



Ana Rey



Omar Flores*

El papel de la **luz** y la **temperatura** en la **descomposición** de la **hojarasca**

Otoño en la Sierra de Madrid /
Luis M. Carrascal

* La tesis que Omar Flores está realizando en el departamento de Biogeografía y Cambio Global del MNCN, profundiza en los mecanismos que se explican en el artículo.



Un estudio recientemente publicado por un equipo internacional con participación de científicos del MNCN, identifica un nuevo proceso de descomposición de la hojarasca en zonas áridas donde la luz y la temperatura juegan un papel importante que interacciona con la descomposición microbiana. Variables como la temperatura, la radiación o la humedad ambiental se podrán incorporar a los modelos de descomposición existentes para mejorar las predicciones y entender cómo estos ecosistemas responderán ante un clima cambiante.



La llegada del otoño

Seguro que has paseado en otoño por un bosque y disfrutado de los maravillosos colores ocres de sus hojas mientras sentías el crujir al pisar el manto que forman en el suelo. Muchos árboles nos anuncian la llegada del otoño cambiando de color y desnudándose para recibir al invierno.

Esos maravillosos colores se deben a que la clorofila, el pigmento que confiere el color verde a las hojas, se retira con la llegada del otoño. La clorofila absorbe los rayos rojos y azules de la luz del sol y refleja las ondas verdes, dando ese color a las hojas. Cuando la clorofila comienza a descomponerse, los carotenoides las vuelven amarillas. Estos pigmentos contribuyen en menor medida a la fotosíntesis y absorben también los rayos de sol, pero una gama diferente de rayos de luz ya que captan los azules y verdes reflejando los amarillos. Cuando estos pigmentos también desaparecen, las hojas se ponen de color marrón, como las de los robles o plátanos. Los arces, por ejemplo, tienen unos pigmentos llamados antocianinas que absorben rayos azules y verdes y reflejan una gama de colores escarlatas o incluso púrpuras que les confieren ese maravilloso color rojizo.

“La hojarasca sirve de alimento a los millones de microorganismos que habitan el suelo. Microorganismos que la descomponen liberando CO₂ y permitiendo la incorporación de nutrientes y de carbono en el suelo”

La clorofila es el pigmento más abundante en periodos de crecimiento como la primavera y el verano. Sin embargo, no es un compuesto muy estable. Cuando los días se acortan y las temperaturas bajan, la clorofila se descompone y los pigmentos verdes se degradan.

Esta desaparición de los pigmentos foliares viene determinada por las hormonas de crecimiento cuyos niveles dependen de la longitud del día (fotoperiodo) y de la temperatura. Con la llegada de la primavera las temperaturas y la duración del día aumentan y los niveles de hormonas de crecimiento (auxinas, citoquininas y giberelinas) también. Por el contrario, al acortarse los días y disminuir las temperaturas en otoño, son los ni-



Castañar en el que destaca un Olmo de montaña / Ana Rey



Hojas caducifolias de arce japonés palmeado, *Acer palmatum*, perennes de pinsapo, *Abies pinsapo* y marcescentes de mejojo, *Quercus pyrenaica*, en otoño / Ana Rey

veles de las hormonas que inhiben el crecimiento (etileno y ácido abscísico) los que aumentan en la base de las hojas (peciolo) causando que las células se debiliten y finalmente la hoja caiga (abscisión). Antes de caer, el árbol reabsorbe varios de los compuestos foliares como el nitrógeno, elemento esencial para la planta.

Los árboles que pierden las hojas al llegar el otoño son las plantas caducifolias. Otras especies que crecen en climas con inviernos duros y fríos no las pierden al llegar el otoño; son las especies de hoja perenne o perennifolias, como pinos, abetos, encinas o alcornoques entre otros. En este caso las hojas son más duraderas (más de dos años) y se renuevan a lo largo de todo el año. Las especies marcescentes mantienen las hojas secas en el árbol durante el invierno hasta que aparecen las nuevas en primavera. Es el caso de melojos y quejigos, o del haya. Las plantas herbáceas y arbustos funcionan de la misma manera y existen varias estrategias. Algunos son perennes y otros anuales o bianuales. En todos los casos las hojas se renuevan y caen al suelo

“Los depósitos de hojarasca y de materia orgánica del suelo son el segundo reservorio en el ciclo global de carbono, el primero son los océanos”

permitiendo el ciclado de nutrientes y participando en los diferentes ciclos biogeoquímicos.

