

CIENCIAS NATURALES

Editor: Guillermo Bendaña García

guibendana@gmail.com

Ing. Agr. M.Sc., Consultor Independiente

Teléfono: 2265 2678 (casa-oficina)

Celulares: (505)8265 2524 (Movistar)

y (505) 8426 9186 (Claro)

Revisores:

Ing. M. Sc. Ramón Guevara Flores.

Tel. (505) 8701-8037

rsgflores@yahoo.com



Vamos a mantener la actual política editorial en la sección de Ciencias Naturales, que consiste en dar a conocer, desde una perspectiva académica, el mundo vegetal y animal de nuestro país (flora, fauna, flora etno-botánica útil), así como la anterior diversidad de temas abordados. El editor tiene algunos artículos escritos sobre esos temas que no he podido publicar en Nicaragua y conoce profesionales muy calificados que, como en el caso del editor, no tienen espacios para sus creaciones técnico-científicas.



Podemos incluir otros temas de mucho interés en el país como: Cambio Climático y sus afectaciones en la caficultura, en la ganadería nicaragüense, etc.; medidas de mitigación y adaptación al cambio climático; efectos de la deforestación en bosques de pinos o de latifoliadas sobre las características físicas y químicas de los suelos; medio ambiente: ej. los humedales de San Miguelito o los manglares del Estero Real y su importancia medio-ambiental; turismo rural: ventajas, desventajas; métodos de medición de la afectación por sequía en el corredor seco; alternativas agrícolas y ganaderas en las zonas secas; seguridad alimentaria; los suelos de Nicaragua: degradación,

recuperación.

Los potenciales autores y colaboradores de la sección de Ciencias Naturales pueden enviar artículos inéditos, tesis o resúmenes de tesis; si en los trabajos se utilizan mapas, gráficos, dibujos, etc., estos deben ser claros, citando siempre las fuentes. ■

Bioluminiscencia

Ing. M.Sc. Guillermo Bendaña G.

guibendana@gmail.com

La palabra bioluminiscencia proviene de dos vocablos griegos: *bios*, vida, y *lumen*, luz. Puede definirse como el proceso a través del cual determinados organismos vivos producen luz como resultado de una reacción bioquímica, la cual es relativamente sencilla. Entre los organismos luminiscentes están algunas bacterias, protozoos, hongos, gusanos, crustáceos, peces, medusas, calamares y particularmente las muy conocidas luciérnagas.

Las primeras investigaciones sobre los fundamentos químicos de la bioluminiscencia se atribuyen al farmacólogo francés Raphaël Dubois, entre 1885 y 1892, trabajando con dos especies animales bioluminiscentes: las luciérnagas tropicales del género *Pyrophorus* y el molusco bivalvo *Pholas dactylus*. Sus investigaciones permitieron refutar la teoría del fósforo, vigente hasta entonces, y demostrar que el fenómeno de la emisión biológica de luz no era más que un proceso de oxidación enzimática. Otros investigadores como McElroy y asociados, estudiaron con detalle los componentes moleculares y el mecanismo de la luminiscencia de la luciérnaga, llegando a extraer y cristalizar de esos insectos dos componentes: un fenol heterocíclico termoestable, la *luciferina*, y una enzima termolábil, la *luciferasa*.

