

**El Suelo**

que pisamos, un  
ecosistema  
de  
**infinita  
variedad**



Jorge Curiel  
Yuste

**Es la base donde se sustenta gran parte de la vida pero apenas reparamos en él; a pesar de estar infinitamente poblado, pasa a veces desapercibido hasta para la ciencia y, aunque no lo notemos, bulle continuamente bajo nuestros pies. Os presentamos al suelo, un universo lleno de diversidad**

Uno de los ecosistemas terrestres más desconocidos es el suelo, el gran reino de los microorganismos. Pasa desapercibido pero es probablemente el más biodiverso del planeta, un sistema vivo en el que representantes de todos los reinos de los seres vivos (Plantae, Animalia, Fungae, Protista y Monera) conviven. Se trata de una matriz física de enorme complejidad tanto estructural como química, que además presenta una gran heterogeneidad.

Más allá del interés que este sistema puede suscitar para un científico, precisamente por su complejidad ecológica, el suelo se ha convertido en materia de estudio por su papel determinante en el mantenimiento de las condiciones para la vida en La Tierra. Además de ser el almacén natural de los nutrientes necesarios para la supervivencia y crecimiento de las plantas, el suelo juega también un importante papel como mitigador del efecto invernadero que generan las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) antropogénicas. Una parte importante del CO<sub>2</sub> que las plantas fijan como materia orgánica en el proceso fotosintético acaba almacenado a largo plazo en el suelo en forma de materia orgánica recalcitrante mediante procesos de esta-

bilización química y física mediada precisamente por los microorganismos.

Por otra parte la enorme cantidad de microorganismos que habitan el ecosistema que bulle bajo nuestros pies respiran, tal y como nosotros hacemos. Esa respiración aeróbica es responsable de, al menos, la mitad de las emisiones de



Figura 1. Los hongos producen enzimas que digieren todo tipo de material orgánico, incluso moléculas y tejidos altamente refractarios a su descomposición, como la lignina o las hemicelulosas de la vegetación leñosa, como los árboles. Aquí vemos estos cuerpos fructíferos de hongos de la familia Stereum sobre un tablón tomada en la Amazonía Peruana. / Manuel Fernández-López



CO<sub>2</sub> de los ecosistemas terrestres, lo que anualmente, equivale aproximadamente a 5 veces más CO<sub>2</sub> que el producido por todas las emisiones de la actividad antropogénica juntas. Esta respiración heterótrofa (producida por los microor-



La biodiversidad de los suelos terrestres, una ilustración de Camila Pizano

ganismos) es además tremendamente sensible a las variaciones en las condiciones climáticas y medioambientales por lo que pequeños cambios globales en el clima o la salud de los bosques pueden suponer un aumento muy importante de las emisiones de CO<sub>2</sub> totales de la biosfera, agravando, de esta manera, el efecto invernadero.

En este contexto, es muy relevante entender

*“Más allá de por su complejidad ecológica, el suelo se ha convertido en materia de estudio por su papel determinante en el mantenimiento de las condiciones para la vida en La Tierra”*

la ecología de estas poblaciones de microorganismos, hasta ahora tan desconocidos debido, principalmente, a nuestras limitaciones metodológicas. Las perturbaciones medioambientales, tales como las asociadas al cambio global (clima, cambios de usos, deposición de nitrógeno, etc.) pueden afectar a su ecología, su capacidad de proveer nutrientes para el crecimiento de las plantas y sus tasas de respiración aeróbica (CO<sub>2</sub>) afectando, por ende, al funcionamiento y salud de los ecosistemas, así como a la capacidad de estos últimos de almacenar carbono. Según la visión clásica de la ecología microbiana la gran diversidad de bacterias y hongos que encontramos en los suelos (hemos llegado a encontrar hasta 3000 filotipos diferentes de bacterias en 300 mg



Figura 2. Ejemplo de raíz micorrizada. Las hifas del hongo son capaces de explorar las fuentes de nutrientes y agua con mayor eficiencia que las raíces.





Figura 3. Perfil de un suelo del Páramo Colombiano (Matarredonda) donde se observa su heterogeneidad así como la enorme cantidad de materia orgánica (tono oscuro) y de vida (raíces) que alberga. / Ana-Maria Hereş

de suelo) se traducen en una enorme redundancia funcional de estas poblaciones. Es decir, muchos microorganismos diferentes pueden ejercer una misma función. Esta visión clásica asume que las perturbaciones sobre estas comunidades no tienen consecuencias en su funcionamiento. Como veremos, hay motivos para revisar esta idea.

