

# ACTUACIONES QUE PERMITEN REDUCIR LAS EMISIONES EN LA ACTIVIDAD AGRARIA



Como complemento del artículo publicado en nuestro anterior número, relativo a las emisiones de gases con 'efecto invernadero' en la actividad agraria, analizamos ahora su origen y las prácticas agrícolas que permiten su reducción.

**LUIS MÁRQUEZ**

En el número anterior de **agrotécnica**, se publicó un comentario sobre las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la actividad agrícola. En el mismo se destacaba que era la responsable de emitir, en términos relativos, el 1% de las emisiones de CO<sub>2</sub>, el 40% de las emisiones de CH<sub>4</sub> y el 60% de las de N<sub>2</sub>O que llegan a la atmósfera por la actividad del hombre.

Para reducir estas emisiones, en los países de la OCDE se es-

tán siguiendo diferentes prácticas, que se resumen en el documento OCDE/COM/ENV/EPOC/AGR/CA(1998)149/FINAL.

En este comentario se analizan, de forma detallada, el origen de las emisiones y las prácticas agrícolas que permiten minimizarlas.

## El origen de las emisiones

### Las emisiones de óxido nitroso

El N<sub>2</sub>O se produce de forma natural en los suelos como consecuencia de procesos de desni-

trificación (reducción de nitritos y nitratos a nitrógeno molecular y su posterior oxidación, o por oxidación del amoníaco). La fuente natural se refuerza con el aporte de fertilizantes nitrogenados, que contaminan las aguas de escorrentía y filtración, que proceden de los suelos fertilizados. El cultivo de leguminosas por su fijación del nitrógeno atmosférico, y el empleo de fertilizantes orgánicos pueden modificar los niveles de emisión de óxido nitroso.

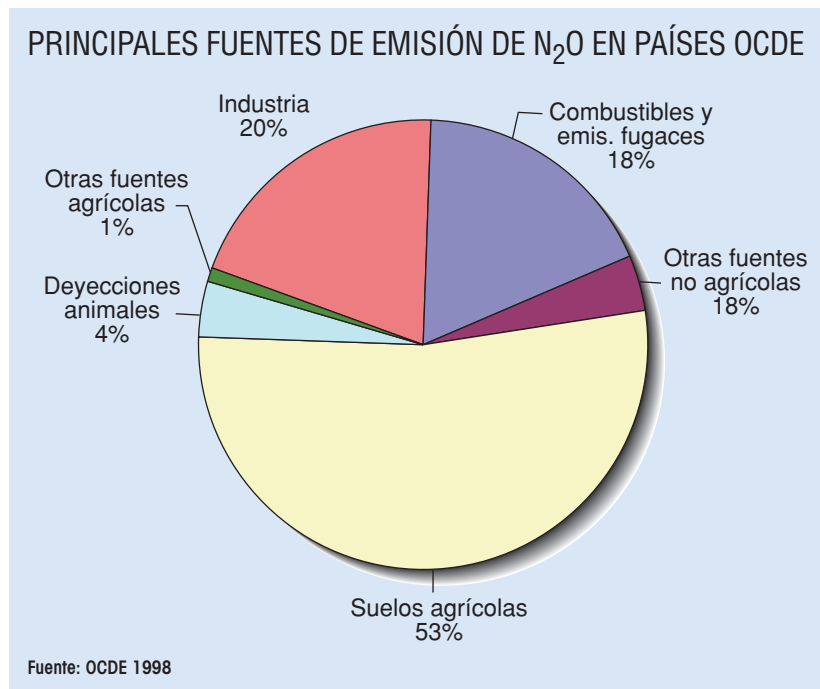
Las emisiones naturales de óxido de nitrógeno están influenciadas por factores como la temperatura, la pluviometría, el tipo de suelo y sus características asociadas, como disponibilidad de oxígeno, porosidad, pH, microorganismos existentes, contenido de carbono orgánico y potencial redox.

En cuanto a los sistemas de cultivo, los factores que determinan las emisiones son el tipo de cultivo, las técnicas de preparación del suelo utilizadas, el tipo de fertilizante que se aporta (contenido de nitrógeno y otros elementos, tasa, técnica y período) e intensidad y de la forma con la que se riega.

