



Algunas Soluciones basadas en la Naturaleza para minimizar los efectos de fenómenos meteorológicos extremos como la reciente DANA

En este número dedicado a la restauración de la Naturaleza, la revista *Ambienta* ha considerado retrasar su publicación tras las excepcionales y graves consecuencias provocadas por la DANA, para incorporar este anexo con dos nuevos artículos que hacen una referencia específica al área mediterránea. Se analiza cómo —a medida que los fenómenos climáticos extremos se vuelven más frecuentes y destructivos—, las soluciones informadas por la ciencia que existen pueden ayudar a proteger la zona mediterránea, especialmente vulnerable al calentamiento global, y a las personas que viven en ella.

La renaturalización de ríos, costas y el reverdecimiento de las ciudades no sólo pueden aportar protección frente a futuras riadas e inundaciones, sino que abren la puerta a modelos más sostenibles de convivencia con los ciclos naturales. Este desafío requerirá un esfuerzo importante de reordenación territorial, voluntad política y una ciudadanía informada y comprometida.

También se analizan las posibles soluciones frente a la fragmentación y aislamiento de los ecosistemas naturales provocados por el desarrollo de infraestructuras, la agricultura o la artificialización del suelo, que ha fomentado la conectividad hidrológica artificial, lo cual deviene en un resultado explosivo en términos de erosión, capacidad de transporte por las riadas de sedimentos y materiales y dificultad de control de los efectos de las aguas en episodios de lluvias torrenciales.

España, en su compromiso y con la protección y restauración de la Naturaleza, cuenta con un conjunto operativo de marcos estratégicos que establecen objetivos vinculantes como el Plan Estratégico Estatal del Patrimonio Natural y la Biodiversidad a 2030, la Estrategia Nacional de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas, el Plan Estratégico de Humedales a 2030 y el Plan Director de las Áreas Marinas Protegidas, además de implementar

actuaciones en la restauración de entornos degradados especialmente sensibles, como es el caso de Humedales Ramsar de importancia mundial.

En referencia a la DANA desde este Ministerio se ha colaborado de forma activa en labores prioritarias como la limpieza de cauces y riberas, así como la recuperación de infraestructuras hídricas, bajo la supervisión de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ). Por otra parte, cabe destacar las labores de difusión del Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI), que constituye un instrumento de apoyo a la gestión del espacio fluvial, la prevención de riesgos, la planificación territorial y la transparencia administrativa; o las actuaciones en obras de ingeniería hidráulica y restauración hidrológico forestal en cuencas altas, como repoblaciones forestales, tratamientos selvícolas de defensa y mejora de la cubierta vegetal e hidro-tecnias de corrección torrencial, claves en la defensa contra la desertificación, sequías e inundaciones.

Y, ante la magnitud de la emergencia, en la convocatoria de Renaturalización de Ciudades 2024 —dotada con 38,8 millones de euros cofinanciados por los fondos FEDER— se ha incluido un epígrafe que determina que “los proyectos complementarios y coherentes con políticas, estrategias, planes o programas públicos destinados a mitigar los perjuicios causados, a atender las necesidades de la población afectada y a reponer el estado de las infraestructuras, bienes y servicios dañados (a través de la renaturalización urbana), serán considerados prioritarios en el marco de esta convocatoria”, de tal forma que los proyectos de restauración mediante Soluciones basadas en la Naturaleza y renaturalización de tramos urbanos de ríos en zonas afectadas podrán tener prioridad”.

Desde este Ministerio y esta publicación queremos reiterar nuestra más absoluta solidaridad con todos los afectados.



El río Ebro a su paso por Zaragoza con las cubiertas vegetales de las márgenes

Ante la crisis climática, restaurar la naturaleza es recuperar nuestro escudo

Joan Pino

Catedrático de ecología de la UAB y director del Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF)

El cambio climático ya no es un desafío del futuro; es una realidad que define nuestro presente. Dicha realidad se hace especialmente patente en la región Mediterránea, un territorio especialmente vulnerable a él debido a que, por un lado, se está calentando un 20% más rápido que la media global y, por el otro, el 70% de su población vive en áreas urbanas, en las que los efectos del cambio climático son particularmente severos. Eventos climáticos como las lluvias torrenciales y las inundaciones, característicos de la región, van camino de ser más frecuentes, intensos y severos, según todos los modelos climáticos, poniendo en evidencia las contrapartidas de un modelo de ordenación territorial que, durante décadas, ha urbanizado zonas con un riesgo de inundación significativo sin tener en cuenta suficientemente las dinámicas de los ecosistemas. A medida que los fenómenos climáticos extremos se vuelven más frecuentes, surge

una pregunta urgente: ¿qué soluciones informadas por la ciencia existen para ayudar a proteger a nuestro litoral y a las personas que viven en él?