Transformación de la energía de oxidación-reducción en bioluminiscencia

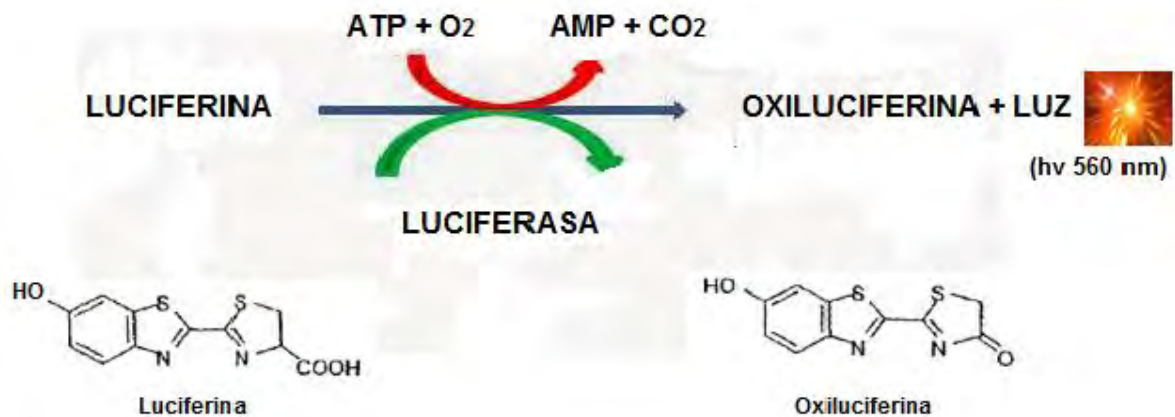
Todo se inicia y finaliza con la transformación de la energía de oxidación-reducción en bioluminiscencia: en muchos organismos tienen lugar oxidoreducciones enzimáticas en que las variaciones de energía libre se emplean para excitar una molécula hasta un estado de energía elevado. Esta situación va seguida del retorno de la molécula a su estado normal, acompañado de la emisión de luz visible. Se trata de una conversión directa de la energía química en energía lumínica a través de una reacción exérgica.

La reacción química

En la producción de bioluminiscencia intervienen los siguientes componentes:

- Un sustrato que en este caso es una proteína, la luciferina.
- Una enzima llamada luciferasa.
- Una fuente de energía, requerida para que ocurra la reacción, que es el adenosín tri-fosfato (ATP).
- Oxígeno molecular.

Gráficamente y de manera sencilla la reacción puede representarse de la siguiente manera:



El mecanismo o proceso químico que ocurre en las luciérnagas puede explicarse así:

- Las luciérnagas absorben oxígeno, y este se combina con una proteína llamada luciferina.
- La luciferina se combina con el trifosfato de adenosina (ATP) y se forman compuestos intermedios: el adenilato de luciferina y pirofosfato sobre la superficie de la enzima luciferasa.



-El adenilato de luciferina se combina con el oxígeno y forma monofosfato de adenosina (AMP) y oxiluciferina, la luz se emite y la oxiluciferina y el monofosfato de adenosina (AMP) se liberan de la superficie de la enzima.

- Adenilato de luciferina + O₂ → Oxiluciferina + monofosfato de adenosina + luz (un fotón de luz).

El rol de la luciferasa es ayudar a acelerar el proceso, mientras que el ATP proporciona la energía necesaria para que al final todo esto se convierta en luciferina

oxidada. Es en este última paso cuando se genera luz muy intensa, que se concentra en zonas pequeñas y por eso es muy visible en la oscuridad. Todo lo anteriormente descrito, toda la reacción completa, se produce en menos de un milisegundo y se mantiene mientras el organismo sigue excitado.

No obstante, se ha continuado investigando sobre la luminiscencia a mayor detalle, ya que la conversión de la energía química en luz por medio de enzimas y proteínas es un fenómeno relativamente básico pero lo que se deseaba averiguar era cómo se desencadenaba ese proceso bioquímico. Con las nuevas investigaciones parece ser que se ha alcanzado ese objetivo: se ha identificado un electrón de oxígeno adicional que es el responsable del brillo de los coleópteros, tiene una forma especial llamada *anión superóxido* que es una forma de oxígeno molecular que contiene un electrón adicional. Ese electrón extra confiere al oxígeno propiedades a tal grado que la molécula sería capaz de precipitar una reacción química con luciferina. Se cree que los aniones super-óxido podrían explicar la bioluminiscencia en toda la naturaleza, desde el plancton hasta los peces abisales.

Eficiencia energética de la reacción bioluminiscente

Es una reacción exergónica, muy eficiente energéticamente. Vale recordar que de la totalidad de la energía generada por una bombilla incandescente, sólo un 10 a 15 % es en forma de luz, desperdiciándose el resto en forma de calor. Mientras que en el caso de las luciérnagas prácticamente el 100% de la energía desprendida por la reacción es **lumínica. Tan sólo un 2% es calor, por eso se la considera "luz fría"**; entre otras razones estos insectos han desarrollado este tipo de luz que genera un calor mínimo ya que de otra manera fallecerían abrasados.

