

LA VIDA DE LOS ÁRBOLES

Recientes investigaciones demuestran que los individuos que habitan los bosques, en este caso, plantas y hongos, están conectados hasta formar casi un organismo en sí: el propio bosque, que vive de una red subterránea de intercambio de nutrientes y mutuos beneficios.

Texto de
LAURA G. DE RIVERA

SECRETA

Cubierta superior de un bosque de coníferas en Noruega fotografiada con un dron.

E

n Canadá hay más árboles que personas. Nada menos que 8.953 por habitante. También hay más bosques que ciudades. Junto a uno, en la frondosa costa lluvioso del Pacífico, donde existen ejemplares de más de cien metros de altura y mil años de antigüedad, se crió Suzanne Simard. Esta ingeniera forestal de la Universidad de Columbia Británica ha hallado sólidas pruebas científicas de que los árboles son seres sociales que cooperan y se comunican. “De niña, cuando paseaba con mi abuelo por la naturaleza, tenía la sensación de que el bosque era un ser vivo

en sí mismo, que todos sus habitantes formaban una armoniosa unidad”, recuerda en una de sus charlas TED. Hoy sabemos por sus experimentos que es así, que el bosque se comporta como un organismo interconectado a escala microscópica en una compleja trama subterránea. La clave de todo está más allá de donde alcanza la vista, bajo el suelo. Las raíces arbóreas —que pueden expandirse entre dos y cuatro veces la distancia del diámetro de su copa— se entrelazan con los micelios, la masa de delgados filamentos subterráneos de los hongos, para formar gigantescas redes de información que transportan no solo agua y nutrientes, sino también mensajes de ánimo o de peligro. “Se comunican mediante su propio sistema. No son individuos que crecen por su cuenta con el fin de ser el más exitoso. Más bien, son parte de una red que está en constante interacción, donde

GETTY

»

la colaboración es lo primordial”, señala Simard, que, antes de dedicarse a la investigación, tuvo que trabajar en la industria maderera, planificando talas y plantaciones de producción, para comprender que algo fallaba. Y confiesa: “No encajaba con mi forma de entender el bosque”. Se dio cuenta de que, comparadas con las forestas silvestres, las plantaciones carecían de vida, no eran más que hileras de árboles de la misma especie que crecían tristes, más despacio y con menos vigor que sus hermanos salvajes. “Igual que niños en un orfanato, privados del afecto de sus padres”, puntualiza en el documental *Intelligent Trees* Peter Wohlleben, técnico forestal que gestiona el bosque comunal de Hümmler, en Alemania, y autor del libro *La vida secreta de los árboles* (2017).

SIMARD DESCUBRIÓ QUE EN LAS PLANTACIONES, LA COMUNIDAD ARBÓREA NO INTERACTÚA CON LIBERTAD. “Vi que si se quitan algunas especies y se separan de sus vecinos, enferman y se hacen más vulnerables a los ataques de insectos. Quería entender por qué y se me ocurrió que la respuesta podía estar bajo tierra”, explica. Y no solo en las raíces de los árboles, sino en la asociación de ayuda mutua que forman con las micorrizas, o redes entrelazadas de los micelios de los hongos y las raíces de las plantas. Teodoro Maraño, ecólogo forestal e investigador del CSIC, explica a MUY que una micorriza es la “simbiosis de la

raíz de una planta con un hongo. Este coloniza la raíz y recibe compuestos que la planta produce mediante la fotosíntesis. La relación es de beneficio mutuo, porque el hongo, a través de su extensa red de micelios, capta agua y minerales que transfiere a la planta”.

Los hongos se enredan como una maraña de filamentos a lo largo de kilómetros bajo la superficie. “Las setas son solo el fruto, igual que las manzanas lo son del manzano. El cuerpo del hongo está en el subsuelo”, recalca Wohlleben. A cambio de poder usar su eficiente autopista de información para comunicarse con todo el bosque, los árboles comparten con ellos azúcares y nutrientes.

