

La basura y el ciclo de los materiales

La circulación de los materiales en los ecosistemas es un concepto algo abstracto y difícil de enseñar. En el ciclo natural de los materiales, sustancias como carbono, agua, nitrógeno o calcio se transfieren sucesivamente de vegetales a herbívoros, carnívoros, el suelo y la atmósfera. Durante ese pasaje también se transforman. Ese ciclo resume la vida.

Algunas de esas transferencias, como el ingreso del carbono atmosférico en los vegetales por fotosíntesis, reciben importante atención en los programas escolares de ciencias naturales, aun tratándose de procesos complejos. En cambio, otros pasos del ciclo de los materiales, como la descomposición, que son tan cruciales como la fotosíntesis, son objeto de bastante menos atención y, por lo tanto, se entienden menos. A esto se agrega que la descomposición ocurre en la oscuridad del suelo y la protagonizan principalmente microorganismos invisibles al ojo humano. Como resultado, el fenómeno resulta poco conocido para la mayoría.

Sin embargo, la transformación de los residuos vegetales y animales durante la descomposición es la pieza fundamental que pone los nutrientes contenidos en esos residuos nuevamente a disposición de las plantas. Y también es la razón de que no vivamos sumergidos en montañas de desechos.

En esta nota utilizaremos un problema serio de las sociedades modernas, el de los residuos sólidos urbanos, para ilustrar el proceso permanente de circulación de los materiales en los ecosistemas terrestres, con especial énfasis en la descomposición de los residuos.

