg de CO<sub>2</sub> equivalente emitidos en 2004 en forma de óxido nitroso, tan sólo pueden considerarse relacionadas con las deyecciones ganaderas las derivadas de la incorporación al suelo de fertilizantes orgánicos elaborados a partir de aquéllas y del pastoreo. En el primer caso se ha observado un aumento del 22,4% en el periodo 1990-2004, pasándose de 2.155 a 2.638 Gg de CO<sub>2</sub> equivalente, mientras que en el segundo el aumento ha sido del 17,4% al pasarse de 1.366 a 1.604 Gg de CO<sub>2</sub> equivalente.

Totalizando estas cifras podemos ver que las emisiones derivadas de la ganadería pasaron de los 24.087 Gg de CO<sub>2</sub> equivalente en 1990 a los 29.806 Gg de CO<sub>2</sub> equivalente de 2004, lo que corresponde a un aumento del 23,7%. La contribución global a las emisiones derivadas de las actividades agrícolas aumentaron ligeramente del 60,2% de 1990 al 63,5% de 2004, pero en cambio disminuyó con claridad el porcentaje de participación en las emisiones totales del estado, pasándose del 8,32% de 1990 al 6,97% de 2004 a pesar del aumento de la cabaña ganadera en este periodo.

### **Emisión de patógenos o sustancias de origen biológico**

Este impacto de las deyecciones ganaderas se debe a la formación de bioaerosoles en los puntos donde aquéllas se encuentran en contacto con el aire, muy especialmente en los momentos de su aplicación agrícola o en los lugares donde las deyecciones se encuentran esparcidas o almacenadas de manera que se encuentran expuestas a la acción del viento, ya que en estos casos la movilización de gérmenes o partículas dañinas y las distancias a las cuales pueden ser transportados son mucho mayores. Los daños no sólo afectan a los humanos sino que en muchos casos el aire es vía de transmisión de las enfermedades del ganado.

Los bioaerosoles se definen como las *partículas transportadas por el aire que consisten de microorganismos (bacterias, hongos, levaduras, virus, etc.) o son originadas por los mismos, como las toxinas o los fragmentos de aquellos* (Goyer et al., 2001). La formación de los bioaerosoles se produce cuando este material biológico se adhiere a microgotas de agua y partículas de polvo y entra en suspensión en el aire debido a su pequeño tamaño, típicamente inferior a 20 micras. Si bien estas partículas pueden ser inhaladas por los humanos, sólo las más pequeñas (menores a 5 micras de diámetro) son respirables y pueden penetrar profundamente en los pulmones, quedando el resto retenidas en las mucosas nasal y bucal (Cole et al., 1999). La Tabla 3 muestra los principales agentes perjudiciales propios de los bioaerosoles.

Dado que la concentración de patógenos en las deyecciones es una de las claves en la emisión posterior de los mismos en forma de bioaerosoles, cualquier factor que afecte a

su supervivencia o desarrollo vital influirá en el potencial de emisión y, por tanto, la gestión de las deyecciones es un aspecto clave. La destrucción o inactivación de los patógenos no es únicamente una cuestión de temperatura, sino que el contenido de humedad, la concentración de amonio, la duración de los tratamientos y la composición de la flora microbiana afectará a la concentración final de patógenos. En cuanto a la liberación y posterior dispersión de los bioaerosoles, las condiciones meteorológicas son importantes tanto en la magnitud de la emisión como en las distancias recorridas, así como en las tasas de supervivencia y crecimiento de los gérmenes liberados.

