

## **V. Impacto ambiental y a la salud del manejo inadecuado de los residuos agropecuarios**

Por la magnitud de su impacto, la ganadería es uno de los dos o tres sectores con repercusiones más graves en los principales problemas medioambientales a todos los niveles, desde el ámbito local hasta el mundial. La consideración de este sector es fundamental a la hora de diseñar políticas encaminadas a la solución de los problemas relacionados con la degradación de las tierras, el cambio climático, la contaminación atmosférica, la escasez y contaminación del agua y la pérdida de biodiversidad. (FAO, 2009, p. xx)

Directa o indirectamente, a través del pastoreo o de la producción de cultivos forrajeros, la producción pecuaria ocupa aproximadamente el 30% de la superficie terrestre libre de hielo. En muchas situaciones constituye la principal fuente de contaminación terrestre al verter nutrientes y materia orgánica, patógenos y residuos farmacológicos a los ríos, lagos y aguas costeras. Los animales y sus desechos emiten gases que inciden en el cambio climático. Otra fuente de emisión de gases es la destrucción de los bosques para su conversión en zonas de pastoreo y tierras de cultivo destinadas a la producción de alimentos para el ganado. La producción pecuaria moldea paisajes enteros y su demanda de tierras para pastizales y cultivos forrajeros modifica y reduce los hábitats naturales. (FAO, 2009, p. 3)

Es obvio que la responsabilidad de las acciones necesarias para afrontar los daños ambientales causados por el sector pecuario trasciende al sector en sí e incluso a la totalidad del sector agrícola (sic). Tanto el sector pecuario como la agricultura en su conjunto han de estar a la altura del desafío de desarrollar soluciones técnicas para lograr un uso más sostenible desde el punto de vista ambiental de los recursos destinados a la producción animal. No obstante, es asimismo evidente que las decisiones relativas a su uso trascienden al sector agrícola, por lo que se hace necesaria una toma de decisiones de carácter multisectorial y multiobjetivo. (FAO, 2009, p. iv)

El pastoreo extensivo aún ocupa y degrada extensas áreas de tierra; sin embargo, hay una creciente tendencia a la intensificación y a la industrialización. Se están transformando los patrones de distribución geográfica de la producción pecuaria, que están trasladándose, en primer lugar, de las áreas rurales a las zonas urbanas y periurbanas con el fin de acercarse a los consumidores y, en segundo lugar, hacia las áreas donde se produce el pienso o hacia zonas situadas en las cercanías de los medios de transporte o de los centros de comercio del mismo en el caso de que éste sea importado. Asimismo, se registra un cambio en las especies utilizadas, con un crecimiento acelerado de la producción de especies monogástricas (cerdos y aves de corral, producidos en su mayoría en unidades industriales) y una desaceleración de la producción de ruminantes (bovinos, ovinos y caprinos, criados con frecuencia en condiciones extensivas). Como consecuencia de estos cambios el sector ganadero comienza a competir de una manera más directa e intensa por tierras, agua y otros recursos naturales escasos. (FAO, 2009, pp. xx, xxi)

Las fuentes no puntuales de contaminación ampliamente dispersas están cediendo el paso a fuentes puntuales que si bien crean mayores daños en el ámbito local, resultan sin embargo más fáciles de controlar. (FAO, 2009, p. xxi)

### **Contaminación atmosférica y cambio climático**

El sector ganadero reviste una importancia fundamental ya que es responsable del 18% de las emisiones de gases de efecto invernadero medidas en equivalentes de CO<sub>2</sub>, un porcentaje mayor que el correspondiente a los medios de transporte.

Asimismo, el sector pecuario produce el 9% de las emisiones de CO<sub>2</sub> de origen antrópico, la mayor parte de las cuales se deben a los cambios en el uso de la tierra (principalmente, la deforestación) causados por la expansión de los pastizales y la superficie destinada a la producción de forrajes. La ganadería es también responsable en medida aún más significativa de la emisión de algunos gases que tiene un mayor potencial de calentamiento de la atmósfera. Así, por ejemplo, el sector emite 37% del metano antrópico, el cual proviene en su mayor parte del proceso de fermentación ocurrido en la digestión entérica de los rumiantes y tiene un potencial de calentamiento global (PCG) 23 veces mayor que el del CO<sub>2</sub>, y el 65% del óxido nitroso antrópico, cuyo PCG es 296 veces mayor que el del CO<sub>2</sub>, en su mayor parte proveniente del estiércol. La ganadería también es responsable de casi las dos terceras partes (64%) de las emisiones antrópicas de amonio, las cuales contribuyen significativamente a la lluvia ácida y a la acidificación de los ecosistemas. (FAO, 2009, p. xxii)

Prácticamente en todas las etapas del proceso de producción animal se emiten y liberan en la atmósfera sustancias que contribuyen al cambio climático o a la contaminación del aire, o se obstaculiza su retención en otros reservorios. (FAO, 2009, p. 87)

Las concentraciones atmosféricas de CH<sub>4</sub> se han incrementado en aproximadamente un 150 por ciento desde la era preindustrial (ver tabla IV.1.), si bien recientemente se ha registrado una desaceleración de las tasas de aumento. Las emisiones de este gas proceden de una variedad de fuentes tanto naturales como asociadas con la actividad humana, entre las que podemos mencionar los rellenos sanitarios, los sistemas de petróleo y gas natural, las actividades agrícolas, la minería del carbón, la combustión de fuentes móviles y fijas, el tratamiento de aguas residuales y ciertos procesos industriales.

Tabla IV.1. Concentraciones anteriores y actuales de los principales gases de efecto invernadero

Gas	Concentraciones preindustriales (1750)	Concentraciones troposféricas actuales	Potencial de calentamiento global*
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	277 ppm	382 ppm	1
Metano (CH <sub>4</sub> )	600 ppm	1,728 ppmm	23
Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	270-290 ppmm	318 ppmm	296

Nota: ppm: partes por millón; ppmm: partes por mil millones.

\* Potencial de calentamiento global directo (PCG) relativo al CO<sub>2</sub> en un horizonte temporal de 100 años. El PCG es un modo simple de comparar la potencia de diferentes gases de efecto invernadero. El PCG de un gas depende de su capacidad de absorción y reflexión de radiación y del tiempo de duración del efecto. Las moléculas de gas se disocian gradualmente o reaccionan con otros componentes atmosféricos para formar otras moléculas con diferentes propiedades radiactivas.

Fuente: (FAO, 2009, p. 91)

Las actividades pecuarias son responsables de la emisión de cantidades considerables de estos tres gases (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O). Las emisiones directas del ganado provienen de los procesos respiratorios de todas las especies animales en forma de dióxido de carbono. Además los rumiantes, y en menor medida también los monogástricos, emiten metano como parte de su proceso digestivo, que incluye la fermentación microbiana de los alimentos fibrosos. El estiércol animal también es una fuente de emisión de metano, óxido nitroso, amoníaco y dióxido de carbono, en función de su modalidad de producción (sólido, líquido) y su manejo (recolección, almacenamiento, dispersión). (FAO, 2009, p. 91)

El olor penetrante que algunas veces se percibe en las zonas aledañas a las unidades de producción es debido en parte a las emisiones de amoníaco. Existen otras muchas emisiones productoras de olores que se asocian a la producción ganadera, tales como los compuestos orgánicos volátiles y el sulfuro de hidrógeno. De hecho se pueden encontrar más de cien gases en los entornos de las centrales ganaderas (Burton y Turner, 2003; National Research Council, 2003). La volatilización del amoníaco (nitrificado en el suelo después de su deposición) figura entre las causas más importantes de las precipitaciones atmosféricas acidificantes secas y húmedas, y en gran parte tiene su origen en las excretas del ganado. [...] Una serie de trabajos de investigación ponen de relieve que en una proporción de la superficie global de ecosistemas (semi)naturales comprendida entre el 7 y 18 por ciento el depósito de nitrógeno (N) excede considerablemente la carga crítica, presentando riesgos de eutrofización e incrementando la lixiviación. (FAO, 2009, p. 92)

El metano liberado por la fermentación entérica puede ascender a 86 millones de toneladas el año. A escala mundial, el ganado es la fuente antropogénica más importante de emisiones de metano. Entre los animales domésticos, los rumiantes (bovinos, búfalos, ovejas, cabras y camellos) producen cantidades significativas de metano como parte del normal proceso digestivo. El rumen,

el más grande de los preestómagos de estos animales, la fermentación microbiana convierte los alimentos fibrosos en productos que pueden ser digeridos y utilizados por el animal. Este proceso de fermentación microbiana, conocido como fermentación entérica, produce metano como subproducto, el cual viene exhalado por el animal.