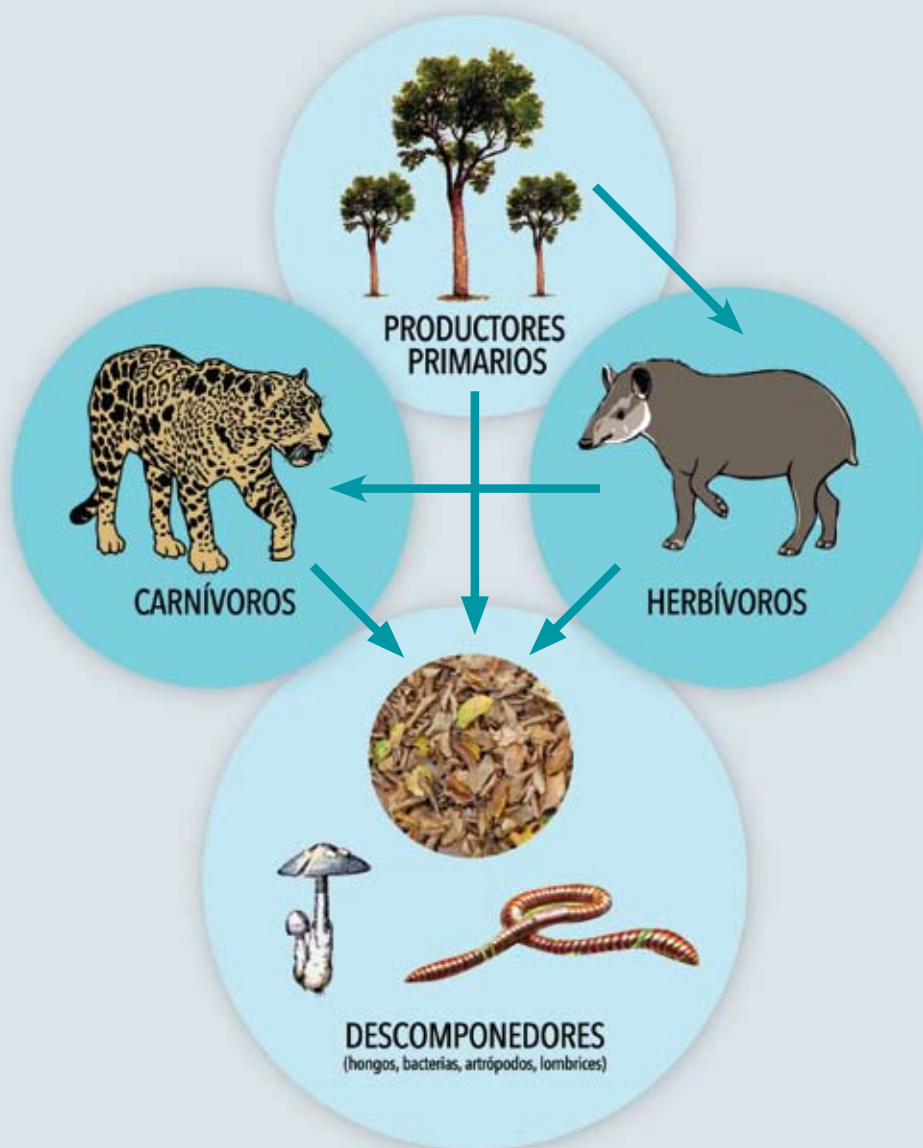


Figura 1. Circulación de los materiales en los distintos componentes de un ecosistema de bosque.

¿DE QUÉ SE TRATA?

Cómo aprovechar en la escuela la abrumadora presencia de basura doméstica para que los alumnos comprendan los ciclos de los materiales en los ecosistemas.

Empecemos por algún lado

Un caso utilizado con frecuencia para ilustrar el ciclo de los materiales es un ecosistema de bosque o de selva, de los que en la Argentina son ejemplos las selvas misionera o de las yungas, y los boques del chaco o de los Andes patagónicos. En esos ecosistemas los árboles son la forma dominante de vegetación y proveen alimento y refugio a un diverso espectro de animales (artrópodos, aves, mamíferos u otros). Uno de los elementos notables de selvas y bosques es la acumulación sobre el suelo de un denso manto de hojas muertas u hojarasca, utilizado como alimento y refugio por animales de pequeño porte (figura 1).

Si bien el ciclo de los nutrientes se puede comenzar a describir por cualquiera de sus etapas, resulta útil hacerlo por la fotosíntesis, que es bastante familiar para la mayoría de la población escolar. La fotosíntesis, por otro lado, origina el más importante ingreso de carbono atmosférico al bosque, por lo que indudablemente es un buen punto de partida.

La fijación del dióxido de carbono del aire en las plantas y su transformación en azúcares durante la fotosíntesis ocurre a expensas de estructuras celulares que requieren nutrientes minerales para su funcionamiento. Esos nutrientes minerales –nitrógeno, fósforo, calcio, potasio y muchos otros–, a diferencia del carbono, ingresan en la planta por las raíces, junto con agua, en un líquido que se llama *solución del suelo* y que no es otra cosa que agua con sales disueltas.

Si imaginamos un bosque caducifolio, en el que los árboles renuevan sus hojas periódicamente (generalmente en otoño), parte de los materiales fijados en sus hojas cae cada año al suelo en forma de hojarasca. Otra parte, en cambio, es movilizada en los procesos internos de la planta, y termina en estructuras como el leño, donde permanece almacenada por años. Las hojas que envejecen, en un proceso natural que se denomina *senescencia foliar*, caen al suelo, donde son trituradas por una variada comunidad de insectos para la cual constituyen fuente de alimento. Ese es el comienzo del proceso de descomposición, que continúa a cargo de un elenco también sumamente variado y numeroso, principalmente de hongos y bacterias. Todos esos organis-