Estudios recientes de campo y de laboratorio sobre los efectos de perturbaciones climáticas, están mostrando evidencias robustas de que la ecología de las comunidades microbianas debería tenerse en cuenta a la hora de predecir la respuesta de las reservas de carbono de los suelos al clima. Esto es debido a que la capacidad de estas comunidades para aclimatarse a situaciones medioambientales desconocidas anteriormente y de elevar su metabolismo cuando, aparentemente, las condiciones no son óptimas puede afectar enormemente a las predicciones de emisiones de CO<sub>2</sub> de los modelos biogeoquímicos actuales.

*“Pequeños cambios en el clima o de salud del bosque pueden suponer un aumento absoluto en emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera procedentes de estas comunidades”*

En nuestros estudios, donde acoplamos el uso de técnicas moleculares de análisis de huella genética o técnicas de secuenciación de nueva generación (pirosecuenciación) con las medidas del funcionamiento microbiano (respiración aeróbica, respiración de suelos), mostramos como la diversidad y estructura de las comunidades microbianas puede afectar enormemente a su respuesta al clima y a las emisiones de CO<sub>2</sub> del suelo. Además, bajo las exigentes condiciones climáticas mediterráneas, donde hay tanta sequía y además el paisaje ha sido tan transformado por el hombre a lo largo de la historia, nuestros estudios muestran cómo la selección histórica y la capacidad de adaptación de estas comunidades puede hacerlas mucho más resistentes de lo esperado al cambio climático (sequías crónicas simuladas durante 10 o más años) o a la intensificación de la fragmentación del hábitat que se espera en el futuro para estas regiones.



Hojarasca en un pinar. / Jorge Curiel Yuste





Nuestros estudios indican además que la intensificación de las sequías puede, en un futuro no muy lejano, favorecer a algunas comunidades microbianas dominadas principalmente por hongos, que por ser organismos que evolucionaron en condiciones terrestres parecen tener mejores estrategias para evitar las sequías crónicas que las bacterias, que mayormente evolucionaron en los océanos. Debido a que hongos y bacterias tienen metabolismos y tasas metabóli-



De izquierda a derecha, un suelo calizo y pedregoso de un páramo castellano, suelo y racies de encinar (Jorge Curiel Yuste) y un área de cultivo antes de la siembra / Jorge Curiel Yuste y Xiomara Cantera

explorando es el papel funcional y la respuesta de las comunidades microbianas ante eventos de decaimiento y colapso forestal como los que se están observando en estas últimas décadas. Esto es especialmente llamativo en la zona mediterránea donde los, cada vez más largos y extremos periodos de sequía estival afectan a muchas especies forestales. Por ejemplo, en los bosques mixtos de Prades (Tarragona), donde el pino albar, *Pinus sylvestris*, está muriendo lentamente y siendo reemplazado por las encinas, *Quercus ilex*, vemos como las comunidades bacterianas bajo árboles muertos ya hace

una década se asemejan más a las comunidades microbianas asociadas a la encina, es decir, el cambio en el suelo se refleja mucho antes de que la encina haya físicamente reemplazado al pino muerto. Esto sugiere que la sucesión secundaria está ocurriendo más rápidamente en la parte subterránea que en la parte aérea. A la larga, estos cambios en la ecología subterránea conllevarán enormes cambios en las emisiones de  $\text{CO}_2$  y el reciclado de carbono de estos sistemas. En Doñana, la muerte de las sabinas después de un episodio de sequía extrema en el invierno de 2005 (a pesar de ser un árbol

*“La ecología del suelo debería tenerse en cuenta a la hora de predecir la respuesta de las reservas de carbono y el reciclaje de nutrientes ante perturbaciones medioambientales”*

cas muy diferentes generalmente más bajas para los hongos que para las bacterias, estos cambios ecológicos pueden conllevar enormes transformaciones en la forma de ciclado de carbono y nutrientes en los ecosistemas terrestres.