En su primer experimento, recogido por la revista *Nature* hace veinticinco años, a una joven e imaginativa Simard se le ocurrió estudiar la relación entre dos especies genéticamente distantes pero que solían darse juntas en la naturaleza. Inyectó isótopos de carbono (^{13}C y ^{14}C) en las hojas de abedules

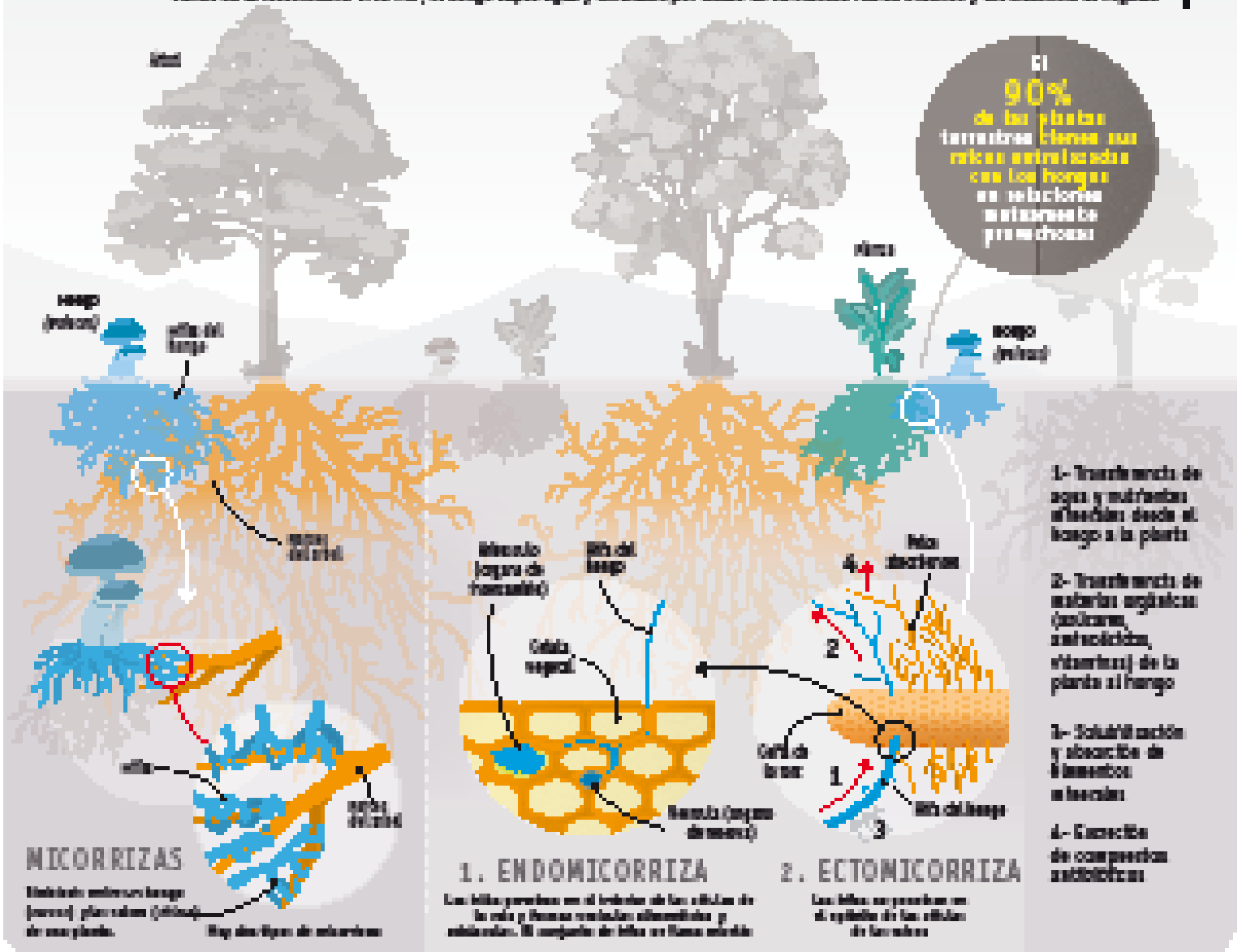
Se trata de un entramado de contactos donde la colaboración es lo primordial



Dos grandes árboles del Hoh Rainforest, un bosque húmedo templado del estado de Washington, junto al Pacífico, han entrelazado sus raíces para crear una red de intercambio alimenticio.