Las emisiones de metano provenientes de la fermentación entérica presentan importantes variaciones espaciales. Así, en el Brasil estas emisiones totalizaron 9.4 millones de toneladas en 1994, lo que representa un 93 por ciento de las emisiones de la agricultura y un 72 por ciento del total de las emisiones nacionales del metano. Más del 80 por ciento de estas emisiones son causadas por el ganado de carne. En los Estados Unidos de América el metano de la fermentación entérica, que ascendió a 5.5 millones de toneladas en 2002, se origina en su gran mayoría en el ganado de leche y carne. Esta cifra equivale al 71 por ciento del total de las emisiones agrícolas y al 19 por ciento de las emisiones totales del país.

Aplicando estos factores de emisión al total de la población de ganado en cada sistema de producción se obtiene una estimación para el total de las emisiones globales de metano procedentes de la fermentación entérica de 86 millones de toneladas de CH<sub>4</sub> anuales. (FAO, 2009, pp. 106-108)

El metano liberado por el estiércol de los animales puede ascender a 18 millones de toneladas al año. La descomposición anaerobia del material orgánico del estiércol del ganado también libera metano. Esto ocurre principalmente cuando el estiércol se maneja en forma líquida, en instalaciones como lagunas o tanques. El sistema de lagunas es típico de la mayoría de las centrales porcícolas a gran escala en casi todos los lugares del mundo (excepto Europa). Este sistema también se usa en las grandes centrales lecheras de América del Norte y algunos países en desarrollo como el Brasil. El estiércol despositado en los campos de cultivo o en los pastizales o que se maneja en forma seca no produce cantidades significativas de metano.

Las emisiones de metano procedentes del estiércol del ganado están influidas por diversos factores que afectan al crecimiento de las bacterias responsables de la formación de metano, entre los que cabe destacar la temperatura ambiental, la humedad y el tiempo de almacenamiento. La cantidad de metano producida también depende del contenido de energía del estiércol, el cual está determinado en gran medida por la dieta del ganado. Mayores cantidades de estiércol generan mayores cantidades de metano, si bien hay que tener también en cuenta que los piensos con contenido energéticos más altos producen un estiércol con más sólidos volátiles, lo que incrementa el sustrato a partir del cual se produce el CH<sub>4</sub>. Sin embargo, este impacto queda compensado hasta cierto punto por la posibilidad de lograr piensos más digeribles y, por consiguiente, un menor desperdicio de energía.

A escala mundial, las emisiones de metano de la descomposición anaerobia del estiércol se han estimado en algo más de 10 millones de toneladas, es decir, en 4 por ciento del total de las emisiones antropogénicas de metano. Aunque de magnitud mucho menor que las emisiones procedentes de la fermentación entérica, las emisiones del estiércol son mucho más altas que las originadas por la quema de residuos y similares las estimaciones más bajas de emisiones de los

cultivos de arroz, aun no suficientemente conocidas. Las emisiones provenientes del estiércol más altas corresponden a los Estados Unidos de América (cerca de 1.9 millones de toneladas) seguidos por la UE. Los cerdos son los animales que más contribuyen a estas emisiones, seguidos del ganado de leche. Países en desarrollo como China y la India no estarían muy distantes; en este último en particular se registra un fuerte incremento. Los factores de emisión por defecto que se usan actualmente en las comunicaciones de los países al CMNUCC no reflejan la gran intensidad de estos cambios en el sector pecuario a nivel global. Así, por ejemplo, la comunicación nacional del Brasil al CMNUCC calcula las emisiones del estiércol en 0.38 millones de toneladas en 1994, un nivel de emisiones considerable que según la comunicación se originaría principalmente del ganado de carne y de leche. No obstante, este país tiene un sector porcícola industrial muy fuerte donde aproximadamente el 95 por ciento del estiércol se almacena en tanques abiertos durante varios meses antes de su aplicación.

Aplicando estos nuevos factores de emisión a las cifras de la población animal específicas para cada sistema de producción se obtiene una emisión total global del CH<sub>4</sub> procedente de la descomposición del estiércol de 17.5 millones de toneladas anuales, cifra sustancialmente más alta que las estimaciones existentes.

En la tabla IV.2 se resumen los resultados por especie, región y sistema de producción. A nivel mundial, China es el país con la mayor emisión nacional de metano procedente del estiércol, fundamentalmente de la producción porcina. A escala global las emisiones procedentes del estiércol porcino representan casi la mitad de las emisiones de estiércol de todo el sector pecuario. Algo más de la cuarta parte de las emisiones totales de metano provenientes del manejo de estiércol se originan en los sistemas industriales. (FAO, 2009, pp. 108-110)

Tabla IV.2. Emisiones globales de metano procedentes del manejo del estiércol (2004)

Región/país	Emisiones (millones de toneladas de CH <sub>4</sub> , por año y fuente)						
	Ganado de leche	Otros ganado	Búfalos	Ovejas y cabras	Cerdos	Aves de corral	Total
África subsahariana	0.10	0.32	0.00	0.08	0.03	0.04	<b>0.57</b>
Asia*	0.31	0.08	0.09	0.03	0.50	0.13	<b>1.14</b>
India	0.20	0.34	0.19	0.04	0.17	0.01	<b>0.95</b>
China	0.08	0.11	0.05	0.05	3.43	0.14	<b>3.84</b>
América Central y América del Sur	0.10	0.36	0.00	0.02	0.74	0.19	<b>1.41</b>
Asia occidental y África del Norte	0.06	0.09	0.01	0.05	0.00	0.11	<b>0.32</b>
América del Norte	0.52	1.05	0.00	0.00	1.65	0.16	<b>3.39</b>
Europa occidental	1.16	1.29	0.00	0.02	1.52	0.09	<b>4.08</b>
Oceanía y Japón	0.08	0.11	0.00	0.03	0.10	0.03	<b>0.35</b>
Europa oriental y CEI	0.46	0.65	0.00	0.01	0.19	0.06	<b>1.38</b>
Otros países desarrollados	0.01	0.03	0.00	0.01	0.04	0.02	<b>0.11</b>
<b>Total</b>	<b>3.08</b>	<b>4.41</b>	<b>0.34</b>	<b>0.34</b>	<b>8.38</b>	<b>0.97</b>	<b>17.52</b>

Sistemas de producción pecuaria							
Pastoreo	0.15	0.50	0.00	0.12	0.00	0.00	<b>0.77</b>
Mixto	2.93	3.89	0.34	0.23	4.58	0.31	<b>12.27</b>
Industrial	0.00	0.02	0.00	0.00	3.80	0.67	<b>4.48</b>

\* No incluye China y la India  
Fuente: (FAO, 2009, p. 110)

Emisiones de nitrógeno procedentes del estiércol almacenado.

Durante el almacenamiento (incluida la excreción previa en los establos) el nitrógeno ligado orgánicamente en las heces y en la orina comienza la mineralización a  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ , suministrando el sustrato para los nitrificadores y los desnitrificadores (y por lo tanto la eventual producción de  $\text{N}_2\text{O}$ ). La mayor parte de estos compuestos nitrogenados excretados se mineralizan rápidamente. Generalmente, más del 70 por ciento del nitrógeno contenido en la orina se presenta en forma de urea. El ácido úrico es el compuesto nitrogenado dominante en las excreciones de las aves de corral. La hidrólisis de la urea y del ácido úrico a  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$  es muy rápida en la orina.

