

Esta actividad está alterando los ciclos globales del agua, carbono y nitrógeno

# Agricultura industrial y cambio global

Luis Lassaletta y José V. Rovira

*Cada vez es mayor la capacidad que tenemos los humanos para modificar nuestro entorno, hasta el punto que estamos alterando fuertemente muchos ciclos biogeoquímicos a escala planetaria. Buena prueba de ello son la profunda modificación que la agricultura industrial está generando sobre ciclos tan básicos para el mantenimiento de los ecosistemas como los del agua, nitrógeno o carbono.*



FOTO: DPTO. ENERGÍA USA

Nuestra especie ha sufrido un enorme crecimiento demográfico: desde unos pocos individuos en África hace más de 140.000 años hasta los más de 6.400 millones actuales distribuidos por todo el planeta. Este proceso ha ido asociado al desarrollo de tecnologías que han permitido una creciente e intensa explotación de los recursos naturales y una cada vez mayor capacidad de modificar la naturaleza. Los cambios que afectan a la estructura y función de los ecosistemas comenzaron a manifestarse a nivel local o regional (destrucción y degradación de paisajes, ríos, lagos y contaminación), pero actualmente ya modificamos también procesos ecológicos en los que intervienen grandes componentes del sistema planetario relacionado con la vida (Ecosfera), en un proceso que se conoce como el cambio global (1, figura 1).

Pero esta nueva capacidad que tenemos –tan peligrosa por sus potenciales consecuencias–, no puede explicarse sólo por que seamos muchos. Ha sido necesario que hayamos aprendido a manejar enormes cantidades de energía, ya que el uso que se hace por persona en la actualidad, aunque con un reparto desigual, es muy superior al que hacían los pueblos neolíti-

cos. Las consecuencias más notables son una dramática pérdida de biodiversidad y una modificación paulatina del clima, conocida como cambio climático (2).

Los científicos hablamos de una perturbación por acción antrópica de los ciclos biogeoquímicos y de los flujos de la energía. Un ciclo biogeoquímico es el que describe un elemento o compuesto químico (carbono, fósforo, agua, etc.) entre los diferentes compartimentos del planeta (atmósfera, hidrosfera, litosfera y biosfera) accionado por un motor alimentado tanto por la energía que surge del propio planeta como por la energía del Sol. Del estudio, comprensión y traslado adecuado de estos hechos a las políticas ambientales y económicas depende el futuro de los ecosistemas actuales, la biosfera, nuestras sociedades y, en última instancia, de la humanidad (3).

La agricultura, que es una actividad básica para el hombre y está en la base de nuestra expansión como especie, es a su vez una gran generadora de cambios. A lo largo del siglo XX tuvo lugar la transición desde los modelos agrícolas tradicionales (4) de autoabastecimiento y circuitos locales a uno industrial de mercado globalizado. La agricultura industrial se basa en la aplicación de un gran número insumos (pesticidas, fertilizantes y agua), en el empleo intensivo de maquinaria y en los subsidios económicos.

Este tipo de agricultura, aunque ha conseguido un aumento de productividad,

hoy ya es insostenible y las pérdidas que genera desde el punto de vista social, económico y ambiental son muy importantes. Entre ellas podríamos citar el abandono del medio rural, la pérdida de los conocimientos agrícolas tradicionales y de variedades autóctonas, la crisis de rentabilidad de muchas especies de cultivo, el *dumping* (subvención de algunas variedades de cultivo que permite vender por debajo del precio de producción), la destrucción de economías agrarias de los países desfavorecidos, erosión, destrucción de suelos, contaminación, despilfarro energético, alteraciones de la red hidrográfica y de los ciclos biogeoquímicos y, finalmente, una contribución al cambio y calentamiento globales.

En este artículo pretendemos describir brevemente algunas causas y consecuencias de la alteración de estos ciclos en relación con el modelo agrícola industrial, centrándonos en los ciclos más importantes; es decir, los del agua, el carbono y el nitrógeno.