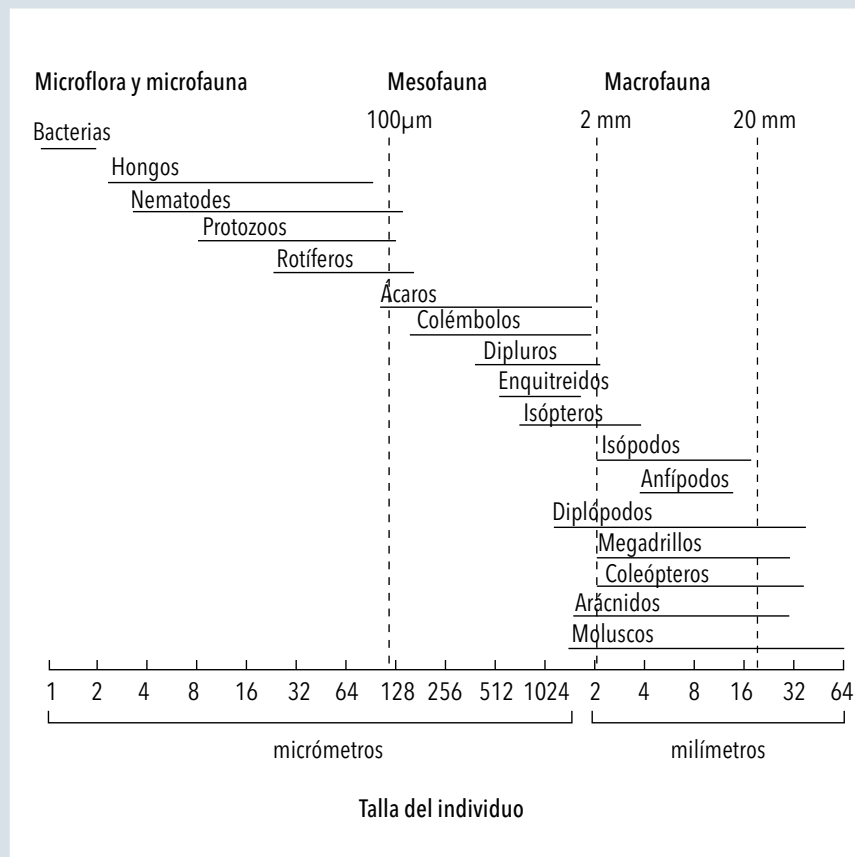


Figura 2. Tipos representativos y tamaños de los organismos del suelo que integran la comunidad de descomponedores o comunidad detritívora. Adaptado de Swift *et al.*

mos conforman la comunidad de descomponedores o comunidad detritívora que habita el suelo (figura 2).

Si volvemos a las hojas de los árboles, antes de senescer podrían haber sido consumidas por algún herbívoro que, a su vez, podría llegar a ser presa de un carnívoro. En ambos casos, parte de los materiales que estaban originalmente en la hoja consumida muy probablemente terminen en el suelo, en forma de heces o cadáveres de los herbívoros o sus predadores.

Lo descrito hasta aquí no es otra cosa que la transferencia de materiales –y la energía contenida en ellos– a lo largo de sucesivos eslabones de una cadena trófica. Esos eslabones son, por lo menos, tres: (i) un productor primario, el árbol; (ii) un consumidor primario, el herbívoro, y (iii) un consumidor secundario, el carnívoro. Si bien la hojarasca conforma la porción por mucho mayoritaria de los restos depositados sobre el suelo, cada uno de esos eslabones aporta materia para el último, que cierra el ciclo: el de la descomposición, a cargo de los descomponedores.

¿Qué ocurre una vez en el suelo?

En el suelo, los restos son presa de una enorme diversidad de organismos, desde artrópodos hasta hongos y bacterias. Esos descomponedores, igual que los herbívoros y carnívoros, son *heterótrofos*, porque se alimentan de otros organismos pero, a diferencia de ellos, lo hacen principalmente de tejidos muertos. Aprovechan la energía y los nutrientes contenidos en esos tejidos y, como cualquier otro organismo, incorporan una parte a sus propios tejidos para mantenerse y crecer, y excretan el resto. Tanto las heces y otros residuos metabólicos, o los organismos cuando mueren, se incorporan al suelo, donde se descomponen.

Entre los descomponedores hay microorganismos que, entre otras, cumplen una función muy especial. Se trata de hongos y bacterias que transforman los nutrientes contenidos en moléculas orgánicas de los tejidos muertos, como proteínas, celulosa y otras, en moléculas inorgánicas, por ejemplo, en sales de nitrógeno

o de fósforo. Estas moléculas inorgánicas pasan a la solución del suelo, desde donde las plantas pueden absorberlas nuevamente por sus raíces y transformarlas, una vez más, en parte de su estructura.