Tal y como se mencionó anteriormente, la composición de los desechos determina su tasa de mineralización potencial, mientras que la magnitud real de las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  depende de las condiciones ambientales. Se producen emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  en primer lugar, cuando los desechos se manejan aerobiamente, permitiendo la transformación del amoníaco o el nitrógeno orgánico en nitratos y en nitritos (nitrificación). Deben entonces manejarse en condiciones anaerobias, lo que hace que los nitratos y nitritos puedan reducirse a  $\text{N}_2$ , con una producción intermedia de  $\text{N}_2\text{O}$  y óxido nítrico (NO) (desnitrificación). Estas emisiones tienen mayor probabilidad de producirse en sistemas de manejo de los desechos secos, que tienen condiciones anaerobias, y contienen focos de condiciones aerobias debido a la saturación. Así, por ejemplo, los desechos de los establos se depositan en el suelo donde se oxidan a nitritos y nitratos y tienen el potencial de encontrar condiciones saturadas. Hay un antagonismo entre los riesgos de emisión de metano frente a óxido nitroso debido a las diferentes vías de almacenamiento de los desechos: un intento de reducir las emisiones de metano podría aumentar las de  $\text{N}_2\text{O}$ .

La cantidad de  $\text{N}_2\text{O}$  liberada durante el almacenamiento y el tratamiento de los desechos animales depende del sistema y la duración del manejo de los desechos y de la temperatura. Desafortunadamente no se cuenta con datos cuantitativos suficientes para establecer una relación entre el grado de aireación y las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  del estiércol líquido o semilíquido durante el almacenamiento y el tratamiento. Además, las estimaciones de las pérdidas se sitúan en un intervalo muy amplio. Así, cuando se expresa como  $\text{N}_2\text{O}$  N/kg nitrógeno excretado (es decir, la proporción de nitrógeno en los desechos emitida a la atmósfera en forma de óxido nitroso), las pérdidas procedentes de los desechos animales durante el almacenamiento se sitúan en un intervalo que va desde menos de 0.0001 kg  $\text{N}_2\text{O}$  n/kg N para estiércol semilíquido a más de 0.15 kg  $\text{N}_2\text{O}$  N/kg N para los desechos porcinos provenientes de granjas con el sistema de cama profunda. Toda estimación sobre las emisiones globales del estiércol debe tener en cuentas estas

incertidumbres. El juicio de los expertos, basado en las prácticas de manejo del estiércol presentes en diferentes sistemas y regiones del mundo, junto con los factores de emisión por defecto del IPCC, sugiere emisiones de  $N_2O$  del estiércol almacenado equivalentes a 0.7 millones de toneladas N año<sup>-1</sup>.

Retomando el tema del amoníaco, la degradación rápida de la urea y del ácido úrico en amoníaco produce pérdidas significativas de N a través de la volatilización durante el almacenamiento y el tratamiento del estiércol. Mientras que las emisiones reales están supeditadas a muchos factores, especialmente los sistemas de manejo del estiércol y la temperatura ambiental, la mayor parte del  $NH_3-N$  se volatiliza durante el almacenamiento (generalmente un tercio del N inicial vaciado), y antes de la aplicación o la descarga. Smill estimó que a mediados de la década de 1990 se perdieron en la atmósfera unos 10 millones de toneladas globales de  $NH_3-N$  procedentes de las operaciones de alimentación de animales confinados. No obstante, sólo una parte del total de estiércol recolectado se origina en los sistemas industriales.

Tomando como base la población animal en sistemas industriales y el cálculo de la respectiva producción de estiércol, la cantidad actual de N atribuible a los desechos animales puede calcularse en 10 millones de toneladas y la correspondiente volatilización de  $NH_3$  del estiércol almacenado en 2 millones de toneladas de N.

De esta manera, las pérdidas por volatilización durante el manejo de los desechos animales no están muy distantes de las pérdidas procedentes del uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos que se registran en la actualidad. Por una parte, esta pérdida de nitrógeno reduce las emisiones del estiércol una vez aplicado al campo. Por otra parte, hace que las emisiones de óxido nitroso se extiendan más abajo en la “cascada de nitrógeno”.

Emisiones de nitrógeno procedentes del estiércol depositado o aplicado. Los excrementos depositados frescos sobre la tierra (bien sea aplicados mediante esparcimiento mecánico o depositados directamente por los animales) tiene una tasa de pérdida de nitrógeno alta, que provoca la volatilización de cantidades importantes de amoníaco. Las amplias variaciones presentes en la calidad de los forrajes consumidos por los rumiantes y en las condiciones ambientales dificultan la cuantificación de las emisiones de N que se producen en los pastizales. En FAO/IFA se estima que, una vez aplicado el estiércol, la pérdida de N vía la volatilización de  $NH_3$  a escala mundial asciende a un 23 por ciento. Smil calcula que esta pérdida es de al menos un 15 o un 20 por ciento.

El IPCC propone un estándar del 20 por ciento para la fracción de pérdida de N a partir de la volatilización del amoníaco, sin hacer una distinción entre el estiércol esparcido y el depositado directamente por los animales. Considerando las pérdidas sustanciales de N por la volatilización durante el almacenamiento, se puede calcular la volatilización total del amoníaco después de la excreción de un 40 por ciento. La aplicación de esta tasa al estiércol depositado directamente resulta plausible (se han documentado valores máximos del 60 por ciento e incluso del 70 por ciento), suponiendo que la proporción más baja de nitrógeno en la orina en los sistemas de producción animal basados en la tierra de los trópicos queda compensada por la temperatura más

alta. Se calcula que, a mediados de los años noventa, los animales de los sistemas más extensivos excretaron directamente en la tierra aproximadamente 30 millones de toneladas de N, lo que produjo unas pérdidas por volatilización de  $\text{NH}_3$  de unos 12 millones de toneladas de  $\text{N}^{12}$ . A lo anterior hay que añadir las pérdidas posteriores a la aplicación del estiércol animal tratado, que según FAO/IFA, fueron de aproximadamente 8 millones de toneladas de N, lo que da como resultado una pérdida total de nitrógeno por volatilización del amoníaco procedente del estiércol animal en la tierra de aproximadamente 20 millones de toneladas de N.

Estas cifras han experimentado un incremento durante la última década. Incluso siguiendo las estimaciones extremadamente prudentes del 20 por ciento para la fracción perdida de N a partir de la volatilización del amoníaco propuestas por el IPCC y sustrayendo el estiércol usado como combustible, el cálculo obtenido para la fracción pérdida por volatilización del amoníaco después de la aplicación o depósito del estiércol fue de aproximadamente 25 millones de toneladas de N en el año 2004.

Volviendo ahora al  $\text{N}_2\text{O}$ , las emisiones del suelo que se originan de los remanentes del nitrógeno aplicado (después de la sustracción de la volatilización del amoníaco) depende de varios factores, entre lo que cabe destacar la retención del agua en los poros del suelo, la disponibilidad de carbono orgánico, el pH, la temperatura del suelo, la tasa de absorción de la planta/cultivo y el régimen de precipitaciones. Sin embargo, debido a la compleja interacción y al alto nivel de incertidumbre del flujo de  $\text{N}_2\text{O}$ , las directrices revisadas del IPCC se basan exclusivamente en los aportes de N, sin tomar en consideración las características de los suelos. A pesar de esta incertidumbre, no cabe duda de que las emisiones procedentes del estiércol del suelo son la mayor fuente de origen animal de  $\text{N}_2\text{O}$  a nivel mundial. Los flujos de emisión procedentes del pastoreo del ganado (desechos sin ningún manejo, emisiones directas) y del uso de los desechos animales como fertilizantes de cultivos son de una magnitud comparable. Las emisiones de  $\text{N}_2\text{O}$  derivadas del pastoreo varían entre 0.002 y 0.098 kg de  $\text{N}_2\text{O-N/kg}$  de nitrógeno excretado, mientras que el factor de emisiones por defecto para el uso de fertilizantes se fijó en 0.0125 kg de  $\text{N}_2\text{O-N/kg}$  aporte de nitrógeno. Casi todos los datos corresponden a zonas templadas o pastizales manejados intensivamente. En estas condiciones el contenido de nitrógeno del estiércol y, en particular, de la orina, es más alto que el de los pastizales manejados de manera menos intensiva en los trópicos o subtrópicos. No se conoce hasta qué punto esto queda compensado por el aumento de emisiones en los ecosistemas tropicales con mayores limitaciones de fósforo.