Ante esto, resulta muy complicado ajustar un modelo matemático que explique las emisiones. Como aproximación se han propuesto expresiones en las que se incluyen la masa de fertilizante aplicado, medida en términos de nutriente (N), unos coeficientes que estiman el N<sub>2</sub>O emitido respecto al N aplicado y unos índices en función del tipo de fertilizante y del tipo-especie de cultivo.

### Las emisiones de metano

Las emisiones de CH<sub>4</sub> provienen de la descomposición de la materia orgánica realizada por bacterias metagénicas cuando se dan en los suelos las condiciones apropiadas para su desarrollo. Aunque este fenómeno se produce en cultivos anuales y



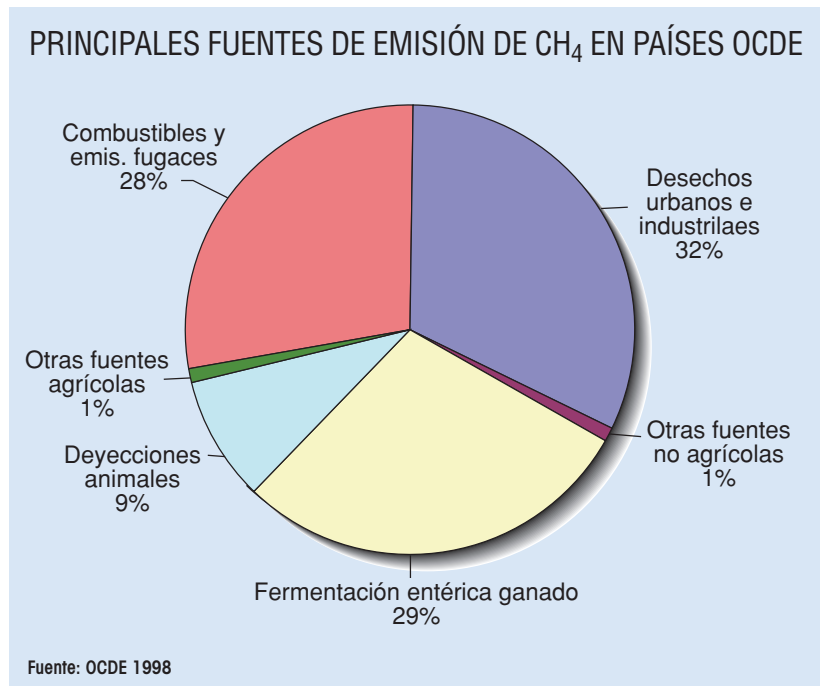
permanentes, es en los arrozales situados en zonas acuáticas poco profundas (<1 m) en los que se da con mayor intensidad.

También hay que contar con la producción ganadera; el proceso de fermentación entérica de determinadas especies animales y el manejo y disposición final de los excrementos de la población animal doméstico-productiva son una fuente importante de emisiones de metano.

En los cultivos inundados, la materia orgánica que se degrada está formada por algunos com-

ponentes de exudación de las raíces, los residuos de paja incorporados al suelo durante la preparación del arrozal y la biomasa de las algas en el agua que anega el campo. Una gran parte del metano se oxida antes de salir a la atmósfera, por lo que se puede considerar que sólo entre el 20 y el 40% del producido alcanza la atmósfera.

Influyen en el flujo de metano las características de los suelos, la temperatura de la capa superior de los mismos, las prácticas de gestión del agua, el uso





que se hace de fertilizantes industriales y orgánicos y la selección del cultivo y el periodo estacional en el que se desarrolla.



Es muy difícil establecer modelos que expliquen con cierta precisión las emisiones de metano, dada la cantidad de variables que intervienen en la generación de este gas. Como aproximación se pueden utilizar un factor que puede oscilar entre 2 y 7 kg de CH<sub>4</sub>/ha-día, y al aplicarlo se debe de tener en cuenta la posibilidad de dobles o triples cosechas por año.

También hay que contar con la quema de rastrojos, que se realiza como práctica agrícola en algunas regiones con el objetivo de 'desinfección' del suelo, que hace llegar a la atmósfera gases como el CO, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O.

#### Las emisiones de amoníaco

En relación con el NH<sub>3</sub> existe intercambio bidireccional entre el suelo y las plantas por un lado y entre el suelo y las plantas con la atmósfera por otro. La dirección e intensidad de estos flujos depende del gradiente de las concentraciones de amoníaco en cada uno de los elementos (suelo, plantas y atmósfera) que varía en función de la especie botánica, de su estadio y de las condiciones del entorno.