Este proceso, que experimentan el carbono y los nutrientes minerales, se denomina *mineralización*, por su vuelta a las formas minerales. Una diferencia entre el carbono y el resto de los nutrientes, que no trataremos aquí, es que con la mineralización el carbono, en lugar de volcarse a la solución del suelo, se transforma en gas -dióxido de carbono-, vuelve a la atmósfera y queda nuevamente disponible para que las plantas lo capturen durante la fotosíntesis.

Es así que la mayor parte de los minerales que consumimos con los alimentos y desechamos en nuestros procesos metabólicos y fisiológicos está literalmente dando vueltas en el ecosistema desde hace miles de años. No obstante, durante estos ciclos parte de los nutrientes queda retenida en reservorios del suelo que se renuevan muy lentamente; podríamos decir que quedan secuestrados allí en forma de materia orgánica.

La materia orgánica constituye una porción usualmente pequeña de los suelos (no supera el 5%), pero es muy importante ya que, combinada con las arenas, los limos y las arcillas forma una matriz por la que circulan el aire y el agua. El suelo constituye el sustrato que alberga las raíces de las plantas y las semillas que caen y germinan en él. Sobre la superficie del suelo y en los primeros centímetros de profundidad ocurre la descomposición de los residuos y la mineralización de los nutrientes a que nos hemos referido. En última instancia, el suelo es el soporte de la vida en la Tierra.



Figura 3. Compostera comunitaria en un parque público de Rennes, la capital de Bretaña, en Francia. La municipalidad invita a los vecinos a llevar sus residuos y les provee instrucciones precisas y un rastrillo para mezclarlos. Foto Federico Weyland

De esta manera, en el silencio y la oscuridad del suelo los organismos descomponedores no solo transforman la materia muerta en formas nuevamente disponibles para las plantas; también evitan la acumulación creciente de residuos, que impediría la vida tal como la conocemos.

Los residuos urbanos tomados como ejemplo

Si bien los estudiantes pueden entender razonablemente la descripción que hemos hecho de la circulación de los materiales, necesitan hacer un esfuerzo de abstracción considerable para comprender algunos pasajes. En el aula ese esfuerzo de abstracción muchas veces empaña la motivación por aprender, un ingrediente fundamental del proceso de enseñanza-aprendizaje.

¿Podemos hacer algo para que la circulación de los materiales por el ecosistema, y particularmente lo que ocurre en el suelo, sea más fácil de asimilar? Muchos docentes sospecharán que transportar mentalmente a los alumnos a la penumbra de un bosque probablemente no proporcione una motivación suficiente.

Si ese transporte fuera real y no imaginario, y los estudiantes pudieran apreciar concretamente la realidad de un bosque o una selva en una salida de campo o un viaje de estudios, seguramente su curiosidad y su interés por aprender aumentarían considerablemente.

Pero en la Argentina -y en muchos países- no son demasiados los estudiantes que viven en zona de bosques o selvas, ni son tantos los que pueden emprender viajes de estudios a zonas lejanas. Una posibilidad interesante, sin embargo, es valernos de un problema ambiental que todos de algún modo conocemos y que está instalado en la preocupación de las sociedades urbanas modernas: los residuos domésticos sólidos.

Solo la ciudad de Buenos Aires, con sus aproximadamente tres millones de habitantes, genera una inimaginable cantidad de residuos (véase Semmartin *et al.*, 'Los residuos sólidos urbanos, 200 años de historia porteña', CIENCIA HOY, 20, 116: 52-64, abril-mayo de 2010). Cada ciudadano, en promedio, produce aproximadamente 1kg diario de residuos. No es necesario un cálculo complicado para entender que en esta ciudad cada día al-

guien debe ocuparse de darle un destino final, como mínimo, a unos tres millones de kilogramos de residuos.

De ese kilogramo desechado diariamente por cada habitante, algo más de la mitad está compuesto de desperdicios de alimentos, mientras que el resto es un conjunto de materiales potencialmente recuperables por la industria del reciclaje, como plástico, cartón, papel, vidrio, metal y otros. Los restos de alimentos son muchos, lo que convierte en relevante lo que hagamos con ellos. Además, nos permiten estudiar la descomposición de los residuos y conocer mejor esa parte oscura del ciclo de los materiales.