Las emisiones procedentes del estiércol aplicado deben calcularse separadamente de las emisiones de los desechos excretados por los animales. El estudio de FAO/IFA calcula una tasa de pérdida de  $\text{N}_2\text{O}$  del estiércol aplicado del 0.6 por ciento, es decir, más baja que la de la mayoría de los fertilizantes minerales nitrogenados, lo que equivale a unas pérdidas de  $\text{N}_2\text{O}$  procedentes del estiércol en el suelo que, a mediados de la década de los noventa, ascendieron a 0.2 millones de toneladas de N. Según la metodología del IPCC, la cifra se incrementaría a 0.3 millones de toneladas de N.



Con respecto a los desechos depositados directamente por los animales en los pastos, se calcula que, a mediados de los años noventa, un volumen de estiércol con aproximadamente 30 millones de toneladas de N fue depositado en los suelos de los sistemas más extensivos. Aplicado a esta cifra total el “factor razonable de emisión promedio global” del IPCC (0.02 kg de N<sub>2</sub>O-N/kg de nitrógeno excretado), se obtendrá como resultado una pérdida procedente del N<sub>2</sub>O del estiércol en el suelo de 0.6 millones de toneladas de N, con un total de emisiones de N<sub>2</sub>O cercano a 0.9 millones de toneladas de N a mediados de la década de 1990.

Aplicando la metodología del IPCC a las estimaciones actuales de los sistemas de producción ganadera y el número de animales se obtiene una pérdida global “directa” de N<sub>2</sub>O procedentes del estiércol depositado en el suelo que asciende a 1.7 millones de toneladas de N anuales. De estos, 0.6 millones de toneladas proceden de los sistemas de pastoreo, 1.0 millones de toneladas de los sistemas de producción industriales, ver tabla IV.3.

Tabla IV.3. Cálculo de emisiones totales de N<sub>2</sub>O procedentes de los excrementos animales (2004)

Región/país	Emisiones de N <sub>2</sub> O procedentes del manejo del estiércol, después de su aplicación/depósito en el suelo y emisiones directas (millones de toneladas al año)						
	Ganado de leche	Otros ganado	Búfalos	Ovejas y cabras	Cerdos	Aves de corral	Total
África subsahariana	0.06	0.21	0.00	0.13	0.01	0.02	<b>0.43</b>
Asia*	0.02	0.14	0.06	0.05	0.03	0.05	<b>0.36</b>
India	0.03	0.15	0.06	0.05	0.01	0.01	<b>0.32</b>
China	0.01	0.14	0.03	0.10	0.19	0.10	<b>0.58</b>
América Central y América del Sur	0.08	0.41	0.00	0.04	0.04	0.05	<b>0.61</b>
Asia occidental y África del Norte	0.02	0.03	0.00	0.09	0.00	0.03	<b>0.17</b>
América del Norte	0.03	0.20	0.00	0.00	0.04	0.04	<b>0.30</b>
Europa occidental	0.06	0.14	0.00	0.07	0.07	0.03	<b>0.36</b>
Oceanía y Japón	0.02	0.08	0.00	0.09	0.01	0.01	<b>0.21</b>
Europa oriental y CEI	0.08	0.10	0.00	0.03	0.04	0.02	<b>0.28</b>
Otros países desarrollados	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00	<b>0.06</b>
<b>Total</b>	<b>0.41</b>	<b>1.64</b>	<b>0.17</b>	<b>0.68</b>	<b>0.44</b>	<b>0.36</b>	<b>3.69</b>
<b>Sistemas de producción pecuaria</b>							
Pastoreo	0.11	0.54	0.00	0.25	0.00	0.00	<b>0.90</b>
Mixto	0.30	1.02	0.17	0.43	0.33	0.27	<b>2.52</b>
Industrial	0.00	0.08	0.00	0.00	0.11	0.09	<b>0.27</b>

\* No incluye China y la India

Fuente: (FAO, 2009, p. 124)

Emisiones procedentes de la pérdida de nitrógeno del estiércol después de su aplicación y deposición directa. A mediados de la década de 1990, la disponibilidad de nitrógeno proveniente del estiércol animal para el consumo de las plantas en tierras de cultivos y pastizales manejados intensivamente, una vez deducidas las liberaciones a la atmósfera durante el almacenamiento, aplicación y deposición directa, ascendió a aproximadamente 25 millones de toneladas anuales a nivel mundial. El consumo depende de la cobertura del suelo: las mezclas de leguminosas /gramíneas pueden absorber grandes cantidades de N aplicado, mientras que las pérdidas de los cultivos que se siembran en hileras son generalmente grandes y las de los suelos desnudos/arados aún mayores.

Si suponemos que las pérdidas de N en los pastizales, causadas por lixiviación y erosión, son insignificantes y aplicamos una eficiencia de uso del N del cultivo del 40 por ciento al remanente de nitrógeno en el estiércol esparcido en las tierras de cultivo se obtiene un resultado de 9 o 10 millones de toneladas de N que entraron en la cascada del nitrógeno a través del agua a mediados de los noventa. Aplicando al tasa de pérdida de  $N_2O$  a las emisiones posteriores de  $N_2O$  se obtiene un cálculo de emisiones adicionales de unos 0.2 millones de toneladas de  $N_2O-N$  por esta vía. Emisiones de  $N_2O$  de la misma magnitud pueden esperarse de la fracción depositada proveniente del  $NH_3$  volatilizados proveniente del estiércol que alcanzó los reservorios acuáticos a mediados de los noventa. De ahí que las emisiones totales de  $N_2O$  procedentes de las pérdidas de nitrógeno en este período puedan cifrarse entre 0.3 y 0.4 millones de toneladas anuales de  $N_2O-N$ .

Estas cifras han sido actualizadas de conformidad con las estimaciones actuales de los sistemas de producción pecuario, usando la metodología del IPCC para emisiones indirectas. Actualmente, la cifra global de las emisiones "indirectas" de  $N_2O$  del estiércol causadas por la volatilización y la lixiviación se aproximaría a los 1.3 millones de toneladas anuales de N. Sin embargo, esta metodología presenta un alto nivel de incertidumbre y puede conducir además a una sobreestimación ya que considera el estiércol producido en el pastoreo. La mayor parte de las emisiones de  $N_2O$ , es decir, unos 0.9 millones de toneladas de N, se originarían en los sistemas agropecuarios mixtos. (FAO, 2009, pp. 120-126)

## **Contaminación y agotamiento del agua**

La disponibilidad de agua se está convirtiendo en un grave factor limitante para la expansión de la agricultura y para la satisfacción de otras necesidades humanas. La agricultura es la actividad que demanda mayores cantidades de agua, con un consumo del 70% del agua dulce utilizada. (FAO, 2009, p. 3)

El sector pecuario es un factor clave en el incremento del uso del agua ya que es responsable del 8% del consumo mundial de este recurso, principalmente para la irrigación de los cultivos forrajeros. La ganadería es probablemente la mayor fuente de contaminación del agua y

contribuye a la eutrofización, a las zonas “muertas” en áreas costeras, a la degradación de los arrecifes de coral, a la aparición de problemas de salud en los seres humanos, a la resistencia a los antibióticos y a muchos otros problemas. Las principales fuentes de contaminación provienen de desechos de los animales, antibióticos y hormonas, productos químicos usados en las curtiembres, fertilizantes y plaguicidas usados en los cultivos forrajeros y sedimentos de pastizales erosionados. Aunque no se dispone de cifras mundiales, se estima que en los Estados Unidos de América, la cuarta superficie más grande del planeta, la producción pecuaria es responsable del 55% del uso de antibióticos y un tercio de las descargas de nitrógeno y fósforo en los recursos de agua dulce.