La descomposición de la hojarasca

Las hojas muertas constituyen una fuente importante de nutrientes y de materia orgánica para el suelo. Son el alimento para los millones de microorganismos que lo habitan y que descomponen la hojarasca liberando CO₂ y permitiendo la incorporación de nutrientes y de carbono en el suelo.

Los reservorios de hojarasca y de materia orgánica del suelo constituyen una parte importante del carbono de los ecosistemas terrestres (2500 gigatoneladas!). Contiene más de tres veces la

cantidad de carbono que hay en la atmósfera (750 Gt) y en la vegetación (610 Gt), es decir, son el segundo reservorio en el ciclo global de carbono, el primero son los océanos (38000 Gt). Además, la rápida tasa de renovación de la hojarasca hace que su descomposición sea uno de los componentes más dinámicos de este ciclo (Figura 1). Junto con la descomposición de la hojarasca, la descomposición microbiana de la materia orgánica del suelo es uno de los procesos que genera más dióxido de carbono en los ecosistemas terrestres, un flujo importante de carbono a la atmósfera. Por tanto, se trata de un proceso clave que determina la disponibilidad de nutrientes y el almacenamiento de carbono en los ecosistemas. Entender qué factores controlan la descomposición de hojarasca, su dinámica temporal, así como su respuesta al cambio climático, son aspectos cruciales para poder predecir cómo los ecosistemas terrestres y en general, el ciclo global del carbono, responderán a cambios futuros en el clima.



Las hojas secas cubren el suelo de un castañar / Luis M. Carrascal



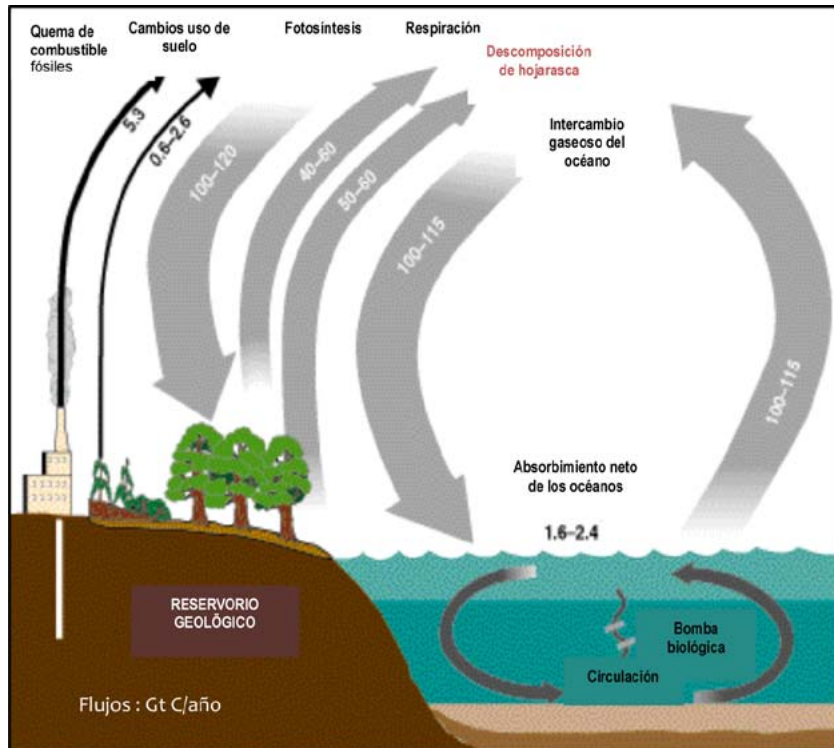


Figura 1: Principales flujos de carbono del planeta. / IPCC 2013

Factores que controlan la descomposición en los ecosistemas áridos

Tradicionalmente, los factores que se han considerado determinantes en la descomposición de la hojarasca son los factores ambientales, como la temperatura o la humedad del suelo —que regulan la velocidad a la que actúan los microorganismos o microbiota edáfica— y la composición del material vegetal—la calidad de lo que “come” la microbiota—, ya que ambos ejercen una fuerte influencia sobre la actividad de los microorganismos

descomponedores. Por esta razón, los modelos predictivos, en los que se basan los investigadores para estudiar las dinámicas del carbono en los ecosistemas terrestres, utilizan estas variables como principales motores de descomposición.