Es difícil cuantificar las emisiones de NH<sub>3</sub> a la atmósfera procedentes de las diferentes

 **LAS EMISIONES DE AMONIACO A LA ATMÓSFERA SE INTENSIFICAN CUANDO EL pH DEL SUELO ES ELEVADO Y SE PRODUCEN ALTAS TEMPERATURAS Y VELOCIDADES DEL VIENTO** 

fuentes, aunque sí se pueden valorar las que se derivan de la aplicación de los fertilizantes, distinguiendo entre la urea y sus compuestos y otras sales amoniacales.

La urea, de bajo coste y elevado contenido de nitrógeno, se comporta de manera que una gran parte de su nitrógeno pasa a la atmósfera como amoníaco. No sucede así con las otras sales amoniacales, cuyo nitrógeno queda retenido con más facilidad en el suelo. Especialmente para la urea, hay que tener en cuenta

que las emisiones de amoníaco a la atmósfera se intensifican cuando el pH del suelo es elevado, cuando dispone de baja capacidad de absorción, si la incorporación es poco profunda y se producen altas temperaturas y velocidades de viento. En los cultivos, en los pastizales y en las zonas en las que se realiza la fertilización nitrogenada sobre la superficie (siembra directa) aumentan las emisiones.

En países como España se ha tomado como referencia para el cálculo de las emisiones correspondientes a las parcelas fertilizadas al valor de 40 kg/tonelada de fertilizante.

#### Las emisiones derivadas de la quema de rastrojos agrícolas

Dependerá del volumen de residuos quemados, que siempre puede relacionarse con la cantidad cosechada y el volumen de residuo retirado del campo antes de la quema (ej. paja).

Para estimar las emisiones derivadas de la quema de rastrojos se pueden utilizar las recomendaciones del documento IPCC/OECD-1991 *Estimation of Greenhouse Gas Emissions and Sinks*, utilizando el producto de la cantidad de cosecha principal, la fracción quemada respecto a la cosecha, la fracción de masa seca del residuo, la fracción del contenido de carbono en la masa seca y el ratio nitrógeno/carbono en el residuo, con un factor de 0.45, que se considera la fracción de contenido de carbono por unidad de masa de residuo seco.

Las emisiones correspondientes a NO<sub>x</sub>, CH<sub>4</sub>, CO y N<sub>2</sub>O se calcularían (Crutzen y Andreae, 1990) a partir de la masa de carbono quemada una vez descontado el carbono que queda en el suelo (se estima en un 10%). Tomando en consideración los ratios (expresados en términos de carbono) asumidos de emisión de CH<sub>4</sub> y CO respecto al CO<sub>2</sub> se calcularían las cantidades de car-

TABLA 1.- FACTORES DE EMISIÓN ESTIMADOS EN LA QUEMA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS

ASO2	NOx	COVMN	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>
g/t	g/t	g/t	g/t	g/t	g/t	g/t	g/t
ns	400	3 500	3 500	58 000	1 130 000	ns	nd

Fuente: Informe CORINE-AIRE - España

bono incluidas en cada uno de estos gases, y, a partir de ellas, las cantidades de cada uno de estos gases, considerando el porcentaje de carbono en la molécula del gas.

Del mismo modo se pueden estimar las emisiones de NOx y N<sub>2</sub>O a partir de la cantidad de carbono quemado, teniendo en cuenta el ratio N/C del residuo, las proporciones de nitrógeno que se transforma en cada uno de estos gases y la proporción de nitrógeno en la molécula.

Como alternativa, se pueden utilizar los valores propuestos por defecto en el documento IPCC/OECD. Los valores calculados para España, que pueden servir como referencia, se incluyen en la Tabla 1.

### El nitrógeno y las emisiones de compuestos orgánicos volátiles COVMN

Los procesos que dan origen a las emisiones de COVMN (Compuestos Orgánicos Volátiles No Metano) dependen de características propias de las especies, como su índice de biomasa y el periodo de actividad emisora dentro de su ciclo anual, y de algunas variables ambientales, como el periodo de luz diurna, la temperatura ambiente y el nivel de radiación solar.