El color de la luz producida

Según las distintas especies, la composición química de la luciferasa y de las luciferinas es distinta, por lo que se producen colores diferentes en cada ser vivo. Por ello el color de la luz emitida viene determinado por la enzima luciferasa ya que especies diferentes de luciérnagas poseen una misma luciferina, pero emiten luces de colores diferentes. El conjunto de la luciferina y la luciferasa específico de cada especie de luciérnaga es lo que produce que la luz de esos insectos sea de un determinado color, siendo el amarillo es el más común, también puede ser verde y en tan solo unas pocas especies rojo. Parece que la luciérnaga emplea este tipo poco frecuente de transformación energética como señal de apareamiento

Dependiendo de la cantidad de ATP que se gaste en el proceso, los destellos que genera la luciérnaga son más o menos intensos. Pero en la luminiscencia de las luciérnagas no todo su cuerpo genera luz, la emisión luminosa es exclusiva de su abdomen en dos puntos concretos del octavo segmento abdominal y no solo se basa en una reacción molecular, ya que también emplean cristales de ácido úrico para amplificar la luz que generan; estos cristales de urato se encuentran en los segmentos abdominales 6 y 7.

Los curiosos nombres de las moléculas que intervienen en la bioluminiscencia.

Luciferina y Luciferasa: muchos se preguntan, con cierta aprensión si estos nombres usados dentro del léxico científico no serán un recordatorio o un homenaje al demonio.

La verdad es que hay que remitirse a las raíces latinas donde Lucifer proviene del latín *lux* "luz" y *fero* "yo llevo", **es decir el portador de la luz. Entre los romanos era el equivalente del griego Fósforo, que también significaba portador de la luz y era la personificación del lucero de la mañana en la mitología helénica. Mientras que en el Antiguo Testamento, en la tradición cristiana, Lucifer, el después príncipe de las tinieblas, era un ángel, y no un ángel más, sino considerado uno de los más hermosos del reino de los cielos, a quien llamaban el brillante, el reluciente, el portador de la luz (Lucifer). Citan las Escrituras que, por soberbia, Lucifer se sublevó contra Dios al frente de todo un ejército de ángeles rebeldes, finalmente derrotados y expulsados del cielo por las tropas de ángeles fieles liderados por el arcángel Miguel. Y solo entonces, ya arrojado y reducido a los infiernos, adoptó el nombre de Satanás que proviene del hebreo *satán* o "adversario".**

Haciendo de lado las Escrituras y la mitología, deducimos que Luciferina y Luciferasa son nombres que caben perfectamente en el proceso bioquímico que da lugar a la reacción de la bioluminiscencia.



Luciérnaga

Usos de las reacciones bioluminiscentes

La ciencia siempre se ha inspirado en la naturaleza intentando adaptar a la tecnología los procesos que observa en ella. Aun así la realidad es que una pequeña luciérnaga sigue siendo mucho más eficiente que la más moderna de las bombillas de bajo consumo.

Las reacciones de bioluminiscencia han sido creadas artificialmente; se las llama quimioluminiscencia y se utiliza en diferentes campos, sobresaliendo entre ellos el de la medicina. Conozcamos algunos casos:

- Se emplea como técnica de laboratorio biotecnológica, ya que ésta puede ser detectada fácilmente y permite estudiar procesos biológicos o reacciones enzimáticas.
- Uno de los más conocidos, y popularizado en las series policíacas, es el uso del luminol en la química forense para revelar la presencia de restos de sangre en el escenario de un crimen.
- En ingeniería genética: en combinación con esta moderna ciencia se han realizado asombrosos experimentos, destacando por su espectacularidad, las imágenes *in vivo* de ratones u otros animales de experimentación con grupos celulares luminiscentes. Estas células, afectadas con el gen de la luciferasa, emiten luz de diversos colores que permite estudiar el proceso de la oncogénesis y la respuesta tumoral a los antineoplásicos mediante técnicas

de imágenes claras y sencillas. Hay muchas más utilizaciones de la bioluminiscencia en medicina.