Sin embargo, estos modelos infraestiman sistemáticamente las tasas de descomposición observadas en ecosistemas áridos y semiáridos. A pesar de que ocupan cerca de la mitad de la superficie del planeta, los ecosistemas áridos han sido mucho menos estudiados que los templados o tropicales.

“Un reciente estudio llevado a cabo en un gradiente a lo largo del Mediterráneo demuestra que el 54% de la descomposición se lleva a cabo por los microorganismos, el 34% por fotodegradación y el 12% restante se debe a termodegradación”

Los sistemas cálidos áridos, como los que se encuentran en la península ibérica, se caracterizan por las elevadas temperaturas y escasa disponibilidad de agua. Son muy susceptibles a la degradación del suelo, con lo que se prevé que los cambios en los patrones de precipitación y un aumento de las temperaturas conllevarán importantes cambios en su dinámica y estructura. Investigar los factores que controlan la descomposición de la hojarasca en estos ecosistemas, así como cómo responderán a los cambios previstos en el clima, es esencial para mejorar nuestro entendimiento del ciclo de nutrientes y de carbono y, en última instancia, para tomar las medidas necesarias que permitan la adaptación a los futuros cambios en estas zonas.

Recientes estudios de investigación han identificado procesos y factores que juegan un papel importante en la descomposición de la hojarasca en zonas áridas. En concreto, la descomposición a través de la luz o fotodegradación, proceso mediante el cual la radiación rompe directamente los compuestos de materia orgánica liberando CO₂, bien mediante mineralización fotoquímica o mediante la facilitación a las poblaciones microbianas. La mineralización fotoquímica libera directamente CO₂ al producir la rotura por exposición a la radiación solar de los compuestos de la materia orgánica y se ha demostrado que ocurre en ausencia de actividad microbiana. Por su parte, la facilitación microbiana se produce porque esa rotura por irradiación solar de compuestos de materia orgánica en **compuestos más pequeños, facilita su posterior descomposición microbiana**. Este proceso como tal fue reconocido hace más





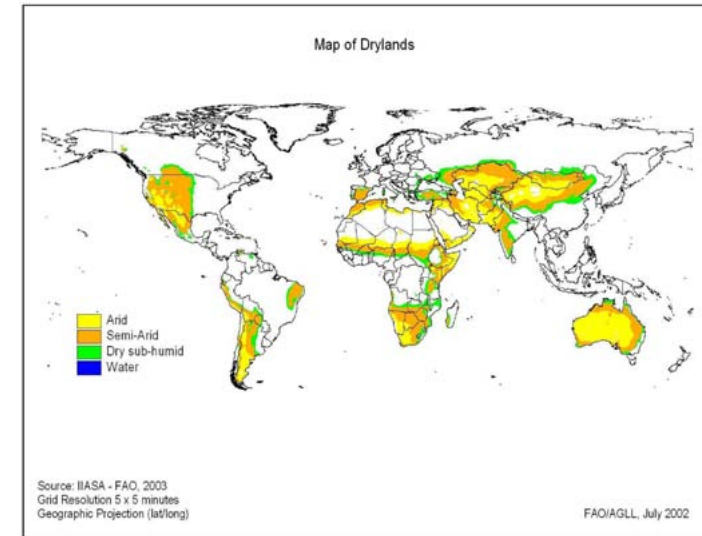
Un bosque mixto durante el cambio de estación / Luis M. Carrascal

de cuarenta años como mecanismo de **descomposición de la hojarasca en ambientes expuestos a elevados niveles de radiación solar**. Aún así, su contribución al proceso de descomposición en sistemas áridos ha recibido atención sólo recientemente, y por tanto no se sabe demasiado aún sobre el papel y la relevancia que juega en estos ecosistemas.

Otro proceso recientemente identificado es la descomposición de la materia orgánica a temperaturas superiores a 30°C (comunes en estos ambientes) o **termodegradación**, por la cual los enlaces se rompen liberando dióxido de carbono y otros compuestos volátiles.