Expertos en gestión del agua y adaptación al cambio climático coinciden en la dificultad de encontrar soluciones panacea, y más en una situación como la de nuestro litoral, fuertemente urbanizado y con una concentración de usos antrópicos y de población en zonas vulnerables. Sin embargo, todos coinciden también en la necesidad de replantearnos nuestra relación con la naturaleza, y aprender a compartir con ella el espacio. Allí donde sean posibles, las Soluciones basadas en la Naturaleza (como la renaturalización de ríos, costas y el reverdecimiento de las ciudades) no sólo ayudan a protegernos de futuras inundaciones, sino que también abren la puerta a modelos más sostenibles de convivencia con los ciclos naturales.



Panorámica de las estribaciones de la sierra entre Cuenca y Teruel durante el reciente de DANA

Inundaciones y lluvias torrenciales van camino de ser más frecuentes, intensas y severas

Así, la renaturalización, un proceso que busca devolver a los ecosistemas su funcionalidad original, se está posicionando como una solución clave de adaptación al cambio climático que también puede ayudar a mitigar sus riesgos. Desde la restauración de ríos hasta la recuperación de dunas y humedales, esta estrategia plantea un cambio de paradigma en nuestra relación con el entorno. Sin embargo, no es una tarea sencilla ni tampoco siempre viable; especialmente en los territorios más urbanizados y que soportan mayores densidades de población donde, en el caso de ser factibles, requerirán un esfuerzo importante de reordenación territorial, voluntad política y, sobre todo, una ciudadanía informada y comprometida.

Ríos vivos, sociedades más seguras

Los ríos mediterráneos, en cuyas inmediaciones se concentran los principales asentamientos humanos, han sido transformados drásticamente a lo largo de la historia. La canalización, los embalses y el desvío de sus cursos han alterado su dinámica natural, alterando las funciones que desempeñaban como reguladores del ciclo del agua y corredores ecológicos. Si bien estas infraestructuras se diseñaron para proteger a las comunidades, en algunos casos y dado el escenario climático actual, hoy podrían ser ineficaces, incluso llegando a existir la posibilidad de que agraven el problema.

¿A qué nos referimos? Cuando un río se desborda, es común escuchar voces que piden “limpiar los cauces” o canalizarlos. Sin embargo, la vegetación autóctona que rodea a los ríos actúa como un freno natural, y en el caso que se elimine como parte de un proceso de “limpieza”, el agua fluirá más rápido y con mayor fuerza, pudiendo llegar a aumentar su poder destructivo. De la misma manera, si se estrecha el cauce de un río con canalizaciones, éste pierde su capacidad

de ensancharse al crecer su caudal, produciendo el mismo efecto que la eliminación de la vegetación autóctona.

En este sentido, es importante destacar que la Directiva Marco del Agua (DMA), pilar central de la gestión hídrica en la Unión Europea, apuesta por la restauración del estado de las masas de agua, incluyendo sus componentes ecológicos clave, como los bosques de ribera, y que no se menciona en ninguna recomendación por parte de las políticas europeas actuales la “limpieza” de los ríos.

Los bosques de ribera son componentes ecológicos clave en la restauración de los ríos

En este sentido, los bosques de ribera son esenciales para la salud de los ríos. Estos ecosistemas no solo actúan como barreras naturales que ralentizan el flujo del agua durante las crecidas, reduciendo su fuerza y favoreciendo la infiltración hacia los acuíferos. Además, sirven de refugio para la biodiversidad, mejoran la calidad del agua al filtrar contaminantes y estabilizar las orillas, ayudan a regular el caudal, y controlan de manera natural la presencia de especies invasoras como la caña (*Arundodonax*).