## El agua

Una parte del agua que se evapora en los océanos llega a los continentes a través de las precipitaciones en forma de lluvia, nieve, granizo, neblinas, brumas y brisas marinas. Una vez en la superficie terrestre, el agua podrá evaporarse de nuevo, infiltrarse, discurrir sobre el terreno (escoorrentía) o ser transpirada por las plantas para volver a la atmósfera. El agua que

se infiltra o la de escorrentía alimentará ríos, lagos, humedales y acuíferos, siendo devuelta finalmente al mar y cerrándose así su ciclo. La cantidad de agua que tome cada camino y el tiempo de permanencia en cada compartimento dependerán de un gran número de factores, tanto naturales como antrópicos.

En la actualidad, el ciclo del agua está profundamente alterado. Más de la mitad de los 192 ríos más importantes del mundo se encuentran afectados por presas (5). Estos ríos sufren una importante explotación de agua que es utilizada en gran medida en los regadíos, actividad que emplea tres cuartas partes del agua dulce utilizada por el hombre. Las alteraciones que sufren los ecosistemas acuáticos, tanto por las detracciones como por el emplazamiento de las presas, son enormes, y se deben principalmente a la reducción y alteración del régimen de caudales. La agricultura supone también una contaminación de estos ecosistemas por pesticidas y fertilizantes.

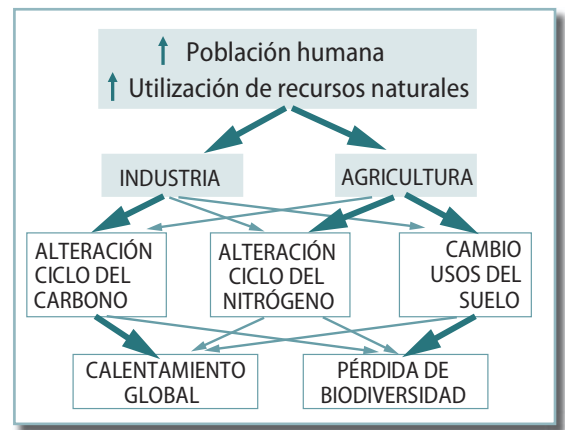
Los acuíferos son, después de los glaciares, la mayor reserva de agua dulce del planeta, por lo que han sido considerados como una alternativa de futuro frente a las cada vez más sobreexplotadas y contaminadas aguas superficiales. Pero aunque su volumen de agua sea grande, su tasa de renovación es muy baja (300 años de media). Esto supone que un acuífero sobreexplotado o contaminado puede tardar siglos o incluso milenios en recuperarse, quedando patente la insostenibilidad de su uso incontrolado.

Además, la sustitución de grandes extensiones de bosques por campos de cultivo puede implicar una alteración del clima a escala regional debida a un cambio del índice de reflexión de la luz solar (albedo) y de la tasa de evapotranspiración de la vegetación. Por último la sustitución indiscriminada de todo tipo de ecosistemas naturales por cultivos intensivos ocasiona una pérdida de materia orgánica de los suelos e implica una reducción de la tasa de infiltración del agua a favor de la escorrentía. El agua de escorrentía discurrirá más rápido por la superficie terrestre, propiciará fenómenos erosivos y se reducirá la recarga de acuíferos, disminuyendo en definitiva el tiempo de permanencia del agua en los ecosistemas continentales y su capacidad de almacenamiento. Además, en estos territorios aumentará considerablemente la posibilidad de inundaciones y fenómenos catastróficos, debido a la pérdida de la capacidad de amortiguación natural que tienen los ecosistemas eliminados.

## El carbono

A lo largo de la historia de nuestro planeta se han retirado de la atmósfera grandes cantidades de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). A través de la fotosíntesis, el  $\text{CO}_2$  es transformado en moléculas orgánicas que almacenan la energía emitida por el sol. Mediante la respiración, los seres vivos recuperan esa energía, devolviendo el  $\text{CO}_2$  a la atmósfera. El balance fotosíntesis-respiración no ha sido siempre igual a cero a lo largo de la historia de la Tierra dado que grandes cantidades de carbono quedaron atrapadas en la litosfera y la biosfera, constituyendo los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) y las rocas sedimentarias (calizas y dolomías fundamentalmente), o formando parte de la biomasa (materia orgánica viva) de los ecosistemas y de la necromasa (materia orgánica muerta) de los suelos y turberas.