**Tabla 3.** Principales agentes nocivos de los bioaerosoles (adaptado de Goyer et al., 2001)

PRINCIPALES BIOAEROSOLES	ORÍGENES Y ASOCIACIONES	SÍNTOMAS Y EFECTOS REGISTRADOS Y EXPOSICIÓN DE VALORES LÍMITE
<p>BACTERIAS:</p> <p>Bacterias Gram negativas (<i>E.coli</i>, <i>Salmonella</i>); actinomicetos termofilicos</p>	<p>Abundantes tanto en la naturaleza como en los seres humanos. Al aire libre, se encuentran en el agua, suelo y plantas, estando asociadas con la presencia de animales y humanos.</p>	<p>Irritación de las mucosas, problemas gastro-intestinales y respiratorios (bacterias G(-) y endotoxinas), hipersensibilidad a la neumonía (actinomicetos termofilicos).</p> <p>En estudios llevados a cabo en plantas de tratamiento de aguas residuales y plantas de compostaje, se ha delimitado un límite máximo de 8 horas de exposición para este tipo de bacterias: 10<sup>3</sup> CFU/m<sup>3</sup> de aire.</p>
<p>HONGOS:</p> <p><b>ASPERGILLUS FUMIGATUS</b></p>	<p>En la naturaleza se encuentran por todas partes, proliferando bien en condiciones de humedad.</p> <p><i>Aspergillus fumigatus</i> es termotolerante y a veces patogénico. Se puede encontrar en abonos, compost, madera y otros materiales orgánicos.</p>	<p>Reacciones alérgicas, infecciones e irritaciones, síndromes tóxicos consecuencia de la exposición a polvo orgánico (ODTS). No se conoce la relación dosis-respuesta, ni la existencia de un umbral de exposición de seguridad. Concentraciones superiores a 10<sup>5</sup> CFU/m<sup>3</sup> de <i>Aspergillus fumigatus</i> no son consideradas un riesgo para la salud en individuos sanos, pero personas inmunodeprimidas pueden infectarse con una sola espora.</p>
<p>METABOLITOS Y TOXINAS</p> <p>Endotoxinas</p> <p>Micotoxinas</p>	<p>Ubicuidad, las endotoxinas son complejas por ser parte integral de la membrana externa de las bacterias G(-). Su presencia está asociada a menudo con el polvo orgánico.</p> <p>Las micotoxinas (esporas y micropropágulos) son liberadas por los hongos.</p>	<p>Los efectos de las endotoxinas y su papel como bioaerosoles no son muy conocidos. Los síntomas son constipado, dificultad de respirar, fiebre, obstrucción e inflamación pulmonar, problemas gastrointestinales. Desde 1999, la ACGIH ha recomendado el uso de los REL (Límites de Exposición Relativos); estos límites son 30 veces superiores a las concentraciones ambientales básicas.</p> <p>Los efectos de las micotoxinas no son muy conocidos. Los síntomas son: irritaciones de piel y mucosas, mareo, inmunosupresión, dolor de cabeza, náuseas, efectos cognitivos.</p>
<p>VIRUS</p> <p>Virus entéricos (<i>Rotavirus</i> y otros)</p>	<p>El virus necesita de una célula viva huésped para sobrevivir, propagarse y reproducirse. La propagación se produce cuando gotas de una fuente infecciosa son liberadas, pero no pueden sobrevivir mucho tiempo al aire libre.</p>	<p>Determinados virus entéricos pueden ser transportados por el aire y bajo ciertas condiciones provocar infecciones en individuos susceptibles. La liberación y el transporte de estos virus y sus efectos potenciales en la salud, en el contexto de actividades relacionadas con la aplicación de biosólidos, son teóricas y no han sido suficientemente documentadas.</p>

Uno de los puntos esenciales del problema de la generación de bioaerosoles radica, no obstante, en las técnicas de aplicación agrícola de las deyecciones puesto que los esparcidores habitualmente empleados pueden representar un riesgo de salud serio, especialmente para los operarios encargados de su uso. Esta es una de las causas del gran interés actual en el desarrollo y optimización de metodologías alternativas como la incorporación localizada, la aplicación en láminas superficiales o la fertirrigación en el caso de deyecciones líquidas. No sólo es una búsqueda de técnicas con menor impacto sino, además, una respuesta al progresivo endurecimiento de la legislación aplicable al uso agrícola de las deyecciones ganaderas y otros residuos potencialmente peligrosos.