Por todo ello, hay que tener en cuenta que la restauración de ríos no solo reduce los riesgos asociados a las inundaciones, sino que también aporta beneficios adicionales. En el río Arga, en Navarra, se ha recuperado parte de su curso natural, mejorando la calidad del agua, y creando nuevos



La vegetación autóctona que flanquea los ríos actúa como un freno natural contra el agua, pero el exceso de restos sin limpiar, normalmente por el abandono de las zonas rurales, se convierten en agentes muy destructivos cuando sobreviene una riada © EF / Terabithia

Devolver a los ecosistemas su funcionalidad original ya es una solución clave de adaptación al cambio climático



En el río Arga (Navarra) se ha recuperado parte de su curso natural creando nuevos hábitats para especies críticamente amenazadas como el visón europeo (*Mustela lutreola*)
© M. Mecawroski

hábitats para especies críticamente amenazadas como el visón europeo (*Mustela lutreola*). Estos proyectos son ejemplos de cómo la renaturalización puede convertirse en una herramienta multifuncional, abordando tanto la adaptación al cambio climático como la restauración y conservación de la biodiversidad.

Inundaciones y sequías: dos caras de la misma moneda

Restaurar los ríos y sus dinámicas naturales también es una estrategia para aumentar la resiliencia de las sociedades frente a las sequías. Un río en buen estado ecológico es capaz de regular los flujos de agua de forma más eficiente, tanto en épocas de exceso como en momentos de escasez. La restauración fluvial, por tanto, no solo implica la eliminación de especies invasoras o la reforestación de las márgenes, sino también la recuperación de la conectividad del cauce, la mejora de la calidad morfológica de los ríos y la restauración de las zonas de recarga de los acuíferos.

Los acuíferos son esenciales para garantizar el abastecimiento de agua en momentos de sequía, ya que actúan como reservas subterráneas que se mantienen mucho más estables que las aguas superficiales de los ríos o embalses. Las inundaciones, aunque a menudo se ven como un desastre, son en realidad una parte esencial del ciclo hidrológico. Cuando un río puede desbordarse de manera natural recarga los acuíferos y otras partes del sistema hidrológico. Sin embargo, en muchos casos, el desarrollo urbanístico y la construcción de muchas infraestructuras —como las presas, las motas y los canales— han comprometido frecuentemente el mantenimiento de estos procesos naturales. La clave de la restauración fluvial es devolver a los ríos su capacidad de regulación. Para ello, eliminar las impermeabilizaciones en las zonas estratégicas de recarga de agua y devolverles a los ríos el espacio para que puedan inundarse (donde sea posible y de manera controlada) es un paso fundamental. La restauración fluvial es, por tanto, una de las soluciones más efectivas y sostenibles para adaptar nuestras ciudades y paisajes a los nuevos desafíos climáticos, garantizando agua para las generaciones futuras.



Un río en buen estado ecológico es capaz de regular los flujos de agua de forma más eficiente © Terabithia

Debemos capacitar a la ciudadanía para actuar de manera adecuada durante eventos extremos

Un nuevo modelo para las ciudades

¿Qué otros retos existen si hablamos de inundaciones y restauración de la naturaleza? Sin lugar a duda, el del urbanismo y la configuración de nuestras ciudades. Las ciudades mediterráneas han crecido en torno a ríos y costas, transformando paisajes naturales en entornos dominados por el cemento y el asfalto. La impermeabilización del suelo es uno de los mayores problemas asociados a este modelo y vivimos además en zonas muy vulnerables a las inundaciones, desarrollando áreas urbanas, industriales, comerciales, o infraestructuras en áreas con un riesgo de inundación remarcable. El agua se infiltra con dificultad en las ciudades más densas y dominadas por cubiertas artificiales, lo que incrementa los efectos devastadores de las lluvias torrenciales. En un bosque el 95% del agua que cae se infiltra en el suelo o es captado por la naturaleza y las raíces, y sólo el 5% corre por la superficie. En las ciudades, estos porcentajes se invierten, y en la mayoría de los casos tenemos una infiltración mínima y una gran cantidad de agua circulando por la superficie.