El  $\text{CO}_2$  cumple una función esencial para nuestro planeta ya que, junto con el vapor de agua, es el principal responsable del efecto invernadero. Gracias a este fenómeno, parte de la energía que incide sobre la superficie terrestre procedente del Sol, y que posteriormente es devuelta a la atmósfera, es absorbida por los gases de efecto invernadero y contrarradiada hacia la tierra. Si no existiesen estos gases, la temperatura media del planeta sería mucho más fría. Por otra parte, si los seres vivos que han habitado la Tierra no hubiesen retirado tales cantidades de  $\text{CO}_2$  de la atmósfera, el efecto invernadero sería absolutamente desproporcionado. Es



**Figura 1. Componentes principales del cambio global. Otros componentes importantes son la dispersión de moléculas de síntesis, la alteración de otros ciclos (fósforo, azufre o metales pesados) y la introducción de especies alóctonas.** FUENTE: (1)

decir, que el efecto invernadero es vital para el mundo tal y como lo conocemos, siempre que se mantenga en unos rangos a los que se han adaptado los seres vivos que actualmente lo habitamos.

El problema surge cuando la intervención del hombre sobre el planeta supone una alteración grave del ciclo del carbono. Esta perturbación consiste en un flujo unidireccional de carbono desde los compartimentos de la litosfera y la biosfera, donde está acumulado, hacia la atmósfera, dado que el sumidero oceánico de carbono no puede retirarlo a la misma tasa a la que lo emitimos a la atmósfera. Las consecuencias evidentes son un incremento del efecto invernadero y la consecuente alteración del clima global. Los principales flujos antropogénicos de  $\text{CO}_2$  hacia la atmósfera se deben en orden de magnitud a tres factores: a la quema de combustibles fósiles; a la deforestación y sustitución de ecosistemas captadores y

**Muchas de aguas continentales están eutrofizadas por exceso de nitrógeno.** Foto: USDA.





1. La quema de bosques para obtener nuevos cultivos genera muchas emisiones de CO<sub>2</sub>.
2. Hay más carbono en los suelos que en forma de biomasa. FOTO: ECOLOGISTAS EN ACCIÓN.
3. El aporte de nitrógeno artificial es ya mucho mayor que el que se fija de forma natural. FOTO: ECOLOGISTAS EN ACCIÓN.

almacenadores de grandes cantidades de carbono por otros que no lo son; y a la pérdida (oxidación) de la materia orgánica del suelo (Figura 2). Los modelos de la agricultura industrial son activos en las tres vías.

Por un lado están íntimamente relacionados con las industrias agroquímicas que, como todas, son consumidoras de combustibles fósiles. Además, los productos son intercambiados en un mercado global, con lo que recorren grandes distancias entre el lugar de producción y consumo, con el gasto de combustibles subsiguiente asociado al transporte.

Además, grandes superficies de boques maduros están siendo deforestadas para ser sustituidas por campos de cultivo

o ganaderos. Así se pierde el potencial como sumidero de carbono de algunos de estos ecosistemas y se devuelve a la atmósfera el carbono allí retenido. Este cambio de usos del suelo y la sustitución de ecosistemas resultante todavía podría aumentar más, ya que con el tiempo muchos territorios agrícolas sometidos a una explotación intensiva quedan erosionados e infértiles, por lo que es necesario acudir a nuevos territorios.