Además de todo esto, la ecología y funcionamiento de las comunidades microbianas está estrechamente ligada a la de las comunidades vegetales de los ecosistemas terrestres. Por tanto, otra gran línea de investigación que estamos

históricamente adaptado a las condiciones de aridez) también ha derivado en profundos cambios estructurales y funcionales de las comunidades microbianas que se traducen en cambios substanciales en la capacidad de estas comunidades de ciclar principalmente el carbono y emitir  $\text{CO}_2$ . A pesar de todas estas evidencias, nuestros modelos de predicción todavía no tienen en cuenta estas posibles transformaciones en los ciclos biogeoquímicos tan estrechamente asociados a cambios en la estructura y ecología de las comunidades microbianas. En este sentido, ya empiezan a surgir modelos capaces de



*“Queremos entender el papel que juegan estas comunidades en la estabilidad funcional de los ecosistemas y nuestra península es uno de los mejores laboratorios naturales de la tierra para estudiarlo”*

representar mecanismos de control de estas comunidades sobre las emisiones de CO<sub>2</sub> que están obteniendo resultados muy prometedores pero necesitamos seguir estudiando cuáles son y cómo funcionan estos mecanismos de control microbianos sobre el funcionamiento ecosistémico.

En este sentido, sabemos que el papel de las comunidades microbianas en ecosistemas te-

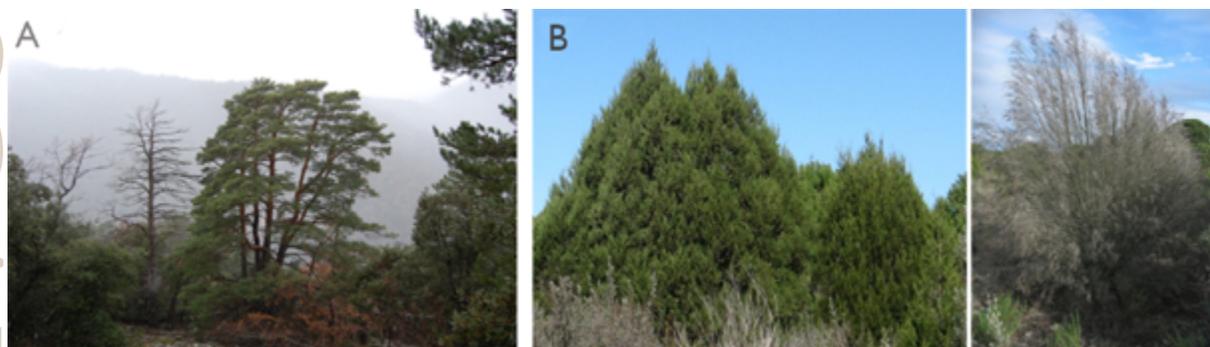


Figura 5. Casos de decaimiento forestal de (a) *Pinus sylvestris* en Prades: la mortalidad crea un paisaje parcheado con diferentes grados de afectación; (b) de *Juniperus phoenicea* en Doñana: después de una fuerte sequía durante 2005 muchas sabinas murieron provocando importantes cambios en la estructura y funcionamiento del ecosistema. / David Aguade y Francisco Lloret.



Figura 4. Parcelas de exclusión de lluvia en Cataluña, en el bosque de Poblet (Tarragona) (izda.) y en el matorral de Garraf (Barcelona) (dcha.). Estas parcelas de exclusión de lluvia (y en el caso del Garraf también de calentamiento) manejadas por el grupo de Josep Peñuelas (CSIC-CREAF, Barcelona) llevan activas más de 15 años, lo que nos ha permitido estudios a medio plazo de la capacidad de adaptación de las comunidades microbianas al cambio climático.

restres no se limita a la descomposición de la materia orgánica y al reciclaje de nutrientes. Estudios recientes han demostrado que una pér-

rida en la biodiversidad del suelo y la simplificación de las comunidades de microorganismos terrestres provoca una disfuncionalidad ecosistémica que incluye la pérdida de diversidad de plantas y un deterioro en la retención y reciclaje de nutrientes. Por tanto, queremos entender el papel que juegan estas comunidades en los procesos e interacciones ecológicas que hacen posible la estabilidad funcional de los ecosistemas, mediante el estudio del decaimiento forestal y nuestra Península es, debido a los cambios que está sufriendo en las últimas décadas, uno de los mejores laboratorios naturales de la tierra para estudiarlo ■

*En este artículo también han colaborado Dulce Flores-Rentería, Josep Barba, Manuel Fernandez-López, Francisco Lloret, Stefania Mattana, Josep Peñuelas y Camila Pizano*