Compostaje en el aula

El compostaje es la disposición y el acondicionamiento de los residuos orgánicos que favorezca su descomposición. Este proceso puede ser apreciado por los alumnos si participan en una experiencia de compostaje, que puede requerir un tiempo de dos o tres meses y tener lugar en cualquier momento del año. El compostaje casero es una práctica ancestral que sigue vigente en muchos vecindarios rurales y periurbanos y que, con algunos recaudos, también puede practicarse en ambientes netamente urbanos, en patios, balcones, terrazas o jardines (figura 3).

La versión más sencilla podría circunscribirse simplemente a observar y analizar el proceso de descomposición. Versiones más refinadas pueden incluir comparaciones entre distintos materiales, y la comprobación de la hipótesis de que la composición química de los distintos residuos afecta la velocidad de la descomposición. Por ejemplo, podría compararse la descomposición de materiales más recalcitrantes, como cáscaras de huevo o ramas de arbustos, en cuyos tejidos predominan sustancias complejas y difíciles de atacar por los descomponedores, con restos de hojas verdes o césped recién cortado, que están mayormente formados por celulosa y otras sustancias relativamente solubles y de más fácil descomposición. Otra hipótesis a probar podría relacionarse con el tamaño de los residuos, picando a cuchillo o moliendo residuos de diferente tamaño inicial (figura 4).

En cualquiera de sus versiones, se trata de invitar a los alumnos a traer restos orgánicos compostables de sus casas, armar las

mezclas que se descompondrán y llevar un registro de las proporciones de cada tipo de material que utilizan. La indicación de qué restos pueden traerse debe ser precisa: solo cáscaras u hojas verdes sin cocer ni condimentar, restos de poda y corte de césped del jardín. Deben excluirse restos animales de cualquier tipo, excepto cáscaras de huevo, lo mismo que partes carnosas de frutas y hortalizas, y todo vegetal cocido o condimentado. Si bien todos estos desperdicios son técnicamente compostables, durante el proceso liberan olores desagradables y atraen roedores.

Como composteras se pueden utilizar botellas plásticas descartables cortadas por la mitad y perforadas en su base (figura 4). Son preferibles los envases más grandes, de 4 o 6 litros. La cantidad de recipientes depende de los tratamientos a evaluar, pero conviene hacer la experiencia con cuatro o cinco de ellos para cada tipo de tratamiento, con el fin de obtener varios valores para cada uno (repeticiones). Esto, además de proveer una mejor estimación de lo que midamos, permite apreciar el concepto y ejercitarse en el cálculo de promedios y medidas de variabilidad.

Antes de repartir el material a compostar en los frascos, conviene homogeneizarlo a mano, usando guantes de goma o descartables. En el fondo de cada compostera, aunque no sea estrictamente necesario, puede agregarse una capa de un centímetro de tierra común, para inocular el material con los microorganismos del suelo. Esto hace más patente la idea de estar frente a un proceso biológico, a la vez que simula mejor las condiciones de descomposición en la naturaleza.

Idealmente, conviene colocar las composteras llenas en un jardín, directamente sobre la tierra, pero si solo se puede colocarlas en un patio, balcón o terraza, conviene apoyarlas sobre una terrina (una bandeja de cierta profundidad, vacía o llena con tierra). En este último caso, hay que tener la precaución de vaciar periódicamente el agua de lluvia o cualquier efluente que pudiera escurrir de las composteras. Las únicas medidas de mantenimiento, una o dos veces por semana, son controlar la humedad del compost y desapelmazarlo para favorecer la aireación. Esto se hace golpeando suavemente las composteras contra el suelo. El material en descomposición no debe estar ni muy húmedo ni muy seco; dependiendo de la región y la época del año, puede ser necesario rociarlo con agua o protegerlo de la lluvia.