- En la agricultura: transporte y liberación de elementos fluorescentes (por ejemplo moléculas cuánticas o proteínas fluorescentes) para el marcaje intracelular y la obtención de imágenes microscópicas por medio de la nanotecnología.

Plantas bioluminiscentes

Existe una empresa biotecnológica, BioGlow, con sede en San Luis (Missouri, EUA), donde, entre otras investigaciones, se ha dado a la tarea de producir plantas que emitieran luz de manera continua. Lo han conseguido mediante ingeniería genética, introduciendo el ADN de algunas bacterias marinas que emiten luz en el genoma de los cloroplastos de la planta ornamental *Nicotiana glauca*, obteniendo plantas bioluminiscentes, su hallazgo fue dado a conocer desde el 2010. Las plantas de *Nicotiana glauca*, parientes del tabaco, emiten una tenue luz verde azulada. Por el momento la luz que producen no es suficiente para iluminar una habitación, aunque sí brillan en la oscuridad con luz propia. Su ciclo de vida es de dos a tres meses. A estas plantas se les **conoce como "Starlight Avatar", en homenaje a la película Avatar, donde aparecen plantas luminiscentes.** La idea es que las plantas genéticamente modificadas sirvan en el futuro para iluminar las calles por la noche, disminuyendo el consumo de energía y la emisión de gases de efecto invernadero mientras absorben dióxido de carbono del aire.

En el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), un equipo de investigadores que dirige el Dr. Michael Strano logró obtener espinacas, berros y rúculas luminiscentes de manera artificial. Su método consistió en sumergir las plantas en una solución con nanopartículas de silicio para transportar luciferasa y otras micropartículas biodegradables para transportar luciferina y coenzima A, y mediante alta presión conducir las al interior de las células de las plantas a través de sus estomas. Al inicio dichas plantas podían emitir luz durante 45 minutos, posteriormente consiguieron prolongar el efecto a 3.5 horas. Se espera que estas plantas se conviertan en una fuente de luz biónica, sostenible y autónoma que permita reducir el 20% del consumo mundial de energía que representa la iluminación para los humanos.



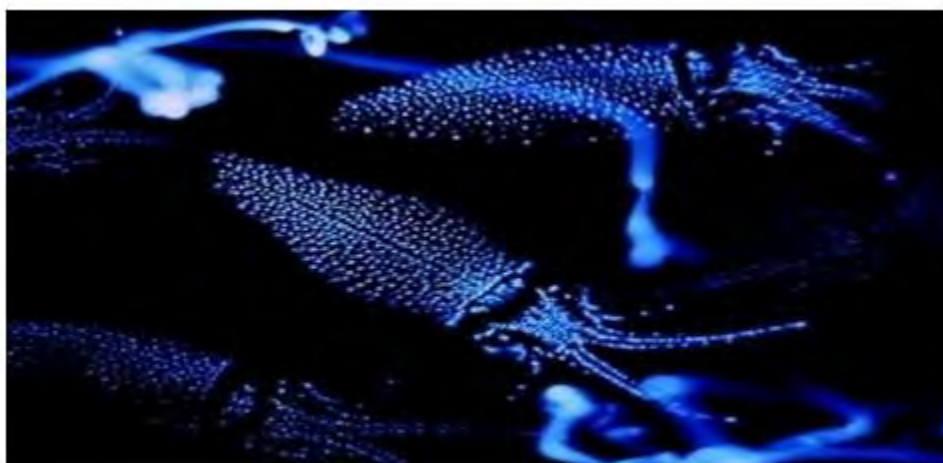
Starlight "avatar" emite una suave luz verde azulada en la oscuridad

El anterior no es el único caso sobre plantas bioluminiscentes; existe el proyecto Glowing Plant (planta brillante), a cargo de la compañía Genome Compiler, que desarrolla plantas transgénicas fluorescentes, con la idea de que algún día lleguen a reemplazar al alumbrado público tradicional.