LA SIMBIOSIS DE LOS HONGOS CON LAS RAÍCES DE LAS PLANTAS

Esta relación de beneficio mutuo se conoce como micorrizas. El hongo es bello en la corte y recibe nutrientes que permiten la planta a través de la fotosíntesis. A su vez, el hongo capta agua y minerales por medio de su extensa red de micelios y los suministra al vegetal.



INFORMACIÓN: CARLOS AGUILERA

Habitantes de un mundo subterráneo

Además de las raíces que, en condiciones de sequía, llegan a constituir el 70% de la biomasa de un árbol, hay otro ser clave en el subsuelo: los hongos, que componen el 25% de la biomasa terrestre. Lo que vemos en la superficie es solo su *fruta*, su órgano sexual encargado de liberar las esporas para reproducirse. Los hongos pueden ser parásitos, levaduras, saprófitos –descomponen materia orgánica– o simbióticos, que son los que forman las micorrizas. El 90% de los vegetales terrestres tienen sus raíces entrelazadas con hongos.

Según el ecólogo forestal Teodoro Maraño est esta simbiosis “fue fundamental para la colonización del hábitat terrestre por las primeras plantas hace unos 400 millones de años, que tuvieron que

aprender a captar las sales minerales y nutrientes retenidos por las partículas del suelo. Tenemos fósiles de esporas y arbuscúlos y pruebas moleculares de la existencia en linajes ancestrales de plantas de los genes que coordinan esta simbiosis con los hongos. Es una relación muy antigua en la historia evolutiva”.

Para comunicarse, raíces y micelios producen “señales bioquímicas –hormonas y polisacáridos– que estimulan modificaciones anatómicas y formación de estructuras para el intercambio”, afirma Maraño. A la vez, el hongo hará de conector entre los árboles, de cable que les permite intercambiar señales entre sí. Gracias a la luz del sol, el árbol sintetiza en sus hojas el dióxido de carbono para convertirlo en glucosa. El 30% de este

azúcar lo transfiere por las raíces a las micorrizas. A cambio, el hongo le ofrece agua y minerales –fósforo, nitrógeno–, que puede traer desde muy lejos gracias a la enorme extensión de sus micelios. Tener varias especies de árbol hospedadores al mismo tiempo garantiza al hongo un recurso seguro en condiciones ambientales impredecibles. Un solo árbol puede estar asociado a más de cien especies de hongos micorrícicos.

Además, cuando un hongo coloniza las raíces de una planta, estimula la producción de defensas, con lo que el árbol responde mejor y más rápido a las enfermedades: “Los hongos que forman micorrizas hacen de filtro que frena la transferencia de metales pesados desde el suelo a los árboles”, afirma Maraño.



Arriba, plantación de chopos para explotación maderera en Oregón (EE. UU.). A la derecha, voluntarios en plena reforestación con robles y castaños en Cotobade (Pontevedra), una zona muy afectada por los incendios en los últimos años.

(*Betula papyrifera*) y comprobó que en primavera esas moléculas llegaban a los abetos (*Pseudotsuga menziesii*) que crecían a la sombra de su denso follaje. En invierno, las tornas cambiaban, y eran los abetos quienes pasaban los isótopos a los abedules, que son de hoja caduca. Así supo que los árboles se comunican y que el sentido de sus transacciones está determinado por sus necesidades: los abedules, sin hojas, viven más precariamente en invierno, mientras los abetos sufren más el resto del año, porque a la sombra no pueden hacer la fotosíntesis con tanta eficacia como sus vecinos.