Entre los COVMN se encuentran los óxidos de nitrógeno, conocidos genéricamente como NOx, ya que oxígeno e hidrógeno se pueden encontrar en diversas proporciones. Estos compuestos de hidrógeno y oxígeno se forman durante la combustión con exceso de oxígeno a elevada temperatura. El nitrógeno molecular (N<sub>2</sub>) es un gas rela-

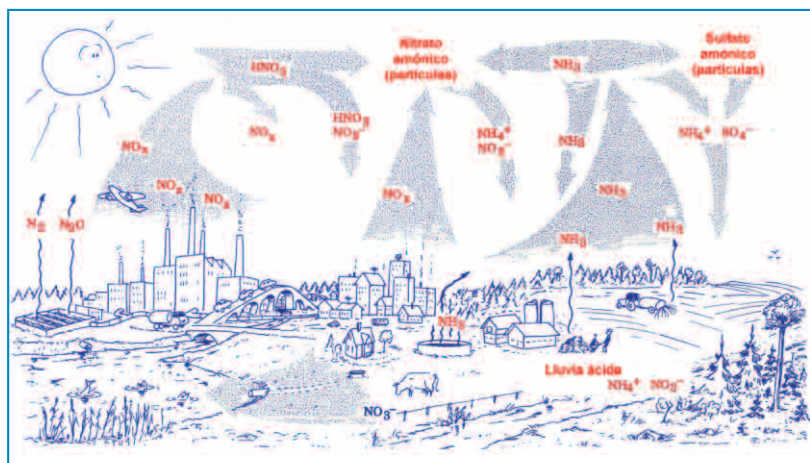
tivamente inerte, y forma parte de alrededor del 80% del aire que respiramos. El nitrógeno elemento químico (N) puede ser reactivo y posee estados de valencia que varían entre uno y cinco, por lo que al reaccionar con los iones de oxígeno, que siempre tienen valencia menos dos, dan lugar a diferentes compuestos cuando cambia su nivel de energía de ionización, lo cual sucede, entre otros motivos, cuando es golpeado por fotones (luz UV) o estimulado con energía térmica infrarroja (IR). Cualquiera de estos óxidos se disuelve en agua y se descompone formando ácidos nítrico o nitroso, que se consideran responsables de la lluvia ácida.

El óxido nítrico (NO), el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) son los óxidos de nitrógeno más abundantes en el aire. El N<sub>2</sub>O, que se produce por fuentes biogénicas como las plantas y levaduras, es sólo levemente reactivo, pero se trata de una sustancia agotadora de nitrógeno que reacciona con el ozono, tanto en la troposfera, como en la estratosfera, y con un largo periodo de vida, estimado entre 100 y 150 años.

La oxidación del N<sub>2</sub>O por el O<sub>3</sub> se produce a cualquier temperatura y genera a la vez oxígeno molecular (O<sub>2</sub>) y NO ó N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, que se oxidan rápidamente (en unas dos horas) para producir NO<sub>2</sub>, que a su vez crea una molécula de ozono a partir de una de oxígeno (O<sub>2</sub>) cuando es golpeado por un fotón de energía ionizadora proveniente de la luz solar. El N<sub>2</sub>O es también un gas con 'efecto invernadero', que, al igual que el CO<sub>2</sub>, absorbe la radiación de onda larga que irradia la Tierra, contribuyendo al calentamiento global. Las emisiones de este gas derivadas de las actividades agrícolas (fertilizantes) ya han sido analizadas.

Las emisiones de NOx (NO y NO<sub>2</sub>) que provienen de la combustión son principalmente en forma de NO, que es generado hasta el límite del oxígeno disponible en el aire a temperaturas de 1300°C; a temperaturas menores de 760°C prácticamente no aparece. La producción de NO aumenta a medida que la combustión se realiza con exceso de aire (mezcla rica), lo que se produce en los motores de encendido por compresión (diésel). Se estima que el 55% de las

Fuente: Swedish Institute of Agricultural Engineering (modificado).



Emisiones y depósitos del nitrógeno.

emisiones de NOx (año 2003) son producidas por los vehículos de motor, de aquí la importancia que han tomado las limitaciones establecidas tanto en la UE, como en USA y Japón, que han revolucionado el diseño de motores diésel para mantener las prestaciones cumpliendo unas normas progresivamente más estrictas.