Finalmente, el car-

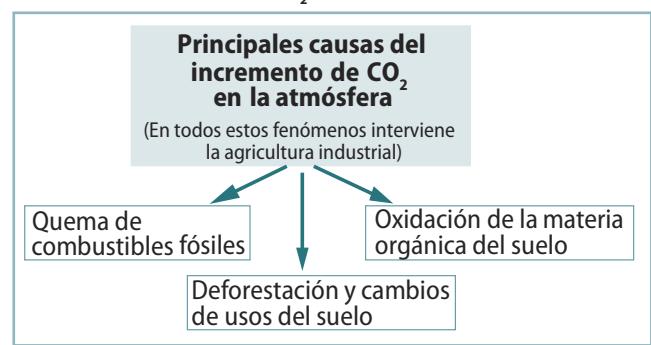
bono acumulado en el suelo en forma de necromasa es de una magnitud nada despreciable. En la biosfera hay más carbono acumulado en esta necromasa que en la biomasa. Los modelos agrícolas sostenibles cuidan y conservan sus suelos, ya que las cualidades y beneficios que producen unos suelos vivos, estructurados y equilibrados son incontables. La agricultura industrial, por el contrario, considera el suelo como un mero soporte. Con el tiempo, por causa de las labores agresivas y del empleo de agroquímicos, el suelo va perdiendo su materia orgánica, que se oxidará y volverá a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub> (6). Además, estos suelos quedarán muertos y resultarán muy vulnerables a la erosión y la desertización.

### El nitrógeno

El nitrógeno es un elemento imprescindible para la vida, ya que forma parte del ADN y de los aminoácidos que conforman las proteínas. La reserva fundamental de nitrógeno es la atmósfera. Allí el nitrógeno se encuentra en grandes cantidades en forma de nitrógeno molecular (N<sub>2</sub>). Aunque es muy abundante, esta forma no está disponible más que para algunos grupos de microorganismos que, mediante un proceso llamado fijación de nitrógeno, transforman el N<sub>2</sub> en amoníaco, que de esta forma queda a disposición, directa o indirecta, de lo demás grupos de seres vivos. Tras esto, el nitrógeno sufrirá distintas transformaciones mediadas por diversos grupos de organismos, formará parte de ellos y volverá a la atmósfera por un proceso llamado desnitrificación, realizado también por microorganismos.

La cantidad de nitrógeno en formas disponibles para una gran parte de grupos de seres vivos es muy escasa en la mayoría de los ecosistemas (incluidos los agrosistemas), que se han adaptado a gestionar esa escasez. Los modelos agrícolas tradicionales, no industriales, optimizan al máximo el nitrógeno disponible mediante rotaciones, integración de ganadería y agricultura, abonos verdes y diversas técnicas.

**Figura 2. La agricultura industrial participa en las principales causas del incremento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera.**

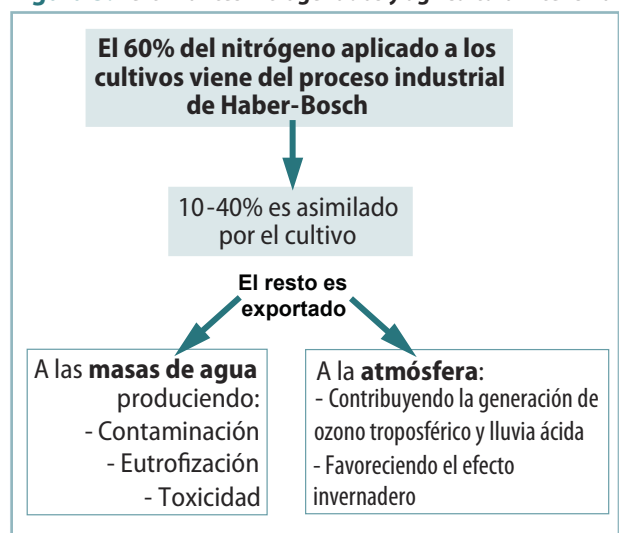




A principios del siglo XX se descubrió un proceso industrial de fijación del nitrógeno, llamado proceso de Haber-Bosch, que supuso una revolución en el mundo de los fertilizantes agrícolas, ya que se podía disponer de todo el nitrógeno necesario de forma industrial. Desde ese momento, y sobre todo desde el inicio de la *revolución verde* en los años 60, se han añadido a los cultivos, de forma indiscriminada y sin apenas control, enormes cantidades de fertilizantes nitrogenados. Actualmente, a nivel planetario, la fijación derivada de las actividades del hombre ya ha superado con creces a la biológica.