PARA ENTENDER CÓMO FUNCIONABAN LAS VÍAS DE ESE INTERCAMBIO, SIMARD AISLÓ LA PARTE EXTERIOR DE VARIOS EJEMPLARES de abedules pequeños en bolsas de plástico, en las que inyectó un isótopo de carbono. Luego hizo lo mismo con las raíces. En algunos casos, el plástico impedía que se comunicaran con el micorrizoma. En otros, las bolsas eran porosas y permitían el paso de los micelios y su conexión con las raíces. Así vieron que aquellos plantones en que los filamentos de los hongos podían cruzar la barrera seguían intercambiando sustancias y crecían más fuertes y lozanos que los que tenían sus raíces aisladas de los hongos. También que los arbolitos más vigorosos y de más edad aportaban nutrientes a las plántulas más pequeñas y jóvenes. Tenía sentido, entonces, que en las plantaciones madereras los árboles crecieran más escuchimizados. “La pesada maquinaria para las talas y el transporte compacta el suelo con su peso y daña las micorrizas, obstaculiza los intercambios e impide que el terreno compactado pueda almacenar el agua del invierno para el verano”, señala Wohlleben.

Por las redes subterráneas de micorriza no solo circulan nutrientes entre los árboles, sino también señales bioquímicas que advierten de peligros. En 2010, el biólogo Ren Sen, de la Universidad del Sur de Chi-

na en Guangzhou, plantó parejas de tomates en macetas. Algunas de ellas podían formar micorrizas y otras no. Luego roció las hojas de un ejemplar de cada par con el hongo *Alternaria solani*, que causa el tizón tardío del tomate. Después de sesenta y cinco horas, Zeng intentó infectar a la segunda planta de cada pareja y vio que las que habían establecido redes de micorrizas para comunicarse con su compañera infectada eran mucho más resistentes al agente patógeno y enfermaban menos.

Lo mismo comprobaron hace poco en la Universidad de Aberdeen (Escocia) con plantas de judías infestadas de áfidos –insectos que las destruyen–. A diferencia de las que estaban aisladas, las judías que permanecían unidas bajo tierra con congéneres que habían sido atacados antes, parecían prevenidas y ya tenían dispuestos sus compuestos químicos

GETTY

EF

antiáfidos para defenderse. A su manera, sus compañeras enfermas les habían enviado una señal de alerta. Por su parte, Simard constató que abetos que habían perdido sus hojas por el ataque de insectos transmitían señales de estrés a través de la red de micorrizas a los árboles vecinos, y no solo a los de la misma especie. Estos, como respuesta, activaban los genes que ponen en marcha las enzimas defensivas. Según la investigadora de la Universidad de Columbia Británica, “los árboles se envían mensajes químicos unos a otros para protegerse del ataque de un insecto o una enfermedad a base de fabricar tóxicos defensivos o resinas, o engordando su corteza”.

En otro estudio, Simard analizó un bosque atacado por el escarabajo del pino de la montaña (*Dendroctonus ponderosae*). Los árboles moribundos les pasaban el legado a las nuevas generaciones, con información sobre cómo optimizar su sistema defensivo, de forma que los nuevos crecían más fuertes. Un hallazgo que, en opinión de esta científica, debe cambiar la forma de gestionar las forestas: “Tenemos que ser cuidadosos y dejar de cortar los árboles enfermos lo antes posible para venderlos antes de que su madera se deteriore, porque entonces impedimos que pasen su sabiduría a los más jóvenes”, advierte.