Además de estos procesos abióticos de descomposición, existen factores que tampoco han recibido mucha atención y que contribuyen a la

“A pesar de que ocupan cerca de la mitad de la superficie del planeta, los ecosistemas áridos han sido mucho menos estudiados que los templados o tropicales”



Mapa de las zonas áridas y semiáridas del mundo. / FAO (2003)

descomposición microbiana. Un factor comúnmente utilizado para predecir la actividad microbiana es la humedad del suelo. Sin embargo, en climas áridos, existen otras fuentes de agua, incluso en los periodos más secos, como el agua que existe en la atmósfera, o humedad relativa del aire, y el rocío. Un grupo de investigadores israelíes publicó un trabajo que demuestra que los microorganismos son capaces de utilizar estas fuentes de agua, activarse y descomponer la hojarasca, por lo que **su actividad durante el verano es muy superior a lo esperado**.

Un nuevo mecanismo de descomposición

Dado que no está claro hasta qué punto estos procesos contribuyen a la descomposición en climas áridos, un equipo de investigación formado

por investigadores de la Universidad de Jerusalén, el *Desert Research Institute* de Nevada, la Universidad della Tuscia y el MNCN, realizó **un estudio a lo largo de la cuenca mediterránea** para entender la importancia relativa de los procesos de descomposición, bióticos y abióticos, en varias especies de herbáceas en Israel, Italia y España. En el trabajo, recientemente publicado en la revista *Global Change Biology*, manipularon la cantidad de humedad ambiental, la temperatura y la cantidad de luz que recibe la hojarasca en varias especies herbáceas, los investigadores descubrieron que la dinámica de descomposición es más compleja de lo considerado hasta ahora, identificando un nuevo proceso. Ello fue posible gracias a que por primera vez el estudio investigó las tasas de descomposición midiendo los flujos directos de dióxido de carbono (en vez de pérdida de masa como se hace tradicionalmente en estudios





Hayedo de Peña Santiago / Luis M. Carrascal

de descomposición), a escala diurna (y no estacional o anual como es habitual), y durante el periodo seco (cuando se asume que en estas zonas la descomposición es mínima o nula).

Hasta ahora se creía que, debido a la escasa humedad, la descomposición durante el verano era mínima. El estudio demuestra que incluso durante el periodo estival la humedad relativa es capaz de

“Entender qué factores controlan la descomposición de hojarasca es fundamental para predecir cómo responderá el ciclo global del carbono a cambios futuros en el clima”

estimular la actividad microbiana durante la noche mientras que por el día, al salir el sol, la hojarasca se seca rápidamente y la actividad microbiana se detiene. Durante el día, las altas dosis de radiación ultravioleta y temperatura características de estos climas, son los principales agentes de descomposición y el proceso principal de descomposición de la hojarasca es la fotodegradación (o descomposición a través de la luz) y la termodegradación (o descomposición a través de las altas temperaturas características de estas zonas). El estudio concluye que el 54% de la descomposición se lleva a cabo por los microorganismos durante la noche, el 34% por fotodegradación durante el día, y la cantidad restante se debe a la termodegradación. Además, el estudio demuestra que estos

“Han descubierto que, en verano, la humedad relativa del aire es una fuente de agua capaz de estimular la actividad microbiana durante la noche”



procesos bióticos (descomposición microbiana) y abióticos (fotodegradación y termodegradación) no son independientes, sino que interactúan en un proceso de retroalimentación positiva, por el cual la hojarasca expuesta a radiación durante el día favorece la descomposición microbiana durante la noche, así como la que ha sido descompuesta durante la noche se degrada más fácilmente por la luz y la temperatura durante el día.

Este fascinante y complejo mecanismo, en el que diferentes procesos y factores controlan la descomposición en ecosistemas áridos, supone un importante avance en el entendimiento de este proceso.

Aunque se desconocen los mecanismos de retroalimentación entre los procesos bióticos y abióticos, las investigaciones futuras deberán tener en cuenta estas interacciones con el fin de incorporarlas en los modelos actuales del ciclo del carbono en ecosistemas terrestres, que nos ayuden a minimizar los efectos del cambio global en los ecosistemas mediterráneos.

¹ Una gigatonelada (Gt) son mil millones de toneladas.