Del nitrógeno aplicado a los campos sólo es asimilado por los cultivos entre el 10 y el 40%: el resto es devuelto a la atmósfera o exportado a los ecosistemas adyacentes, generando un gran número de problemas ambientales (7). Según las condiciones ambientales, una parte del nitrógeno que vuelve a la atmósfera lo hace en forma de óxido nitroso ( $N_2O$ ), compuesto que es un potente gas invernadero.

**Figura 3. Fertilizantes nitrogenados y agricultura intensiva**



Asimismo, se emitirán otros compuestos nitrogenados que son responsables de la formación de ozono troposférico y de lluvia ácida. Otra parte del nitrógeno exportado llega a los cuerpos de agua y genera una alteración de los ecosistemas acuáticos (eutrofización) que no están adaptados a disponer de tales cantidades de un elemento que antes era limitante. También se producirán problemas de contaminación por nitratos, nitritos y amonio, lo que supone, además de la toxicidad que a determinadas concentraciones producen sobre los organismos acuáticos, grandes inversiones económicas para conseguir potabilizar el agua de consumo humano en los países desarrollados y un problema de salud pública en los desfavorecidos (Figura 3).

### Conclusión

En definitiva, la agricultura industrial y el sistema agroalimentario actual están produciendo una importante movilización de compuestos y elementos de un compartimento a otro de la Ecosfera. Esto supone el establecimiento de unas condiciones nuevas, a las que los ecosistemas actuales no están adaptados. Las consecuencias las observamos a todas las escalas y en su nivel más alto, la alteración de ciclos biogeoquímicos, estará detrás del cambio global en general y del calentamiento global en particular.

Es fundamental la lucha por garantizar el abastecimiento alimentario de todas las personas del planeta, pero ha de hacerse

de acuerdo con modelos que no comprometan el futuro (y en muchos casos ya el presente) de todos. Es posible encontrar modelos que reconcilien una productividad aceptable con prácticas ambientalmente sostenibles (8). Para conseguirlo en necesario que los ciudadanos y la administración estén informados de la situación actual, que se aumente el presupuesto en investigación y difusión, sin olvidar el gran aporte que los conocimientos tradicionales pueden hacer y considerando los paisajes agrícolas como ecosistemas integrados en un ecosistema global, en lugar de un mero generador de mercancías intercambiables en un mercado planetario.

Las realidades son totalmente diferentes en función de los países y regiones del mundo, por lo que las soluciones deberán particularizarse. Desde nuestro punto de vista, aunque sea una tarea ardua y difícil todavía es posible alcanzar modelos que permitan conseguir la soberanía alimentaria de los pueblos del mundo con garantías de futuro y perdurabilidad. Como hemos visto, la especie humana ha resultado ser un poderoso agente geoquímico, lo que convierte en necesario y urgente un cambio de actitud en nuestra relación con la naturaleza.

### Referencias

- VITOUSEK, P. M. 1994. Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology* 75(7): 1861-1876.
- IPCC, 2001: Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and NY, USA, 881 pp. [http://www.grida.no/climate/ipcc\\_tar/](http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/)
- SCHLESINGER, W. H. 2004. Better living through biogeochemistry. *Ecology* 85(9): 2402-2407.
- LASSALETTA, L. y M. RIVEROS. 2005. Paisajes agrícolas. Abandono e intensificación: de los paisajes culturales a la industrialización agrícola. *El ecologista* 42: 56-58.
- NILSSON, C., C. A. REIDY, M. DYNESIUS y C. REVENGA. 2005. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science* 308: 405-408.
- LAL, R. 2004. Agricultural activities and the global carbon cycle. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 70: 103-116.
- VITOUSEK, P. M., J. D. ABER, R. W. HOWARTH, G. E. LIKENS, P. A. MATSON, D. W. SCHINDLER, W. H. SCHLESINGER y D. G. TILMAN. 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecological Applications* 7(3): 737-750.
- ROBERTSON, G. P. y S. M. SWINTON. 2005. Reconciling agricultural productivity and environmental integrity: a grand challenge for agriculture. *Frontiers in ecology and the environment* 3(1): 38-46.