JUNTO A SU EQUIPO DEL DEPARTAMENTO DE FORESTALES Y CIENCIAS DE LA CONSERVACIÓN de la Universidad de Columbia Británica, Simard se propuso cartografiar las conexiones bajo tierra de un bosque de abetos. Mediante técnicas de biología molecular analizaron el ADN e identificaron genotipos de árboles y hongos. Así, registraron una longitud media de 20 metros para los micelios –pequeños filamentos que hacen las veces de raíces de los hongos– y encontraron “un abeto de 94 años de edad conectado con 47 árboles, mediante genotipos diferentes del hongo *Rhizopogon sp*”, según recuerda Marañón. Este estudio fue publicado en la revista *New Phytologist* con el ilustrativo título de Arquitectura de la Wood Wide Web –juego de palabras con *world wide web* (las famosas *www*)–, que compara el ecosistema subterráneo del bosque con internet, un entramado de muchas redes superpuestas con nodos centrales más concurridos que actúan como conmutadores y nodos satélite más pequeños. “Se trataría de un superorganismo clonal, una red simbiótica árbol-hongo que comparte los recursos del bosque”, describe Marañón. No es muy distinto de cómo funciona nuestra mente: “El sistema de raíces es el cerebro del bosque. Está conectado igual que las redes neuronales por donde circula la información”, reflexiona Simard.

Mirando este mapa, la científica canadiense podía identificar qué árboles eran más importantes, y descubrió “que se trataba de los más grandes y viejos. Los llamamos *árboles madre*, porque descubrimos que los

Los ejemplares más grandes y viejos abastecen a los más jóvenes que crecen a su alrededor

más jóvenes que crecían a su alrededor se alimentaban de nutrientes que el grande les pasaba por la red de micorrizas. Algo parecido a las hembras cuando dan de mamar a sus hijos”, continúa Simard. Y no solo a los retoños de su misma especie. En otro experimento, su equipo etiquetó con isótopos de carbono a árboles madre para poder rastrear estas moléculas y averiguar a quiénes alimentaban. Los biólogos observaron que los familiares recibían más, pero que también enviaban comida al resto de los vecinos. “Tratan de crear un ambiente favorable y sano para que la comunidad crezca, por eso la dotan de nutrientes”, explica la científica, que también lidera en su universidad el programa Mother Tree Project (Proyecto Árboles Madre). Las enormes copas de estos ejemplares se alzan por encima de las demás y recogen la energía del sol para producir grandes cantidades de glucosa en sus hojas y compartirla con los que tienen menos acceso a la luz solar y con las pequeñas plántulas recién nacidas.

¿Saben las plantas reconocer a sus vecinas? Un experimento re-



Vegetales antisociales

Los árboles son seres sociales y se ayudan unos a otros; su bienestar depende de la vida en comunidad. Pero no todo es compañerismo y altruismo en el mundo vegetal. Algunas especies producen químicos para dañar a quienes consideran competidores, un fenómeno conocido en biología como alelopatía negativa. Es el caso de los eucaliptos –en la foto, arriba–, los sicómoros o las caléndulas, que emiten sustancias tóxicas para dificultar el crecimiento de otras plantas en la vecindad. En estos casos, los micelios de los hongos las ayudan a transportarlas y aumentar su alcance.

Michaela Achatz, bióloga alemana de la Universidad Libre de Berlín, se centró en estudiar el nogal negro

americano (*Juglans nigra*), que segrega juglona, una sustancia que la industria agrícola usa como herbicida y que le sirve al árbol para adueñarse del espacio y no dejar crecer a vegetales que compitan por los recursos. Y el hongo saca partido porque la juglona lo protege de los micófagos –insectos que comen hongos–.

Durante su experimento, Achatz plantó tomates alrededor de los nogales, algunos de ellos con las raíces selladas de forma que no pudieran conectar con las micorrizas. Pues bien, la bióloga observó que los que tenían acceso libre a las micorrizas recibían mucha más juglona venenosa proveniente del árbol, con sus consiguientes efectos nocivos.