La ganadería también afecta la recarga de los acuíferos en tanto que influye en los procesos de compactación del suelo, reducción de la infiltración, degradación de los márgenes de los cursos de agua, desecamiento de llanuras inundadas y disminución de los niveles freáticos. La ganadería incrementa la deforestación, incrementa también las escorrentías y reduce los cursos de agua durante la estación seca.

La mayor parte del agua usada por el gando vuelve al ambiente. Una parte puede volver a utilizarse en la misma cuenca, mientras que otra se agota, bien por la contaminación, bien por la evapotranspiración. El agua contaminada por la producción pecuaria, la producción de piensos y la elaboración de productos de origen animal provoca una pérdida del valor del agua para el suministro y contribuye al agotamiento del recurso.

Los mecanismos de contaminación pueden dividirse en fuentes puntuales y fuentes no puntuales. La contaminación procedente de fuentes puntuales consiste en una descarga de contaminantes observable, específica y localizada en una masa de agua. Aplicada a los sistemas de producción ganadera, la contaminación de fuentes puntuales está relacionada con los corrales de engorda, las plantas de elaboración de alimentos y las plantas de elaboración de agroquímicos. La contaminación de fuentes no puntuales se caracteriza por una descarga difusa de contaminantes, generalmente en áreas extensas como los pastizales.

Las excretas del ganado contienen cantidades considerables de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio), residuos de medicamentos, metales pesados y patógenos. Si estos llegan al agua o se acumulan en el suelo pueden constituir una grave amenaza para el medio ambiente. En la contaminación del agua dulce con estiércol y aguas residuales pueden estar implicados diversos mecanismos. Así, la contaminación del agua puede originarse de manera directa por el escurrimiento proveniente de los establos, por pérdidas originadas en filtraciones de las instalaciones de almacenamiento, por la deposición de material fecal en las fuentes de agua dulce y por percolación profunda y transporte a través de las cargas del suelo mediante las aguas de drenaje. La contaminación también puede ser indirecta, a través de la contaminación de fuentes no puntuales de las escorrentías y flujos superficiales procedentes de zonas de pastoreo y tierras de cultivo.

*Los contaminantes principales.*

El exceso de nutrientes estimula la eutrofización y puede representar un peligro para la salud. Los animales pueden tener una ingestión de nutrientes extremadamente alta. Por ejemplo, una vaca lechera en producción puede llegar a consumir hasta 163.7 kg de N y 22.6 kg de P al año. Algunos de los nutrientes ingeridos son retenidos en el animal, pero la gran mayoría es devuelta al ambiente y puede representar una amenaza para la calidad del agua. En la tabla IV.4 se presentan los datos sobre la excreción anual de nutrientes de diferentes animales. En el caso de una vaca lechera en producción la excreción anual es de 129.6 kg de N (79 por ciento del total ingerido) y 16.7 kg de P (73 por ciento) (de Wit et al., 1997). La carga de fósforo excretada por una vaca es equivalente a la de 18-20 seres humanos. La concentración de nitrógeno es más alta en el estiércol de cerdo (76.2 g/N/kg de peso seco), seguida de pavos (59.6 g/kg), gallinas ponedoras (49.0), ovejas (44.4), pollos de asar (40.0), ganado lechero (39.6) y ganado vacuno de carne (32.5). El contenido de fósforo es más alto en las gallinas ponedoras (20.8 g/P/kg peso seco), seguido de cerdos (17.6), pavos (16.5), pollos de asar (16.9), ovejas (10.3), bovinos de carne (9.6) y ganado lechero (6.7). En áreas de producción intensiva estas cifras dan como resultado una excesiva concentración de nutrientes que puede superar la capacidad de absorción de los ecosistemas locales y degradar la calidad de las aguas superficiales y subterráneas.

Tabla IV.4. Ingesta y excreciones de nutrientes por especie animal

Animal	Ingesta (kg/año)		Retención (kg/año)		Excreción (kg/año)		Porcentaje de N excretado en forma mineral <sup>1</sup>
	N	P	N	P	N	P	
Vaca de leche <sup>2</sup>	163.7	22.6	34.1	5.9	129.6	16.7	69
Vaca de leche <sup>3</sup>	39.1	6.7	3.2	0.6	35.8	6.1	50
Cerda <sup>2</sup>	46.0	11.0	14.0	3.0	32.0	8.0	73
Cerda <sup>3</sup>	18.3	5.4	3.2	0.7	15.1	4.7	64
Cerdos en crecimiento <sup>2</sup>	20.0	3.9	6.0	1.3	14.0	2.5	78
Cerdos en crecimiento <sup>3</sup>	9.8	2.9	2.7	0.6	7.1	2.3	59
Gallina ponedora <sup>2</sup>	1.2	0.3	0.4	0.0	0.9	0.2	82
Gallina ponedora <sup>3</sup>	0.6	0.2	0.1	0.0	0.5	0.1	70
Pollo de asar <sup>2</sup>	1.1	0.2	0.5	0.1	0.6	0.1	83
Pollo de asar <sup>3</sup>	0.4	0.1	0.1	0.0	0.3	0.1	60

<sup>1</sup> Equivalente asumido como excreción de nitrógeno en la orina. Puesto que el N mineral puede volatilizarse, con frecuencia el porcentaje es más bajo en el estiércol aplicado en la tierra.

<sup>2</sup> Situaciones de alta productividad.

<sup>3</sup> Situaciones menos productivas.

Nota: debido a las variaciones en la ingesta y el contenido de nutrientes de los piensos, estos valores representan ejemplos, no promedios, en situaciones de alta y baja productividad.

Fuente: (FAO 2009, 154)

El cálculo a nivel global de la excreta del ganado en el año 2004 contenía 135 millones de toneladas de N y 58 millones de toneladas de P. En el año 2004 el ganado bovino fue el principal responsable de la excreción de nutrientes, con un 58 por ciento de N; el porcentaje correspondiente a los cerdos fue del 12 por ciento y el de las aves de corral del 7 por ciento.

Los sistemas de producción mixtos contribuyen con la mayor carga de nutrientes, con un porcentaje del 70.5 por ciento de la excreción de N y P, seguidos de los sistemas de pastoreo, con un 22.5 por ciento de la excreción anual de N y P. Desde el punto de vista geográfico, la región con mayores contribuciones es Asia, que representa el 35.5 por ciento de la excreción anual de N y P a nivel global.

Las altas concentraciones de nutrientes en los recursos hídricos pueden dar lugar a una hiperestimulación del crecimiento de las plantas acuáticas y las algas, lo que produce eutrofización, mal sabor y olor del agua, y excesivo crecimiento bacteriano en los sistemas de distribución. Pueden también proteger los microorganismos de los efectos de la temperatura y la salinidad y pueden constituir un riesgo para la salud pública. La eutrofización es un proceso natural en los lagos que envejecen y en los estuarios, pero la ganadería y otras actividades relacionadas con la agricultura pueden acelerar en gran medida la eutrofización incrementando la tasa de entrada de nutrientes y sustancias orgánicas a los ecosistemas acuáticos que son arrastrados por las cuencas circundantes. Globalmente, la deposición de nutrientes (especialmente N) excede la carga crítica de eutrofización de un 7-18 por ciento del área de ecosistemas naturales y seminaturales.