Bioluminiscencia en los océanos

La bioluminiscencia está mucho más generalizada en el hábitat marino, a tal grado que de todos los grupos de organismos luminosos conocidos, más de cuatro quintas partes viven en el mar. Se cree que más de 90% de las especies de la porción media y abisal del océano emiten algún tipo de bioluminiscencia. Precisamente por ello, se han desarrollado muchas investigaciones sobre la bioluminiscencia con animales marinos para aplicar sus resultados a muchos campos.

Por ejemplo, la GFP es una proteína producida por la medusa *Aequorea victoria*. El gen que codifica esta proteína, que ya ha sido clonado, se utiliza como marcador en biología molecular. El descubrimiento y estudio de la GFP amplía la capacidad del microscopio óptico y otorga una nueva dimensión visible al ojo humano. También puede utilizarse como marcador de biomoléculas y para seguir procesos como la migración celular. Gracias a este uso se ha reducido el efecto perjudicial de marcadores fluorescentes químicos, los cuales eran empleados en las anteriores investigaciones (un fluoróforo, tras cierto tiempo de exposición a la luz, libera un electrón que reacciona con el oxígeno, originando radicales tóxicos que dañarían la célula e incluso le causarían la muerte). La estructura de GFP evita ese impacto, pues cuando el fluoróforo libera un electrón, los radicales resultantes quedan dentro de la proteína sin tocar la célula. Como ésta, hay muchas más investigaciones.



Calamares luminiscentes

BIBLIOGRAFIA

1. Bisbal, G. 2019. ¿Qué es la luminiscencia? <https://misanimales.com>
2. Guía del Maestro. 2018. Luciérnagas, estrellas en el bosque. UNAM, México.
3. Ilyina, A.D., Cerda, F.R. et al. 1998. Sistema bioluminiscente luciferina-luciferasa de las luciérnagas. "Parte I: Propiedades bioquímicas y catalíticas de la enzima luciferasa". *Journal of the Mexican Chemical Society*, 42 (mayo-junio).
4. Jaramillo, J. 2014. El brillo que ilumina la ciencia. *Revista Ciencia UANL*, Año 17 N° 65.
5. Lehninger A. 1972. *Bioquímica*.
6. National Geographics en español. Febrero 2016. *Bioluminiscencia*.

7. Peláez. A. 2016. Plantas que brillan con luz propia.
<https://www.dariosur.es/economia/agroalimentacion>

El Bosque como Bomba de Agua

Peter Wohlleben

Traducido de Wohlleben, Peter. *The Hidden Life of Trees*. Pp. 105-112. Múnich, Alemania: Ludwig Verlag, 2015

Como el agua llega al bosque de todos modos o, --para dar un paso más atrás--, cómo llega el agua a la tierra? Parece una pregunta tan simple, pero la respuesta resulta bastante complicada. Una de las características esenciales de la tierra es que es más alta que el agua. La gravedad hace que el agua fluya hacia el punto más bajo, lo que debería hacer que los continentes se sequen. La única razón por la que esto no sucede es gracias a los suministros de agua que caen constantemente las nubes, que se forman sobre los océanos y son arrastradas por el viento. Sin embargo, este mecanismo solo funciona a unos cientos de millas [kilómetros] de la costa. Cuanto más tierra adentro se va, más seco está, porque las nubes llueven y desaparecen. Cuando llegas a unas 400 millas [644 km] de la costa, es tan seco que aparecen los primeros desiertos. Si dependiéramos solo de este mecanismo para el agua, la vida sería posible solo en una banda estrecha alrededor del borde de los continentes; el interior de las masas terrestres sería árido y sombrío. Entonces, gracias a Dios por los árboles

De todas las plantas, los árboles tienen el área de superficie más grande cubierta con hojas. Por cada yarda cuadrada de bosque, 27 yardas cuadradas de hojas [22.6 metros cuadrados] y agujas cubren las coronas. "Parte de cada lluvia es interceptada en el dosel e inmediatamente se evapora nuevamente. Además, cada verano, los árboles usan hasta 8,500 yardas cúbicas [6,500 metros cúbicos] de agua por milla cuadrada, que liberan en el aire a través de la transpiración. ¡Este vapor de agua crea nuevas nubes que viajan más tierra adentro para liberar su lluvia. Como el ciclo continúa, el agua llega incluso a las áreas más remotas. Esta bomba de agua funciona tan bien que las lluvias en algunas grandes áreas del mundo, como la cuenca del Amazonas, son casi tan fuertes a miles de kilómetros tierra adentro como en la costa.