AGE

La capacidad de una especie arbórea para asociarse con muchos hongos micorrícicos favorece su expansión

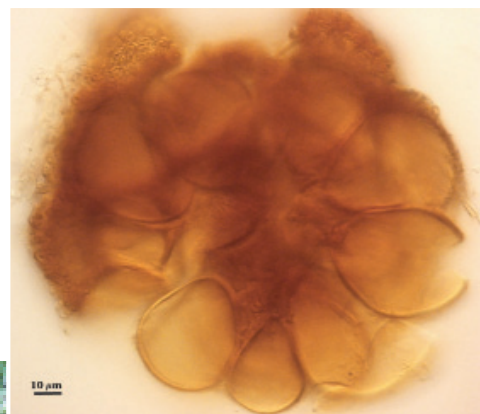
cienta de Amanda Asay, investigadora del equipo de Simard en la Universidad de Columbia Británica, apunta a que sí. Asay plantó en una misma maceta tres árboles, uno más grande y dos retoños jóvenes, de los cuales uno provenía de una semilla de la misma madre que el árbol grande y el otro procedía de otra región. Meses después, había más conexiones bajo tierra entre el grande y su hermano, al que le transfería más nutrientes, que entre el grande y el forastero. ¿Y qué sucede con los que ya son solo un tronco mochado, sin ramas, ni hojas para hacer la fotosíntesis, y sin embargo siguen vivos? “Descubrimos que, en algunos casos, un árbol vecino les pasaba nutrientes y carbono. El bosque cuida a sus ancianos”, asegura Asay.

OYENDO HABLAR A ESTOS EXPERTOS, ¿SE PODRÍA DECIR QUE HAY SIMILITUDES ENTRE LA VIDA VEGETAL Y LA VIDA AFECTIVA DE LAS PERSONAS? Parece una metáfora exagerada, pero, hasta cierto punto, sí: “Existe la amistad entre los árboles. No pasa a menudo, porque ellos no pueden elegir al lado de quién crecen. Quizá le ocurra a uno de cada cincuenta ejemplares. Mira estos dos, sus raíces están entrelazadas firmemente, sus ramas no se superponen, para no quitarse la luz”, afirma Wohlleben en el documental *Intelligent Trees* mientras muestra a la cámara dos preciosos cedros. “Si uno muere, el que queda sufre, enferma y muere poco después”. Simard sonríe cuando le preguntamos por la amistad verde: “En ecología lo llamamos interacciones, aunque es un término bastante clínico. Las plantas colaboran, se ayudan, mantienen relaciones mutualistas. Es una cuestión de lenguaje. En términos humanos, llamaríamos amistad a ese fenómeno”, reflexiona.

En todo caso, la idea de la foresta como una familia de árboles cambia nuestra percepción y nuestra forma de tratarlos, según Simard. Entre sus proyectos de investigación está el de investigar cómo re-

forzar los bosques para lidiar con el cambio climático. En un artículo publicado en 2018 en la revista *New Phytologist* destaca la importancia de la llamada *receptividad del hospedador*, es decir, de la capacidad de una especie arbórea para asociarse con un gran número de especies de hongos micorrícicos. Según Marañón, “los árboles más promiscuos tuvieron la tasa más alta de expansión hacia el norte después de la última glaciación”.

Simard sigue buscando formas de colaboración entre humanos y árboles de las que ambos salgamos beneficiados, ha encontrado una nueva dimensión de la palabra ecosistema y nos ha enseñado que, a su manera, el bosque tiene un enorme cerebro que funciona bajo tierra. Por su parte, Wohlleben hace una llamada de atención contra las talas descontroladas. En su opinión, la alternativa pasa por hacer una gestión amigable del bosque, que permita a los árboles satisfacer sus necesidades sociales y pasar “su conocimiento a la siguiente generación. Al menos a algunos se les debe permitir envejecer con dignidad y morir de muerte natural”. □



IVANA



Arriba, fósil del hongo *Glomus sinuosum*. La simbiosis entre este tipo de organismos y los árboles, como se ve en la foto grande, fue clave para la colonización del hábitat terrestre por las primeras plantas hace unos 400 millones de años.

SHUTTERSTOCK