Si el crecimiento de las plantas estimulado por la eutrofización es moderado, el resultado puede ser una base alimenticia para las comunidades acuáticas. Sin embargo, si es excesivo, la proliferación de algas y de la actividad microbiana puede causar un aumento en el consumo del oxígeno disuelto y alterar el normal funcionamiento de los ecosistemas. Otros efectos adversos de la eutrofización son:

- Transformaciones de las características del hábitat debido a un cambio en la composición de las comunidades de plantas acuáticas;
- Reemplazo de las especies de peces deseables por otras menos deseables, con las consiguientes pérdidas económicas;
- Producción de toxinas por ciertas algas;
- Aumento de los gastos de operación del suministro público de agua;
- Invasión y taponamiento de los canales de irrigación con malezas acuáticas;
- Pérdida de oportunidades de uso recreativo;
- Impedimentos a la navegación debido al crecimiento denso de malezas.

Estos impactos se presentan tanto en ecosistemas de agua dulce como marítimos, donde la proliferación de algas es causa de problemas de amplia difusión al liberar toxinas y causar anoxia ("zonas muertas"), con impactos negativos sobre la acuicultura y la pesca.

El fósforo se considera a menudo el principal nutriente limitante en la mayor parte de los ecosistemas acuáticos. En los ecosistemas en condiciones normales de funcionamiento, la capacidad de retención de P de los humedales y arroyos es crucial para la calidad del agua aguas abajo. Sin embargo, cada vez un mayor número de estudios ha identificado el N como el principal nutriente limitante. En términos generales, el P suele ser más un problema relacionado con la calidad de las aguas superficiales, mientras que el N tiende a ser una amenaza para la calidad de las aguas subterráneas por la lixiviación de nitrato a través de las capas del suelo.

*Nitrógeno.* El nitrógeno está presente en el ambiente en diferentes formas, algunas inocuas, otras extremadamente nocivas. Dependiendo de su forma, el N puede ser almacenado e inmovilizado dentro del suelo, o puede lixiviar a las aguas subterráneas o volatilizarse. En comparación con el N orgánico, el N inorgánico tiene una gran movilidad a través de las capas del suelo.

El nitrógeno viene excretado por el ganado tanto en forma de compuestos orgánicos como inorgánicos. La fracción inorgánica es equivalente al N emitido en la orina y generalmente es mayor que la orgánica. Las pérdidas directas de N procedentes de las deyecciones y el estiércol tienen cuatro formas principales: amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), dinitrógeno ( $\text{N}_2$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Una parte del N orgánico se volatiliza y se libera en forma de amoníaco desde los establos, durante la deposición y almacenamiento del estiércol, después de la aplicación del estiércol o en los pastos.

Las condiciones de almacenamiento y aplicación del estiércol influyen en gran medida en la transformación biológica de los compuestos nitrogenados y los compuestos resultantes constituyen amenazas diferentes para el medio ambiente. En condiciones anaerobias los nitratos se transforman en  $\text{N}_2$  inocuo (desnitrificación). Sin embargo, cuando el carbono orgánico es deficiente con relación al nitrato, la producción del subproducto  $\text{N}_2\text{O}$  nocivo se incrementa. Esta nitrificación por debajo del óptimo se presenta cuando el amoníaco viene lavado directamente del suelo hacia los recursos hídricos.

La lixiviación es otro mecanismo a través del cual se producen pérdidas de N en el agua. En su forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ -N inorgánico), el nitrógeno tiene una gran movilidad en la solución del suelo y su lixiviación se produce fácilmente por debajo de la zona radicular al agua subterránea o puede entrar en el flujo subsuperficial. El nitrógeno también puede llegar al agua por medio de la escorrentía (especialmente las formas orgánicas). Los altos niveles de nitrato observados en los cursos de agua próximos a las áreas de pastoreo son fundamentalmente el resultado de descargas procedentes de las aguas subterráneas y de los flujos subsuperficiales. Cuando se usa el estiércol como fertilizante orgánico, una parte significativa de las pérdidas de nitrógeno después de su aplicación está relacionada con la mineralización de la materia orgánica del suelo en un momento en el que no hay cultivo de cobertura.

Un nivel elevado de nitratos en los recursos hídricos puede ser un peligro para la salud. Niveles excesivos en el agua potable pueden causar metahemoglobinemia (“síndrome del bebé azul”) y la intoxicación de los bebés. Entre los adultos, la toxicidad del nitrato puede causar abortos y cáncer de estómago. El valor de referencia de la OMS para la concentración de nitrato en el agua potable

es de 45 mg/litro (10 mg/litro para N-NO<sub>3</sub>). El nitrito (NO<sub>2</sub>-) es tan susceptible a la lixiviación como el nitrato y es mucho más tóxico.

El grave riesgo de contaminación de las aguas que comportan los sistemas industriales de producción pecuaria ha sido ampliamente estudiado. A título de ejemplo, puede citarse el caso de los Estados Unidos de América, donde Ritter y Chirnside analizaron la concentración de N-NO<sub>3</sub> en 200 pozos subterráneos de Delaware. Los resultados mostraron el alto riesgo que generan a nivel local los sistemas de producción de aves de corral, la tasa de concentración media fue de 21.9 mg/litro frente a una tasa de 6.2 en las áreas de producción de maíz y 0.58 en las áreas forestales. En un estudio realizado en Southwest Wales, (Reino Unido), Schofield, Seager y Merriman señalaron que un río que drenaba áreas exclusivamente dedicadas a la producción ganadera tenía una fuerte contaminación con unos niveles de fondo de 3-5 mg/litro. Los picos altos pueden producirse después de las lluvias, cuando se presenta un escurrimiento de los desperdicios de los corrales y de los campos donde se ha aplicado estiércol.

De manera similar, en Asia sudoriental la iniciativa LEAD analizó las fuentes de contaminación terrestre del Mar de China meridional, prestando una particular atención a la contribución de la industria porcina en expansión en China, Tailandia, Viet Nam y la provincia china de Guangdong. Se considera que en los tres países los desechos porcinos contribuyen a la contaminación en mayor medida que las descargas domésticas humanas. El porcentaje de emisión de nutrientes proveniente de los desechos porcinos varía desde un 14 por ciento para el N y un 61 por ciento para el P en Tailandia a un 72 por ciento para el N y un 94 por ciento para el P en la provincia china de Guangdong.

*Fósforo.* El fósforo en el agua no se considera directamente tóxico ni para los humanos ni para los animales y, por esta razón, no se han fijado sus estándares en el agua potable. El fósforo contamina los recursos hídricos cuando se vierte o se descarga directamente en las corrientes o cuando se aplica en dosis excesivas en el suelo. A diferencia del nitrógeno, el fósforo es retenido por las partículas del suelo y es menos propenso a la lixiviación, a menos que su concentración sea excesiva, de hecho la principal vía de pérdida de fósforo es la erosión. La escorrentía superficial arrastra el fósforo en forma de partículas o en forma soluble. En áreas con alta densidad de ganado los niveles de fósforo pueden acumularse en el suelo y alcanzar los cursos de agua con la escorrentía. En los sistemas en pastoreo la acción de pisoteo del ganado sobre el suelo tiene efectos sobre la infiltración y la macroporosidad y causa pérdidas de sedimento y de fósforo a través del flujo superficial procedente de los suelos cultivados y los pastos.