Hay algunos requisitos para que la bomba funcione: desde el océano hasta el rincón más alejado, debe haber bosque. Y, lo más importante, los bosques costeros son los cimientos de este sistema. Si no existieran, el sistema se desmoronaría. Los científicos dan crédito a Anastassia Makarieva de Saint Petersburg en Rusia por el descubrimiento de estas conexiones increíblemente importantes.¹ Estudiaron diferentes bosques en todo el mundo y en todas partes los resultados fueron los mismos. No importaba si alguno de ellos estaba

¹ A. M. Makarieva y V.G. Gorshkov, "Biotic Pump of Stratospheric Moisture as Driver of the Hydrological Cycle on Land", *Hydrology and Earth System Sciences*, 11 (2007), 1013-33, www.bioregulacion.ru/common/pdf/o7e018-hess_bg_pdf, Accesado el 16 de febrero de 2016.

estudiando una selva tropical o la taiga siberiana, era siempre los árboles que transferían pulgadas de humedad que daban vida (a interiores sin litoral). Los investigadores también descubrieron que todo el proceso se rompe si se talan los bosques costeros. Es un poco como si estuvieras usando una bomba eléctrica para distribuir el agua nueva y sacaste la tubería de entrada del estanque. La parte (las consecuencias ya son evidentes en Brasil, donde la selva tropical amazónica se está secando constantemente. Europa Central está dentro de la zona de 400 millas y, por lo tanto, lo suficientemente cerca del área de admisión. Afortunadamente, todavía hay bosques aquí, incluso si están muy disminuidos.

Los bosques de coníferas en el hemisferio norte también influyen en el clima y gestionan el agua de otras maneras. Las coníferas emiten terpenos, sustancias originalmente pensadas como defensa contra enfermedades y plagas. Cuando estas moléculas entran al aire, la humedad se condensa sobre ellas, creando nubes que son dos veces más gruesas que las nubes sobre áreas no boscosas. La posibilidad de lluvia aumenta, y además, alrededor del 5 por ciento de la luz solar se refleja lejos del suelo. Las temperaturas en el área caen. Fresco y húmedo, como le gusta a las coníferas. Dada esta relación recíproca entre los árboles y el clima, los ecosistemas forestales probablemente juegan un papel importante en la desaceleración del cambio climático.

Para los ecosistemas de Europa Central, la lluvia regular es extremadamente importante porque el agua y los bosques comparten un vínculo casi inquebrantable. Los arroyos, estanques, incluso el bosque mismo, todos estos ecosistemas dependen de proporcionar a sus habitantes la mayor estabilidad posible. Un buen ejemplo de un organismo al que no le gustan muchos cambios es el caracol de agua dulce. Dependiendo de la especie, a menudo mide menos de 0,08 pulgadas [2 mm] de largo y le encanta el agua fría. Les gusta no más de 46 grados Fahrenheit [8 grados Celsius], y para algunos caracoles de agua dulce la razón de esto radica en su pasado: sus antepasados vivían en el agua de deshielo que drenaba los glaciares que cubrían gran parte de Europa en la última edad de hielo.