## IMPACTOS POTENCIALES SOBRE LAS AGUAS

En el caso de las aguas es necesario distinguir entre aguas superficiales y subterráneas, puesto que son muchos los aspectos que difieren en ambos casos, aunque quizás las mayores diferencias se encuentren en las vías potenciales de impacto. Las vías de entrada de contaminantes derivados de las deyecciones animales a las aguas subterráneas son principalmente:

- *Vertidos procedentes de las granjas.* No obstante, los residuos procedentes de explotaciones ganaderas que se eliminan mediante vertido a cauces públicos deben someterse previamente a depuración para alcanzar los parámetros de vertido recogidos en el Reglamento de Dominio Público Hidráulico (RD 849/1986, modificado por el RD 606/2003).
- *Deposición atmosférica.* Ya tratada en el apartado anterior, son particularmente importantes los fenómenos de acidificación y de llegada de gérmenes asociados a los bioaerosoles.
- *Escorrentías.* La aplicación agrícola de deyecciones debe realizarse con especial cuidado en suelos donde se pueden generar escorrentías debido al régimen climático, una baja permeabilidad hídrica o a pendientes excesivas. Estas escorrentías arrastran consigo cantidades importantes de suelo y de las propias deyecciones, y pueden ser una fuente importante de contaminación química y biológica de las aguas superficiales. Se recomienda por tanto una incorporación temprana de los materiales aplicados, la práctica de técnicas de conservación del suelo y evitar la aplicación en periodos de alta precipitación.
- *Evacuaciones animales directas al cauce.* Si bien es una vía minoritaria, puede revestir gravedad en el caso de lagos o lagunas.

En el caso de las aguas subterráneas, la principal vía de contaminación es el lavado de nutrientes y otras sustancias a través del perfil de suelos donde se han efectuado aplicaciones agrícolas de las deyecciones, aunque tampoco hay que descartar contaminaciones puntuales debidas a grietas en balsas de almacenamiento.

Los impactos de mayor importancia son también diferentes en las aguas superficiales y subterráneas. En el primer caso, el riesgo más relevante es el de eutrofización por entrada en el medio de una carga nutritiva que distorsiona por completo el funcionamiento del ecosistema. Su definición por parte de la Agencia de Medio Ambiente británica indica que es *un enriquecimiento del agua en nutrientes inorgánicos que provoca la estimulación de un conjunto de cambios sintomáticos: un incremento en la producción de algas y de otras plantas acuáticas que afecta a la calidad del agua y que distorsiona el balance y las relaciones tróficas de los organismos presentes.* El fósforo y el nitrógeno, abundantes en las deyecciones ganaderas, son factores limitantes

de la vida en el medio acuático y por ello cuando llegan al agua provocan una explosión biológica asociada a una proliferación excesiva de algas y a una reducción de los niveles de oxígeno disuelto en el agua, que puede provocar mortandades de la fauna piscícola y alteraciones irreversibles del equilibrio microbiano. La descomposición de todo este material biológico formado, especialmente en condiciones deficitarias de oxígeno, puede dar lugar a olores ofensivos y afectar el sabor de las aguas de bebida. La eutrofización no sólo es un severo problema ambiental, sino que las toxinas liberadas en la descomposición de cianobacterias y la proliferación de dinoflagelados lo convierten también en un riesgo para la salud humana. En el caso de las aguas subterráneas el impacto de mayor importancia es la contaminación por nitratos, dada la elevada movilidad en el suelo de este compuesto debido a su carga negativa y a los serios riesgos involucrados para la salud si el agua se utiliza para consumo humano. La ingestión excesiva de nitratos puede causar metahemoglobinemia, enfermedad en la que se altera la hemoglobina de la sangre, de manera que no puede transportar oxígeno a las distintas partes del cuerpo. Existe una mayor sensibilidad a la enfermedad por parte de los lactantes y de los niños menores de seis años, debido a que la menor acidez de su estómago favorece la conversión de nitrato en nitrito, que es el agente alterador de la hemoglobina. En segundo lugar, se ha sugerido en numerosas ocasiones que el nitrato puede producir cáncer gástrico al producirse nitrosaminas por mediación de la flora microbiana del sistema digestivo, aunque aún no se ha podido demostrar de forma taxativa.