*Carbono orgánico total.* Los desechos orgánicos generalmente contienen una gran proporción de sólidos con compuestos orgánicos que pueden poner en peligro la calidad del agua. La contaminación orgánica puede estimular la proliferación de algas, lo que aumenta su demanda de oxígeno y disminuye la disponibilidad de oxígeno para otras especies. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es el indicador que suele utilizarse para medir la contaminación del agua por materia orgánica. En una revisión de fuentes bibliográficas realizada por Khaleel y Shearer, se encontró una correlación muy estrecha entre la DBO y una elevada cantidad de animales o las

descargas directas de los efluentes de las fincas. La lluvia tiene un papel fundamental en la variación de los niveles de la DBO en las corrientes de agua que drenan las áreas destinadas a la cría de ganado, a menos que los efluentes de las fincas no descarguen directamente en las corrientes. La tabla IV.5 muestra los niveles de la DBO para varios tipos de desechos en Inglaterra. Los desechos provenientes de las explotaciones pecuarias aparecen entre aquellos que tienen una DBO más alta. Los impactos del carbono orgánico total y de los correspondientes niveles de la DBO en la calidad del agua han sido evaluados a nivel local pero no hay datos que permitan su extrapolación a mayor escala. (FAO 2009, 153-158)

Tabla IV.5. Variaciones de la concentración de la DBO para diferentes desechos y productos animales

Fuente	DBO (mg/litro)
Leche	140000
Efluentes de ensilaje	30000-80000
Estiércol líquido de cerdo	20000-30000
Estiércol líquido de bovino	10000-20000
Efluentes líquidos drenados desde el almacenamiento de estiércol líquido	1000-12000
Lavado de las salas de ordeño (agua sucia)	1000-5000
Aguas residuales domésticas sin tratar	300
Aguas residuales domésticas tratadas	20-60
Agua limpia de río	5

Fuente: (FAO 2009, 158)

### Contaminación bio-química y salud humana

La degradación ambiental afecta significativamente, directa e indirectamente, a la salud humana. Los efectos directos incluyen el contacto con agentes contaminantes. Los efectos indirectos incluyen un incremento de la exposición de seres humanos y animales a las enfermedades infecciosas propiciado por el cambio climático. La distribución geográfica y la estacionalidad de un importante número de enfermedades, como la malaria y el dengue, pueden verse afectadas por el cambio climático. La esquistosomiasis o bilharziosis, enfermedad parasitaria que tiene como portador a los caracoles de agua, se asocia a los cambios en los cursos de agua. El Informe sobre los Recursos Mundiales señala que estas enfermedades relacionadas con el ambiente afectan de manera desproporcionada a los estratos más pobres de la población tanto en los países en desarrollo como en los desarrollados. (FAO, 2009, p. 4 y 5)



### *Impacto de los residuos químicos.*

*Los residuos de medicamentos contaminan los ambientes acuáticos.* En el sector pecuario se usan grandes cantidades de fármacos, principalmente antimicrobianos y hormonas. Se suministran a los animales con propósitos terapéuticos, pero también se dan a grupos de animales sanos de manera profiláctica, fundamentalmente durante situaciones estresantes con alto riesgo de infección como el momento del destete o el transporte. Estos compuestos también se suministran de manera rutinaria en la alimentación y el agua durante largos períodos de tiempo con la finalidad de mejorar las índices de crecimiento y de conversión de piensos. Los científicos denominan usos “subterapéuticos” o “no terapéuticos” a la agregación de antimicrobianos al alimento o al agua a dosis más bajas que las terapéuticas.

Las hormonas se utilizan para incrementar la eficiencia de la conversión alimenticia, en especial en el sector de bovinos de carne y porcinos. Su uso no está permitido en muchos países, sobre todo de Europa.

En los países desarrollados, los medicamentos usados en la producción animal representan un alto porcentaje del uso total. Se calcula que aproximadamente la mitad de los 22.7 millones de kilos de antibióticos administrados al ganado en este país se suministran por razones no terapéuticas, es decir, en la profilaxis de enfermedades y como promotores del crecimiento. En Europa, a partir de 1997 la cantidad de antibióticos disminuyó como resultado de la prohibición de algunas sustancias y el debate público sobre su uso. En 1997, se usaron 5,093 toneladas, incluidas 1,599 toneladas como promotores del crecimiento (principalmente antibióticos polyether). En 1999, en la UE-15 (más Suiza) se usaron 4,688 toneladas de antibióticos en la producción pecuaria. De estos, 3,902 toneladas (83 por ciento) fueron usadas con propósitos terapéuticos (las tetraciclinas fueron el grupo más usado), mientras que solamente se emplearon 786 toneladas como promotores del crecimiento. Recientemente, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha hecho un llamamiento para prohibir el uso de antibióticos en animales sanos con el fin de mejorar la productividad.

No se cuenta con datos disponibles sobre la cantidad de hormonas usadas en los diferentes países. Las alteraciones endocrinas interfieren con el funcionamiento normal de las hormonas corporales que controlan el crecimiento, el metabolismo y las funciones corporales. Se usan en los corrales de engorde implantadas en las orejas o como aditivo en los alimentos. Las hormonas naturales comúnmente usadas son estradiol (estrógeno), progesterona y testosterona, mientras que las sintéticas son zeranol, acetato de melengestrol y acetato de trembolona. Cerca de 34 países han aprobado el uso de hormonas en la producción de carne bovina. Entre ellos figuran Australia, Canadá, Chile, Japón, México, Nueva Zelandia, Sudáfrica y los Estados Unidos de América. Gracias al uso de hormonas los animales presentan un aumento en la ganancia de peso diario del 8 al 25 por ciento, con un aumento del índice de conversión de piensos de hasta el 15 por ciento. A pesar de que no se han demostrado científicamente impactos negativos directos en la salud humana derivados del uso correcto de hormonas, en la UE, en parte como respuesta a la presión de los consumidores, se ha adoptado una postura muy estricta en cuanto al uso de hormonas en la producción pecuaria.

Una porción importante de los medicamentos utilizados no se degrada en el cuerpo del animal y termina en el ambiente. Se han identificado residuos de medicamentos, incluidos antibióticos y hormonas, en varios ambientes acuáticos como las aguas subterráneas, las aguas superficiales, y el agua de grifo. El servicio de levantamientos geográficos de los Estados Unidos de América (US Geological Survey) encontró residuos antimicrobianos en el 48 por ciento de las 139 corrientes de agua analizadas en todo el país y consideró a los animales potencialmente responsables, en particular en los lugares donde se esparce estiércol en la tierra agrícola. En cuanto a las hormonas, Estergreen y otros señalaron que el 50 por ciento de la progesterona administrada al ganado fue excretada en las heces y el 2 por ciento en la orina. Shore y otros encontraron que si bien la progesterona era fácilmente lixiviada del suelo, no sucedía lo mismo con el estradiol y la estrona.

Puesto que incluso bajas concentraciones de antimicrobianos ejercen una presión selectiva en el agua dulce, las bacterias están desarrollando una resistencia a los antibióticos. La resistencia puede transmitirse por medio del intercambio de material genético entre microorganismos patógenos. Dado que estos genes pueden conferir una ventaja evolutiva, se diseminan con facilidad en el ecosistema bacteriano: las bacterias que adquieren resistencia genética pueden superar y propagarse más rápidamente que las bacterias no resistentes. Además del potencial para diseminar la resistencia a los antibióticos, este hecho es un importante motivo de preocupación ambiental.

Con respecto a las hormonas, las preocupaciones están relacionadas con sus efectos potencialmente en los cultivos y con los posibles desórdenes endocrinos que pueden causar en los humanos y en la naturaleza. El acetato de trembolona puede permanecer en las pilas de estiércol durante más de 270 días, por lo que cabe suponer que a través de la escorrentía los agentes activos hormonales podrían contaminar las aguas. Los nexos entre el uso de hormonas en el ganado y sus impactos ambientales no son fácilmente demostrables. Sin embargo, esta podría ser la explicación de las alteraciones endocrinas o neurológicas que pueden observarse en la fauna silvestre incluso después de la prohibición de plaguicidas con efectos estrogénicos. Este supuesto se basa en el aumento del número de casos documentados de masculinización y feminización de peces, así como en el incremento en los mamíferos de la incidencia de cáncer testicular y de pecho y de las alteraciones en el tracto genital masculino.

Los antimicrobianos y las hormonas no son los únicos medicamentos con potencial de generación de impactos negativos. En la producción de leche se usan grandes cantidades de detergentes y desinfectantes. El mayor porcentaje de agentes químicos utilizados en las operaciones de producción de leche está constituido por los detergentes. En los sistemas de producción pecuaria también se usan altos niveles de antiparasitarios (FAO 2009, 160-161).