En consecuencia, al margen de las emisiones derivadas del consumo energético por la utilización de motores en la actividad agraria (y procesos de secado mediante combustión), se considera que las fuentes biogénicas son responsables de menos del 10% de las emisiones totales de NO.

## Actuaciones que permiten reducir las emisiones

### Producción animal

Analizando de manera más detallada las prácticas recomendadas, se puede considerar en relación con el ganado que un punto crítico es el de la digestibilidad de los alimentos en los rumiantes. La fermentación entérica da lugar a unas emisiones de metano que representan entre el 42 y el 99% en los países de la



OCDE, siendo este gas un subproducto normal del proceso digestivo. Influyen la especie, la edad del animal, el peso del animal y la actividad que realiza, y, de una manera especial, el tipo de alimentos consumidos.

Por ello las emisiones de CH<sub>4</sub> pueden reducirse mejorando la digestibilidad de la alimentación que recibe el animal. Así, pasar de un aprovechamiento de la alimentación del 75% (vacas de leche en alta tecnología) al 50%, puede hacer que las emisiones de metano aumenten 5 veces, llegando a 130 kg por animal y año. Otras propuestas, como el aumento de la talla de los animales, o reducción del número de cabezas, son difíciles de poner en práctica, salvo en paí-

ses en los que existe una carga ganadera muy elevada para las superficies agrícolas disponibles.

### Fertilizantes minerales y orgánicos

Las emisiones derivadas del estiércol dependen, con grandes diferencias, de sus características, del sistema de gestión y del clima. Las emisiones de metano procedente del estiércol se producen principalmente durante la fase de descomposición anaerobia, por lo que las deposiciones durante el pastoreo, y en estado 'seco' dan lugar a menores niveles de emisión. En climas fríos con esparcido diario, los niveles de emisión son de solo el 0.1%, mientras que las emisiones llegan al 90% para el



almacenamiento en depósitos de fermentación en cualquier tipo de clima, aunque en estas condiciones se pueden recuperar para utilizarlos como biocombustible. Las emisiones en las zonas cálidas pueden ser de 2 a 6 veces mayores de las que producen en las frías.

En cuanto a las emisiones de  $N_2O$ , la distribución diaria de las deyecciones en forma de purín son las que producen menor nivel, pero mayores emisiones de metano. Las deyecciones almacenadas en forma de estiércol seco generan emisiones de aproximadamente el 2% de sus contenidos en nitrógeno, al igual que el depositado en las praderas, mientras que las almacenadas de fosas (formas líquidas) son sólo del 0.1%. En cuanto al tipo de estiércol, una vaca lechera produce 100 kg de nitrógeno por año, mientras que un bovino no lechero sólo llega a los 70 kg/año.

En relación con las emisiones de  $N_2O$  que se producen con cualquier tipo de fertilizante nitrogenado (abonos minerales y estiércol), hay que considerar:



- Las emisiones directas, que provienen del nitrógeno esparcido en el suelo.
- La lixiviación del  $N_2O$ .
- Los depósitos atmosféricos de amoníaco ( $NH_3$ ) y de óxidos de nitrógeno ( $NOx$ ) que conducen indirectamente a la formación de  $N_2O$ .

Los residuos animales tiene una tasa de emisión indirecta de  $N_2O$  dos veces mayor que los fertilizantes sintéticos.

Se estima que el 30% del nitrógeno contenido en el fertilizante, o en el estiércol, se pierde por lixiviación, aunque puede variar entre el 10 y el 80%. Por cada kilogramo de nitrógeno perdido por lixiviación se emiten entre 0.002 y 0.12 kg de  $N_2O$ . Pasar del nivel máximo de lixiviación al nivel mínimo puede significar dejar de emitir 150 kg de  $N_2O$  por

cada tonelada de nitrógeno esparcido.

Las 'buenas prácticas' de manejo del estiércol, que se proponen en estos momentos en los países más desarrollados, han tenido como principales objetivos reducir la difusión de malos olores, proteger los cauces de agua próximos y disminuir las emisiones de amoníaco en el almacenamiento y la aplicación de estiércol.