El hecho de que afecte tanto a las aguas superficiales como a las subterráneas, su importancia como riesgo sanitario y su especial relación con las actividades agrícolas y ganaderas han conferido a los nitratos una especial atención por parte de las administraciones. Así, la UE publicó la Directiva 91/676/CEE de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura, transpuesta a la legislación española por el Real Decreto 261/1996 de 16 de febrero de 1996. Este Real Decreto establece los criterios para determinar cuáles son las aguas afectadas, que son aquellas cuyo contenido de nitratos supere o pueda superar los 50 mg/l y los embalses, lagos, charcas, estuarios y aguas litorales que se encuentren o puedan llegar a estado de eutrofización, designándose como zonas vulnerables las superficies territoriales cuya escorrentía o infiltración afecte o pueda afectar a las aguas mencionadas anteriormente. Son las CC. AA. los órganos competentes en la designación de estas zonas vulnerables, salvo que la zona exceda de su ámbito territorial, y deben desarrollar códigos de buenas prácticas agrarias que serán de obligatorio cumplimiento en las zonas vulnerables y de carácter voluntario en las declaradas como no voluntarias. Son trece las CC. AA. que han declarado zonas vulnerables, mostrándose un mapa de ellas en la Figura 3.

Si bien el problema de la contaminación de acuíferos por nitratos no se deriva exclusivamente del uso agrícola de deyecciones ganaderas, y en algunas comunidades como la valenciana tiene su origen principalmente en la sobrefertilización mineral, es cierto que se ha agravado en los últimos años debido al aumento en la generación y posterior uso poco adecuado de las deyecciones líquidas, fundamentalmente de los purines de porcino. Estos residuos presentan cantidades muy elevadas de nitrógeno en forma mineral o rápidamente mineralizable, con lo cual su utilización agrícola debe realizarse en condiciones muy controladas para su máximo aprovechamiento y menor impacto. No obstante, cabe destacar que existe un gran potencial de tecnificación y mejora de la aplicación de deyecciones líquidas, con nuevos sistemas que permiten optimizar los aspectos clave para reducir los impactos: localización espacial y temporal

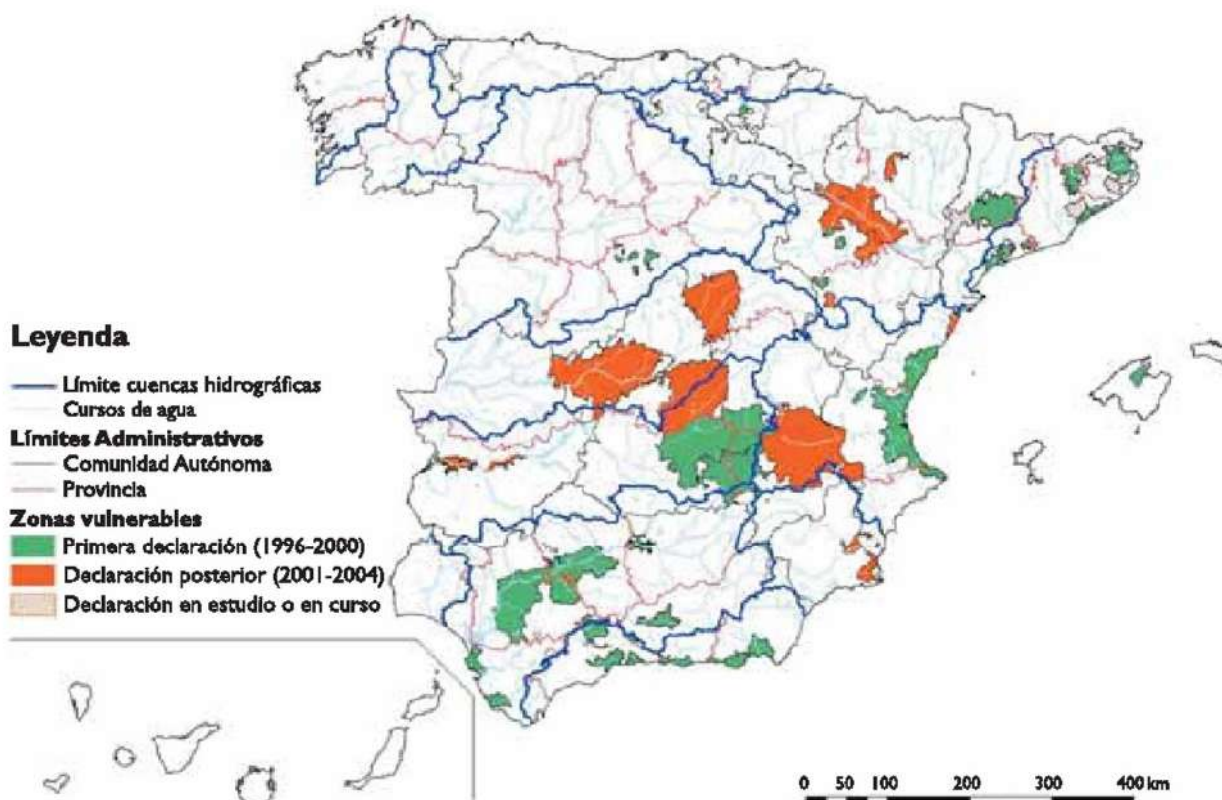
y, sobre todo, una dosificación muy precisa. Se está utilizando ya maquinaria con sistemas de análisis integrado del contenido nutritivo de las deyecciones y de posicionamiento por satélite (GPS) que permiten una aplicación muy precisa tanto en dosis como en localización.