*Los metales pesados usados en la alimentación retornan al ambiente.* Los metales pesados se usan en la alimentación del ganado, a concentraciones muy bajas, por motivos de salud o como promotores del crecimiento. Entre los metales que se añaden a las raciones alimenticias del ganado figuran los siguientes: cobre, zinc, selenio, cobalto, arsénico, hierro y manganeso. En la industria porcina, el cobre (Cu) se usa para aumentar los rendimientos ya que actúa como

antibacteriano en el intestino. El zinc (Zn) se usa en las dietas de los lechones destetados con el fin de controlar la diarrea posdestete. En la industria aviar, se usan el Zn y el Cu como cofactores enzimáticos. El cadmio y el selenio también se han utilizado como promotores del crecimiento a dosis muy bajas. Otras fuentes potenciales de metales pesados en las dietas del ganado son el agua potable, la caliza y la corrosión de los metales usados en las instalaciones para el alojamiento de los animales.

Los animales sólo pueden absorber entre el 5 y 15 por ciento de los metales ingeridos. De ahí que la mayor parte de los metales vengán excretados y vuelvan al ambiente. Los recursos hídricos también pueden resultar afectados cuando se preparan baños con Cu y Zn como desinfectantes de las pezuñas de las ovejas y los bovinos.

La carga de metales pesados originada en las actividades pecuarias se ha analizado localmente. En Suiza, en el año 1995, se observó que la carga total de metales pesados en el estiércol ascendía a 94 toneladas de cobre, 453 toneladas de zinc, 0.375 toneladas de cadmio y 7.43 toneladas de plomo procedentes de un hato de 1.64 millones de cabezas de bovinos y 1.49 millones de porcinos (FAO, 2006b). De esta carga, de un 64 por ciento (del zinc) a un 87 por ciento (del plomo) se encontró en el estiércol bovino (Menzi y Kessler, 1998), mientras que la concentración más alta de cobre y zinc se encontró en el estiércol de cerdo. (FAO 2009, 161-162)

#### *Impacto de los residuos biológicos.*

*La contaminación biológica representa un peligro para la salud pública.* El ganado excreta muchos microorganismos zoonóticos y parásitos multicelulares de relevancia para la salud humana. Los microorganismos patógenos pueden ser transmitidos por el agua o por los alimentos, especialmente cuando los cultivos alimenticios se han irrigado con aguas contaminadas (Atwill, 1995). Para que se produzca un proceso de transmisión efectiva es necesaria una descarga directa de grandes cantidades de patógenos. Muchos contaminantes biológicos pueden sobrevivir días, y algunas veces semanas, en las deyecciones esparcidas en el campo y después, a través de la escorrentía, pueden alcanzar los recursos hídricos.

Los principales patógenos bacterianos y víricos, su importancia fundamental para la salud pública humana y veterinaria, que se transmiten por el agua son:

*Campylobacter spp.* Muchas especies de *Campylobacter* tienen una importante función en las infecciones gastrointestinales humanas. A nivel mundial la campylobacteriosis es responsable de aproximadamente el 5-14 por ciento de todos los casos de diarrea. Se han documentado diversos casos clínicos cuyo origen es el agua contaminada por el ganado.

*Escherichia coli 0157:H7.* *E. coli 0157:H7* es un patógeno humano que puede causar diarrea y, en algunos casos, síndrome de uremia hemolítica. El ganado es una fuente importante de contaminación en el caso de focos e infecciones esporádicas de *E. coli 0157:H7* transmitida por el agua o por los alimentos. Las complicaciones y las muertes son más frecuentes en los niños de

corta edad y en los ancianos, así como en personas con enfermedades debilitantes. En los Estados Unidos de América, se producen aproximadamente 73,000 casos de infección al año.

*Salmonella spp.* El ganado es una fuente importante de diversos tipos de infección por *Salmonella spp.* en los humanos. La *Salmonella dublin*, uno de los serotipos aislados en el ganado con mayor frecuencia, es un microorganismo de alta patogenicidad transmitido a los humanos por los alimentos. Las superficies de aguas contaminadas con *S. dublin* o los alimentos lavados con aguas contaminadas pueden ser los vehículos de transmisión de la enfermedad a los humanos. La *Salmonella spp.* ha sido aislada en el 41 por ciento de los pavos analizados en California (Estados Unidos de América) y en el 50 por ciento de los pollos examinados en Massachussets (Estados Unidos de América).

*Clostridium botulinum.* El *C. botulinum* (el organismo causante del botulismo) produce potentes neurotoxinas. Sus esporas son resistentes al calor y pueden sobrevivir en los alimentos elaborados de manera incorrecta. Entre los siete serotipos, los tipos A, B, E y F causan botulismo en los humanos, mientras que los serotipos C y D son causa de la mayor parte de los casos de botulismo en los animales. El *C. botulinum* puede ser arrastrado desde los campos por la escorrentía.

*Enfermedades virales.* Hay diversas enfermedades virales que pueden revestir importancia veterinaria y pueden estar asociadas con el agua potable, tales como las infecciones causadas por picornavirus (fiebre aftosa, enfermedad de Teschen o enfermedad de Talfan, encefalomiелitis aviar, enfermedad vesicular porcina, encefalomiocarditis), infecciones causadas por parvovirus, infecciones causadas por adenovirus, virus de la peste bovina, o peste porcina.

*Enfermedades parasitarias del ganado.* Se transmiten ya sea por la ingestión de estadios transmisibles que resisten en el ambiente (esporas, quistes, ooquistes, huevos, larvas y estadios enquistados), o mediante el uso de aguas contaminadas en la elaboración o preparación de alimentos, o por vía del contacto directo con los estadios parasitarios infecciosos. El ganado es una fuente de infección para los seres humanos y para muchas especies silvestres. La excreción de formas transmisibles puede ser alta y el peligro para la salud pública veterinaria puede extenderse a lugares muy distantes de las áreas contaminadas. Entre los parásitos, los que tienen mayor relevancia en la esfera de la salud pública y el agua son: *Giardia spp.*, *Cryptosporidia spp.*, *Microsporidia spp.* y *Fasciola spp.*

*Giardia lamblia* y *Cryptosporidium parvum.* Ambos con microbios protozoarios que pueden causar enfermedades gastrointestinales en los humanos. *G. lamblia* y *C. parvum* se han convertido en importantes patógenos transmitidos por el agua que son parte de la flora normal de muchas especies animales. Sus ooquistes son tan pequeños que pueden contaminar las aguas subterráneas, y los ooquistes de *C. parvum* no son eliminados por los tratamientos del agua más comunes. A nivel mundial la prevalencia en la población humana es del 1 al 4.5 por ciento en los países desarrollados y del 3 al 20 por ciento en los países en desarrollo.

*Microsporidia ssp.* *Microsporidia spp.* son protozoarios intracelulares formadores de esporas. Se han identificado 14 especies oportunistas o patógenas emergentes para los seres humanos. En los

países en desarrollo, las especies de *Microsporidia* representan un riesgo para la salud pública aún mayor, ya que las infecciones se encontraron predominantemente en individuos con compromiso del sistema inmunitario. Generalmente esta es una enfermedad transmisible, pero también tiene el potencial de emerger como zoonosis transmisible por el consumo de carne y de peces y crustáceos crudos o poco cocidos. La presencia de *Microsporidia* patógena para los humanos en el ganado y en los animales de compañía ha sido ampliamente documentada. La *Enterocytozo on bieneusi* (la especie diagnosticada con mayor frecuencia en los humanos) se ha encontrado en cerdos, bovinos, gatos, perros, llamas y gallinas.

*Fasciola spp.* Fasciolosis (*Fasciola hepática* y *Fasciola gigantica*) es una enfermedad parasitaria importante de los herbívoros y una zoonosis transmitida por los alimentos. La ruta de transmisión más común es la ingestión de agua contaminada. Alimentos, como las ensaladas, contaminados con agua de irrigación contaminada con metacercarias también pueden ser una vía de transmisión.