 **SE DEBE DE EVITAR**  
**EL ESPARCIDO DE**  
**FERTILIZANTES**  
**ORGÁNICOS EN LOS**  
**CULTIVOS DE ARROZ**  
**INUNDADOS** 

Se recomiendan las modificaciones en los alojamientos ganaderos para mantener el estiércol en estado sólido, o las camas de paja, junto con el compostaje de los residuos animales. También pueden reducirse las emisiones en los almacenamientos de estiércol líquido creando capas naturales, o artificiales, sobre las superficies de las balsas

o depósitos, con recuperación de las emisiones de metano con su aprovechamiento energético, produciendo  $CO_2$  con un potencial de efecto invernadero mucho más débil.

Por otra parte, se debe de evitar el esparcido de fertilizantes orgánicos en los cultivos de arroz inundados; las experiencias realizadas en algunos países ponen de manifiesto la posibilidad de reducir las emisiones de metano si se esparcen tratados o mezclados con paja de arroz para reducir las emisiones.

Con los abonos minerales se recomienda la aplicación de dosis exactas y durante los periodos en los que son necesarios para las plantas. Preferentemente, aplicaciones localizadas junto a las raíces, lo que permite el máximo aprovechamiento del fertilizante, así como utilizando abonos de liberación controlada o con inhibidores de nitrificación (también utilizables con el estiércol). En el caso del estiércol conviene incorporarlo al suelo inmediatamente después del esparcido.

Para poder avanzar en esta línea de reducción de emisiones se necesita una investigación aplicada que permita dar recomendaciones precisas, así como desarrollar modelos matemáticos del crecimiento de los cultivos en relación con la fertilización.





## Producción vegetal

### • Arroz

En países como Corea y Japón las emisiones de metano originado en los campos de arroz llegan a ser del 25-30% del total que produce su agricultura, siendo sólo del 5% en el conjunto de países de la OCDE. Se producen grandes diferencias en las emisiones de un año a otro para regiones geográficas próximas y con variedades de arroz diferentes.

La mejor opción para reducir las emisiones de metano es controlar el nivel del agua (si esto resulta posible) mejorando el drenaje, a la vez que reducir el periodo en el que el arroz se encuentra sumergido. Con niveles de agua entre 50 cm y 1 m, se reducen las emisiones en un 40% respecto a cuando la profundidad es inferior a los 50 cm. Sin embargo, las técnicas de cultivo más evolucionadas preconizan niveles de agua muy reducidos (menos de 30 ó incluso 15 cm). Como alternativa pueden considerarse drenajes periódicos durante la fase vegetativa del cultivo; si el secado es suficiente, todo el metano del suelo se oxida y la producción de metano se inhibe. Una sola desecación reduce las emisiones a la mitad, mientras que las desecaciones múltiples lo reducen a la quinta parte.

Cuando se pueden regular los aportes de agua, el cultivo se inicia con niveles de 30 cm, para

posteriormente realizar inmersiones intermitentes, retirando del agua 15 a 20 días antes de la recolección del arroz.

En cuanto el efecto de la paja incorporada al cultivo que incrementa las emisiones, su efecto se puede reducir con un enterrado inmediato a la recolección, junto con los abonos orgánicos que se aporten al cultivo.

La propuesta de algunos países respecto a la utilización de variedades de arroz de bajo nivel de emisiones de metano se encuentra en una fase inicial de investigación y necesita grandes inversiones y tiempo para que pueda estar disponible.

### • Otros cultivos

Las prácticas de cultivo afectan al contenido de carbono en el suelo. El contenido de carbono es mayor en los suelos húmedos que en los secos, con variaciones entre las 230 t/ha en los templados cálidos a los 180 t/ha en los templados fríos. En los

arenosos de zonas templadas el contenido de carbono desciende a valores entre 10 y 25 t/ha. En cuanto a las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera varía entre 1 t/ha y año en las regiones templadas frías y 10 t/ha y año en las regiones templadas cálidas. Los cultivos en altura sobre suelos orgánicos dan unas tasas de emisión de 20 t/ha y año.

Evitar el quemado de restos de cosecha es una forma de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub>O. En algunos países las quemadas están prohibidas o limitadas para conseguir una mejora de la calidad del aire, con diferentes alternativas, como el picado para incorporarlos al suelo y la recogida para su aprovechamiento posterior. La retirada, o el quemado, de los residuos reduce los contenidos de carbono en el suelo, siendo un 10% inferiores a los que se consiguen cuando se dejan en él. Un exceso de residuos de cosecha puede dar lugar a un déficit de nitrógeno, dadas las necesidades de este elemento por la población microbiana que los descompone. La presencia de residuo superficial permite combatir la erosión hídrica y eólica de los suelos cultivados.