Como conclusión a este apartado de impactos en las aguas, es necesario indicar que estos se recogen también en la mencionada Directiva IPPC, siendo los compuestos que deben notificar los ganaderos cuyas explotaciones quedan supeditadas a ellas el nitrógeno total, el fósforo total, el cobre, el zinc y el carbono orgánico total. No obstante, cuando la gestión de las deyecciones se realice mediante su valorización agrícola o entrega a gestor autorizado no deberán notificarse los datos sobre contaminantes al agua. Únicamente tienen obligación de reflejar este dato de emisiones al agua en los casos en los que las explotaciones ganaderas dispongan de depuradoras con vertido a cauce. La importancia de esta fuente queda pues muy reducida y de hecho los datos del registro EPER puestos a disposición del público en el portal del Ministerio de Medio Ambiente no indican cantidades registradas.

## **IMPACTOS POTENCIALES SOBRE EL SUELO**

Dado que el principal impacto derivado del uso y gestión de las deyecciones ganaderas sobre el suelo tiene como último destino las aguas tanto subterráneas como superficiales y por tanto ya se ha discutido en el apartado anterior, quedaría incluir en este punto impactos de mucha menor entidad relativa:

- *Contaminación por metales pesados.* Si bien como en cualquier otro producto natural en las deyecciones ganaderas pueden encontrarse cantidades muy variables de metales pesados, los casos más importantes desde el punto de vista impacto potencial lo constituyen las elevadas cantidades de cobre y zinc que se pueden encontrar en ocasiones en los purines de porcino, debido a la adición a la dieta de sulfato de cobre como regulador del crecimiento y de sulfato de cinc como fungicida. Una vez en el suelo, el destino de estos metales dependerá fundamentalmente de las características del suelo, siendo el pH el factor crítico de su movilidad al acrecentarse la solubilidad con la acidez. En el caso del cobre hay que tener en cuenta que una fracción importante puede ser movilizadada unida a la materia orgánica, debido a la alta afinidad de este metal por la misma. En los suelos españoles, salvo en la zona norte, la movilidad y potencial absorción de estos metales por parte de las plantas es bastante reducida debido a la habitual alcalinidad y pobreza en materia orgánica de nuestros suelos. Así, salvo en casos de sobredosificaciones extremas en suelos inadecuados, es muy difícil que se presenten problemas de toxicidad. Por el contrario, dado que ambos metales son esenciales para el desarrollo de las plantas, la aplicación de estiércoles puede ser muy útil para prevenir o en su caso corregir la carencia de estos micronutrientes.



*Figura 3. Zonas vulnerables a la contaminación por nitratos procedentes de la agricultura.*  
Fuente: MAPA 2004

- *Salinización.* Algunos estiércoles, muy particularmente los de aves y los purines de porcino, pueden contener elevadas cargas de sales solubles. De esta manera, zonas de apilamiento de deyecciones sobre suelo desnudo, o terrenos agrícolas sobre los que se han realizado aplicaciones incontroladas de aquellas pueden verse salinizadas de modo que se afecte seriamente a su productividad. Aparte de esto, el contenido de sodio de algunos estiércoles puede ser también muy alto al utilizarse cloruro sódico como complemento en la dieta, y la llegada al suelo de un exceso de este elemento puede afectar negativamente a la estructura del suelo. El riesgo de que se produzca este fenómeno se mide mediante la relación de adsorción de sodio de una solución acuosa del residuo orgánico (habitualmente denominado SAR, del inglés *sodium adsorption ratio*). Valores superiores a 9 suelen indicar un riesgo cierto de sodicidad, y pueden encontrarse con cierta frecuencia en los purines de porcino. Un aspecto importante a destacar al respecto del riesgo de salinización por uso agrícola de residuos ganaderos es el hecho de que en muchas ocasiones las aplicaciones se realicen en suelos de secano, lo que hace depender los resultados de la cantidad de precipitación y hace más difícil remediar los problemas que pudieran aparecer, al no poder realizarse con facilidad riegos para lavar los posibles excesos de sales.

