

El funcionamiento del suelo y el ciclo del carbono: entradas, salidas y stocks de carbono

El funcionamiento del suelo en cualquier ecosistema depende directamente del ciclo del carbono característico del mismo. El ciclo tiene unos stocks dinámicos entre los diferentes componentes del sistema: **las plantas, los otros organismos que intervienen en el ciclo, los materiales orgánicos y la materia orgánica del suelo**. Este ciclo del carbono **es modificado por una serie de factores: el balance mineralización/humificación, la exportación e importación de materiales orgánicos, y las perturbaciones**. El modelo de gestión agrícola, ganadera o forestal aplicado puede intervenir sobre el ciclo del carbono modificando estos factores en una dirección o en otra.

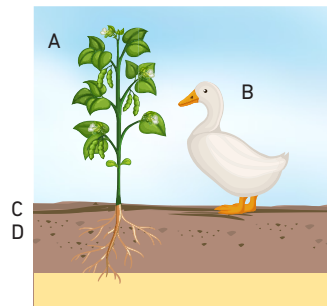
■ Componentes del sistema y su relación con los stocks de carbono

El suelo es el elemento principal de los sistemas biológicos terrestres. **El suelo requiere de carbono (materiales orgánicos) para mantener todos los procesos biológicos que lo caracterizan**. Así pues la gestión de un sistema biológico terrestre se puede entender como el manejo del ciclo de carbono, que **se inicia a partir del CO₂ fijado por la fotosíntesis de las plantas hasta llegar al suelo**. Cada sistema biológico terrestre presenta un **ciclo de carbono** característico, en el cual se establecen unos stocks dinámicos de carbono que se encuentra retenido temporalmente en **los diferentes componentes del sistema (Figura 1)**. La cantidad y estabilidad de estos stocks de carbono determina el funcionamiento del sistema y su capacidad **de secuestrar carbono de la atmósfera**.

a) Las plantas. Los hidratos de carbono que la planta produce y que no son utilizados en la respiración son la base del ciclo de carbono. Una parte de estos hidratos de carbono son liberados directamente por las raíces en forma de exudados para alimentar a la red trófica del suelo. Otra parte pasan a formar parte de diferentes estructuras de la planta (de reserva, de sostén, reproductivas) y finalmente acaban también incorporándose al ciclo del carbono del sistema. En algunos casos estas estructuras representan stocks de carbono pequeños y poco estables (como la parte aérea de hierbas anuales), pero en otros casos estas estructuras pueden representar stocks de carbono muy importantes y con una gran estabilidad, como es el caso de la madera de los bosques.

b) Los organismos que intervienen en el ciclo. Antes de llegar al suelo la materia orgánica producida por la planta puede pasar por diferentes organismos (herbívoros, carnívoros, descomponedores). Cada vez que interviene un nuevo organismo en el ciclo una parte del carbono es utilizado para obtención de energía para la respiración y liberado a la atmósfera en forma de CO₂. Otra parte del carbono se elimina en forma de excrementos y el resto pasa a formar parte de los diferentes elementos estructurales del cuerpo de los organismos hasta que estos mueren.

c) Los materiales orgánicos. Estos materiales son aportados principalmente por las raíces y restos de la parte aérea de las plantas, así como por los excrementos y cuerpos muertos de los diferentes organismos que



- A. Plantas
- B. Otros organismos
- C. Materiales orgánicos
- D. Materia orgánica suelo

Figura 1. Esquema de los diferentes componentes del sistema y su relación en el ciclo del carbono.

intervienen en el ciclo. Son materiales poco estables, degradables de manera rápida por microorganismos, con lo que pierde cerca del 90% de su composición. El hecho que se degraden rápidamente hace que estos materiales orgánicos representen un stock poco importante dentro del sistema.

d) La materia orgánica del suelo (MOS). Corresponde a los materiales orgánicos humificados. Presenta mayor estabilidad que la materia orgánica de la que proceden y representa un stock muy importante dentro del sistema. De hecho, es el principal reservorio terrestre de Carbono orgánico. Así, se necesitan por lo menos 10 kg de materiales orgánicos para formar 1 kg de MOS, que a su vez fija 3,7 kg de CO₂. Un 1% de MOS en el suelo representa 27 t MOS/ha, que son más de 90 t/ha de CO₂ secuestrado.

■ Factores que modifican los stocks de carbono del sistema

Hay una serie de factores que modifican el ciclo del carbono, y en especial la dinámica del carbono en el suelo, y que por tanto repercuten en el funcionamiento y capacidad de almacenaje de carbono del sistema.