Por otra parte, el cultivo de plantas que fijan nitrógeno permite retener en el suelo 0.03 kg de nitrógeno por kilogramo de materia seca, de los cuales se estima que quedan en el suelo el 65%, equivalentes aproximadamente a 19.5 kg por tonelada de producción vegetal.







En los suelos húmicos la emisión de  $N_2O$  aumenta con la humedad, ya que el bajo contenido de oxígeno favorece su desnitrificación, por lo que se recomiendan técnicas de drenaje en suelos con tendencia a encharcarse, así como evitar el excesivo aporte de agua de riego. En algunos países no se permite utilizar suelos húmicos (turberas) para la producción agrícola.

Los sistemas de labranza reducida y siembra directa pueden ayudar a retener el carbono en el suelo, ya que el trabajo del suelo acelera la oxidación del carbono orgánico. El contenido de carbono del suelo influye en los resultados, de modo que el cambio a técnicas de labranza reducida, en suelos con bajo contenido de carbono sobre zonas templadas, sólo lo incrementa en un 4.5% de lo que se consigue en suelos con elevado contenido de carbono, en los que los aumentos pueden ser del 10% del existente.

La regeneración natural de los suelos al dejar de cultivarlos permite aumentar su capacidad para retener el carbono en el tiempo. La capacidad de absorción depende del ecosistema natural, siendo menor en las praderas que en los bosques. Globalmente, el abandono del 15% de los suelos agrícolas marginales podría permitir retener entre 1.5 y 3 Gt de carbono.

También se puede aumentar la retención de carbono y de nitrógeno en el suelo mediante la obtención de dos cosechas por año, cuando esto resulta posible, utilizando preferentemente en la rotación una planta de las que fija nitrógeno. El enterrado de estas plantas (abono verde) incre-

 **LOS SISTEMAS DE LABRANZA REDUCIDA Y SIEMBRA DIRECTA PUEDEN AYUDAR A RETENER EL CARBONO EN EL SUELO, YA QUE EL TRABAJO DEL SUELO ACELERA LA OXIDACIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO** 

menta en mayor medida el contenido de nitrógeno en el suelo.

En resumen, las técnicas de labranza reducida, y la siembra directa cuando resulta posible, junto con el buen manejo de los residuos de las cosechas permiten aumentar el carbono retenido en el suelo.

**Producción y consumo de energía**

La producción de biomasa con fines energéticos para reemplazar parcialmente los combustibles de origen fósil, bien con plantas de las que se puede obtener alcohol o aceites vegetales, o para la obtención de carburantes de segunda generación (proceso Fischer-Tropsch) son alternativas que ahora ponen en práctica muchos países. También la recuperación del metano en los procesos de depuración de

residuos ganaderos con fines energéticos.

Asimismo, se potencia la reducción de los consumos de combustible en las operaciones agrícolas, y las cantidades de fertilizantes minerales utilizados en los cultivos, junto con la utilización en la agricultura de otras fuentes de energía renovables.

**■ A modo de conclusión**

Lo anteriormente expuesto pone de manifiesto la falta de precisión en la cuantificación de las emisiones de gases con 'efecto invernadero' derivadas de las actividades agrarias, y, también, las dificultades que existen para controlarlas, especialmente cuando, para reducir la emisión de un determinado gas, aumenta la de otro que tiene un efecto similar, si no peor.

Con esta situación, cuando estas estimaciones forman parte de los cálculos que se utilizan para cuantificar las emisiones de un país, en la determinación del grado de cumplimiento de los compromisos internacionales asumidos, la situación queda poco clara, hasta el punto que los 'derechos de emisión' se pueden superar porque nadie tiene capacidad para controlarlos, y son más un elemento político y especulativo que realista.

En consecuencia, la mejor forma para reducir las emisiones de gases de 'efecto invernadero', desde una perspectiva agraria, es realizando una agricultura eficiente, que pueda suministrar los alimentos que necesita una población en crecimiento exponencial. ■