- *Patógenos.* Cuando las deyecciones ganaderas son aplicadas al suelo su carga microbiológica llega también al mismo, y por tanto puede resultar perjudicial directamente a la fauna en contacto con el mismo o indirectamente a

través de los productos cultivados. Si bien la magnitud del impacto depende a corto plazo de la población de patógenos existente en los residuos y de las cantidades de los mismos que llegan al suelo, resultan casi más importantes los factores que influyen en la tasa de supervivencia de los patógenos en un medio adverso como el suelo, ya que los factores meteorológicos, la presión ecológica por parte de la microflora autóctona y la propia resistencia de los microorganismos serán decisivos para el mantenimiento del riesgo de infección tras la aplicación de las deyecciones. No es sencillo, de todos modos, cuantificar el efecto de todos estos factores. Por ejemplo, la rápida incorporación de los residuos al suelo minimizará la posibilidad de contacto directo con los gérmenes, pero al mismo tiempo reducirá la desinfección debida a las radiaciones solares.

## PERSPECTIVAS DE FUTURO

Como se ha discutido a lo largo del texto, la cuestión del impacto ambiental de las deyecciones ganaderas y sus consecuencias es un tema complejo y con múltiples facetas. No obstante, en líneas generales podría reducirse a dos puntos esenciales: conocer perfectamente las características de las deyecciones y optimizar su gestión. En el primer caso se ha evidenciado que no es factible una tipificación genérica de cada deyección, sino que es preciso incluir en ella otros aspectos, muy especialmente aquellos relacionados con las características de cada explotación y el manejo posterior de sus residuos. En el segundo caso, las técnicas de gestión y aprovechamiento de los residuos ganaderos están alcanzando un alto grado de sofisticación, pero sin duda es preciso un esfuerzo para la mejora de las condiciones de uso de estos materiales en el campo, con la utilización de planes de fertilización más elaborados, en los que se tengan en cuenta las condiciones edafoclimáticas del terreno y las necesidades del cultivo, y de técnicas de aplicación optimizadas para reducir el posible impacto sobre el medio ambiente o las poblaciones cercanas.

## REFERENCIAS Y LEGISLACIÓN CITADA

- Cole, D., Hill, V.R., Humenick, F.J., Sobsey, M.D. 1999. *Health, safety and environmental concerns of farm animal waste*. *Occup. Med.* 14(2): 423-448.
- Decisión de la Comisión, de 17 de julio de 2000, relativa a la realización de un inventario europeo de emisiones contaminantes (EPER) con arreglo al artículo 15 de la Directiva 96/61/CE del Consejo relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación (IPPC). (DOCE L 192/36, del 28/7/2000).
- Directiva del Consejo 91/676/CEE, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura (DOCE L 375, del 31/12/1991).
- Directiva del Consejo 96/61/CE, de 24 de septiembre de 1996, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación. (DOCE L 257/1996, del 10/10/1996)
- Goyer, N., Lavoie, L., Laruze, L., Marchand, G. 2001. *Les bioaérosols en milieu de travail: guide d'évaluation, de contrôle et de prévention. Études et recherches*, IRSST, Technical Guide T-23. Montreal, Sept. 2001. 57 pp.
- Ley 16/2000, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación. (BOE 2/07/2002).
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2004. Anuario de Estadística Agraria. Madrid.
- Ministerio de Medio Ambiente. Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, por el que se modifica el

real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas. (BOE 6/06/2003).

Ministerio de Obras Públicas y Urbanismos. Reglamento del Dominio Público Hidráulico que desarrolla los Títulos Preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas. (BOE 30/04/1986).

Ministerio de la Presidencia. Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. (BOE 11/03/1996).