• **Balance mineralización/humificación de los materiales orgánicos en el suelo.** El suelo es el componente con mayor capacidad de retención de carbono del sistema. Por ello, todos los factores que favorecen una mayor mineralización y pérdida de materia orgánica del suelo reducen el stock global de carbono del sistema. Entre ellos están los factores que regulan el balance entre mineralización y humificación de la materia vegetal y, en general, las diferentes intervenciones que reducen la materia orgánica del suelo.

• **Exportación de materiales orgánicos fuera del sistema (Figura 2).** Si una parte de los hidratos de carbono producidos



Figura 2. La extracción de madera es una manera de exportar la materia orgánica fuera del sistema. Foto: MJ.Broncano.

por la planta son sacados del sistema (por ejemplo, por el aprovechamiento agrícola, ganadero o forestal), esto produce una pérdida global del stock de carbono. Cuando esta exportación es pequeña, el sistema tiene capacidad de recuperarse de manera natural. Pero si la exportación es importante, se puede producir una pérdida global de carbono del sistema, especialmente en el suelo, que afecta al stock y a la actividad biológica del suelo y provoca un empobrecimiento progresivo del sistema.



Figura 3. Tractor esparciendo estiércol. Foto: José Cárceles, CC-BY-NC. (Fuente: Flickr).

- **Importación de materiales orgánicos externos al sistema.** El sistema de agricultura actual depende de la entrada de carbono externa ligada al uso del petróleo (**combustible y agroquímicos**), sin la cual el sistema no funcionaría (**Figura 3**). También se hacen entradas externas importantes a base de **purines**. En ambos casos se trata de entradas externas costosas y que no representan ninguna mejora de la capacidad productiva del propio sistema (no alimenta la red trófica ni crea hábitat del suelo) ni del stock de carbono. En otros casos la importación de materiales orgánicos externos se hace con el objetivo de **incorporar materia orgánica para mejorar el hábitat y la alimentación** de la red trófica, aumentando el stock de carbono del suelo. Esta es la situación que se produce, por ejemplo, cuando se está haciendo una transición del sistema de agricultura convencional al regenerativo.

- **Perturbaciones.** Las perturbaciones normalmente representan una pérdida abrupta de carbono del sistema. El caso más claro son los incendios (**Figura 4**). Las emisiones brutas de carbono de **los incendios son enormes**, equivalen al 25% de las emisiones globales anuales de los combustibles fósiles. Los **impactos de otras perturbaciones** como las sequías extremas o las inundaciones sobre los stocks de carbono del sistema son menores, ya que la liberación directa de CO₂ es menor o se prolonga más en el tiempo.

El modelo agrícola regenerativo: los stocks de carbono y el cambio climático

Todas las plantas secuestran carbono en la fotosíntesis, que este carbono secuestrado tenga efecto en la reducción del CO₂ atmosférico dependerá del ciclo que siga este carbono y de que pase a formar parte de stocks más o menos estables. **El stock potencial de carbono más importante de los sistemas agrícolas es el suelo.** Un sistema agrícola, como el convencional, que destruye la estructura del suelo y favorece la mineralización de la materia orgánica del suelo, libera a la atmósfera el carbono que estaba retenido en el suelo (aumenta el efecto del cambio climático) y elimina el papel de reservorio de carbono que el suelo tiene en condiciones naturales. Además, este modelo consume una gran cantidad de petróleo ligado a la utilización de la maquinaria y los agroquímicos.

Una agricultura que preserva la estructura del suelo y alimenta la red trófica del suelo disminuye carbono de la atmósfera y lo introduce en el suelo, volviendo a convertir el suelo en un gran reservorio de carbono. De hecho, según el Rodale Institute, si gestionáramos todas las tierras de cultivo y pastos del mundo según el modelo de agricultura orgánica regenerativa, podríamos secuestrar más del 100% de las emisiones anuales actuales de CO₂.



Figura 4. Estado del bosque después del incendio de 1994 en el Bages y Berguedà.

■ Modelo de gestión y ciclo de carbono

El modelo de gestión agro-silvo-pastoral interviene sobre un sistema natural modificando el ciclo del carbono en sus diferentes fases: produciendo una **extracción de carbono** (aprovechamiento), modificando las **condiciones del retorno al suelo**, la **capacidad de almacenar carbono** en el suelo, y haciendo una aportación de carbono externo al sistema (petróleo y agroquímicos). En general **el modelo convencional** crea ciclos largos, con salida y retorno del carbono que no están conectados, y **elimina los stocks más importantes: el suelo y los árboles de grandes dimensiones.** **Un modelo de gestión regenerativo** debe conseguir que los aprovechamientos no afecten significativamente a los procesos biológicos del suelo y, por lo tanto, a su potencialidad productiva, al tiempo que **reduce al máximo las aportaciones externas y mantiene los principales stocks de carbono.**