Figura 4. Imágenes de la experiencia en el aula. Arriba: mezcla con residuos de la preparación de alimentos y del acondicionamiento del jardín. Centro: dos medidas de tamaño de fragmento de la misma mezcla (sin tratar a la izquierda y picada con cuchillo a la derecha). Abajo: los residuos con distinto tamaño de fragmento en sus composteras listos para comenzar el proceso de descomposición.



Figura 5. Compost terminado, listo para mezclar con tierra como fertilizante.

La tasa de descomposición puede evaluarse de distintas maneras: puede pesarse el material a lo largo del tiempo. Si se mantiene constante la humedad, el peso irá disminuyendo a lo largo de las semanas. A falta de balanza, puede registrarse la altura de los restos en cada recipiente, que debería ser cada vez menor, o bien cuantificar la proporción de los residuos que atraviesa un tamiz (por ejemplo, un colador de fideos).

Al finalizar la experiencia, los alumnos comprobarán que los residuos originales perdieron su identidad. Obtendrán una materia oscura, muy parecida a la tierra negra, pero enteramente producto de la descomposición y mineralización de los residuos que pusieron (figura 5). Exactamente lo mismo que ocurre en el suelo del bosque.

Con el fin de fortalecer conceptos sobre la circulación de los materiales, el docente puede preparar preguntas para trabajar en grupo o de cualquier otra manera. Algunas preguntas podrían ser: ¿Qué ha sucedido con los elementos químicos que constituían los residuos orgánicos? ¿Por qué lo que quedó es mejor fertilizante que lo que había al principio? ¿Qué pasaría con una semilla de poroto en la compostera antes y después de compostar? A los alumnos, además del aprendizaje, les quedará compost para fertilizar plantas en sus casas o la escuela.


Palabras finales

El trabajo realizado en el aula por medio de este tipo de experiencias se desdi-

bujá con el tiempo, igual que el adquirido por métodos más tradicionales, pero suele dejar algunas marcas propias. Por un lado, quizá por lo poco frecuente, suele motivar más que los textos, los esquemas y las discusiones. Implica mayor compromiso y responsabilidad: conseguir los materiales, traerlos de la casa, repartirse las tareas de montaje, mantenimiento y registro, o incluso enfrentar desafíos prácticos acerca de cómo perforar un recipiente o cómo triturar y mezclar los residuos. Por otro lado, estas experiencias facilitan el entrenamiento y desarrollo de habilidades más generales como la observación, el planteo de hipótesis, la comparación y la interpretación de un resultado a la luz de esa hipótesis.

En relación con el aprendizaje conceptual específico de las ciencias naturales, esta clase de prácticas no solo ayuda a que tome cuerpo concreto -'baje a tierra' por así decirlo- un proceso abstracto que para los estudiantes siempre parece ocurrir en otro lugar, sino que también abre la posibilidad de dar pasos adicionales.

Por ejemplo, se puede comparar el ciclo de los materiales propio de los ambientes urbanos con el del bosque natural, y señalar sus similitudes y diferencias. También se puede considerar lo que ocurre con la descomposición de materiales que reciben el mismo destino que los restos de alimentos pero son de muy lenta descomposición, como los plásticos, el vidrio o los metales.

En resumen, el experimento del compostaje muestra de manera elocuente y concreta que la basura no desaparece como por arte de magia cuando se la lleva el recolector en su camión. Los alumnos más grandes pueden verse motivados o inducidos a investigar las opciones de tratamiento de residuos que se utilizan en su ciudad y en el resto del mundo. Los más motivados podrán replicar el ejercicio en su casa y seguir aprendiendo más allá de los límites físicos del aula. 

LECTURAS SUGERIDAS

CHAPIN FS, MATSON PA & MOONEY HA, 2002, *Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology*, Springer Verlag, Nueva York.

MC NAUGHTON SJ & WOLF LL, 1984, *Ecología general*, Omega, Barcelona.

SWIFT MJ, HEAL OW & ANDERSON JM, 1979, *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*, Blackwell Scientific, Oxford.



María Semmartín

Doctora en ciencias agropecuarias, UBA.

Profesora adjunta, Facultad de Agronomía, UBA.

Investigadora adjunta del Conicet.

semmartin@agro.uba.ar