Los manantiales limpios en el bosque ofrecen tales condiciones. El agua sale a una temperatura constantemente fresca para estos manantiales, donde el agua subterránea burbujea a la superficie. E agua subterránea se encuentra bajo tierra, donde está aislado de las temperaturas del aire exterior y, por lo tanto, hace tanto frío en verano como en invierno. Dado que ya no tenemos glaciares, este es el hábitat de reemplazo ideal para los caracoles de agua dulce de hoy. Pero eso significa que el agua tiene que burbujear durante todo el año, y aquí es donde entra en juego el bosque. El suelo del bosque actúa como una gran esponja

que recolecta diligentemente toda la lluvia. Los árboles se aseguran de que las gotas de lluvia no caigan fuertemente en el suelo sino que goteen suavemente de sus ramas. El suelo suelto empaqueta toda el agua, por lo que en lugar de que las gotas de lluvia se unan para formar pequeñas corrientes que se alejan en un abrir y cerrar de ojos, permanecen atrapadas en el suelo. Una vez que el suelo está saturado y el depósito para los árboles está lleno, el exceso de humedad se libera lentamente y en el transcurso de muchos años, más y más profundamente en las capas debajo de la superficie. Pueden pasar décadas antes de que la humedad vuelva a ver la luz del día. Las fluctuaciones entre los períodos de sequía y las fuertes lluvias se vuelven cosa del pasado, y lo que queda es una primavera en constante burbujeo.

Aunque hay que decirlo, no siempre burbujea. A menudo se parece más a un área pantanosa y blanda, un parche oscuro en el suelo del bosque que se filtra hacia el pequeño arroyo más cercano. Si observa más de cerca (y para hacerlo debe ponerse de rodillas), puede distinguir los pequeños riachuelos que traicionan la existencia de un resorte. Ahora, para averiguar si esto es realmente agua subterránea o simplemente agua superficial que queda de una fuerte ducha, busque su termómetro. Menos de 48 grados Fahrenheit? [9 grados Celsius] Entonces es de hecho una primavera. Pero, ¿qué tipo de persona lleva un termómetro todo el tiempo? Otra opción es dar un paseo cuando hay una fuerte helada. Charcos y el agua de lluvia se congelará, mientras que el agua seguirá saliendo de un manantial. Aquí es donde los caracoles de agua dulce llaman hogar, y aquí disfrutan de su temperatura preferida durante todo el año. Y no es solo el suelo del bosque lo que hace esto posible. En verano, un microhábitat como este podría calentarse rápidamente y sobrecalentar los caracoles. Pero el frondoso dosel arroja sombras que bloquean la mayor parte del sol.

El bosque ofrece un servicio similar e incluso más importante a las corrientes. El agua en una corriente es susceptible a mayores variaciones de temperatura que el agua de manantial, que se reemplaza continuamente por agua subterránea fría. Estas corrientes contienen animales como larvas de salamandras y renacuajos, que solo esperan que comience su vida fuera de la corriente. Al igual que los caracoles de agua dulce, necesitan que el agua permanezca fresca para que el oxígeno no escape, pero si el agua se congela, las salamandras bebés morirán. Es bueno que los árboles de hoja caduca simplemente resuelvan este problema. En invierno, cuando hay muy poco calor del sol, las ramas desnudas permiten que penetre mucho calor. El movimiento del agua sobre el fondo irregular también protege la corriente de la congelación repentina. Cuando el sol sube más alto en el cielo a fines de la primavera y el aire es notablemente más cálido, los árboles despliegan sus hojas, cierran las persianas y somborean el agua corriente. Luego, en el otoño, cuando las temperaturas bajan una vez más, el cielo se vuelve a abrir sobre el arroyo cuando los árboles dejan caer todas sus hojas. Es más difícil para las corrientes que fluyen bajo los árboles coníferos. Hace

mucho frío aquí en invierno, y a veces el agua se congela. Porque no usar la ropa adecuada, puede ser desagradable. Si vives en Europa, los árboles caducifolios maduros ofrecen un servicio muy especial para ayudarte: un pronóstico del tiempo a corto plazo presentado por los pinzones. Estas aves de color rojo óxido con cabezas grises normalmente cantan una canción cuyo ritmo a los ornitólogos les gusta transcribir como "chip chip chip choeee choeee cheeo". Pero escucharás esa canción solo en un buen día. Si parece lluvia, la canción cambia a un fuerte "corre corre corre corre corre". ●