En definitiva, tenemos que cambiar el chip y empezar a diseñar ciudades que trabajen con el agua, no contra ella. Un primer paso esencial es aplicar y actualizar la legislación vigente en materia de gestión territorial y recursos hídricos. Muchas estrategias de adaptación, aunque ya definidas, no han llegado a implementarse. Estas incluyen soluciones como la creación de zonas de laminación, espacios donde el agua puede expandirse e infiltrarse sin causar daños a áreas urbanas y la restauración de humedales y tramos fluviales en las cercanías de las ciudades. Estas medidas no solo reducen el riesgo de inundación, sino que también mejoran la capacidad de los sistemas naturales para regular el flujo hídrico y recargar acuíferos.



Tejado verde en el condado británico de Arlington, una Solución basada en la Naturaleza cada vez más comúnmente utilizada que reduce la escorrentía y ayuda a regular la temperatura

Intervenciones verdes

Dentro de las ciudades, las soluciones pasan por intervenciones verdes e infraestructuras sostenibles. Parques diseñados para acumular agua de lluvia durante tormentas intensas, pavimentos permeables que permiten la infiltración, techos verdes que reducen la escorrentía y ayudan a regular la temperatura, y sistemas de drenaje urbano sostenibles son ejemplos de medidas que disminuyen la impermeabilización del suelo y mejoran la gestión del agua. Estas iniciativas, además de reducir el riesgo de inundaciones, transforman el entorno urbano en un espacio más habitable y resiliente frente al cambio climático, así como más saludable para las personas y el resto de los seres vivos.

Respuesta ante emergencias

Sin embargo, la adaptación urbana no puede limitarse únicamente a soluciones constructivas. Es igual de importante mejorar la gobernanza y la capacidad de respuesta ante emergencias climáticas. Esto implica capacitar a la ciudadanía para actuar de manera adecuada durante eventos extremos, ofrecer información climática clara y accesible, y promover el uso de servicios climáticos y sistemas de alerta temprana. La implementación de estas estrategias no solo reduce el impacto de los eventos climáticos, sino que también refuerza la confianza y la cohesión social. Un aspecto crítico es garantizar que estas medidas lleguen a toda la población, en especial a los colectivos más vulnerables. Muchas personas en situación de riesgo, que carecen de acceso a dispositivos móviles y documentación, pueden quedar fuera de los sistemas de alerta y atención. Por ello, cada ciudad debería realizar una revisión exhaustiva de sus planes de gestión de riesgos y actualizar sus estrategias, teniendo en



Los jardines de agua son una solución complementaria para que las ciudades sean más resilientes al cambio climático © Elvert Barnes

cuenta no solo las proyecciones climáticas, sino también las desigualdades sociales y las condiciones locales.

En última instancia, la adaptación urbana debe alinearse con los principios de restauración de los ecosistemas naturales. Las ciudades no están aisladas de su entorno; dependen de la conectividad con ríos, humedales y zonas naturales para regular el agua y mitigar los impactos climáticos. Al implementar estas medidas integradas, se construyen no solo ciudades más seguras, sino también comunidades más resilientes y preparadas para afrontar los retos del futuro.

La adaptación urbana debe alinearse con los principios de restauración de los ecosistemas naturales



Playa de l'Ahuir (Xeraco, Valencia), un ejemplo de composición dunar mediterránea y uno de los tramos más vírgenes del litoral valenciano. La conservación de costas con dunas y vegetación autóctona protege las zonas arenosas de la erosión y actúa como barrera ante la fuerza del mar durante episodios tormentosos © Beatriz Sirvent / Flickr

Costas en peligro: restaurar para resistir

La erosión costera y los impactos de fenómenos extremos como las DANAs y las inundaciones ponen de manifiesto la necesidad de restaurar las dinámicas naturales del litoral mediterráneo. Actualmente, el movimiento de los sedimentos está gravemente afectado por la urbanización excesiva, con construcciones como espigones, puertos, paseos marítimos y líneas de tren que alteran el flujo natural de arena desde los ríos hacia las playas. Este desequilibrio ha llevado a playas cada vez más estrechas y menos resilientes, que junto con el aumento del nivel del mar a causa del cambio climático compromete su capacidad para actuar como barrera protectora frente a inundaciones y temporales.

Para mitigar algunos de estos efectos es fundamental adoptar Soluciones basadas en la Naturaleza, como la restauración de dunas y marismas, la eliminación de infraestructuras que bloquean el paso del agua, y la recuperación de los flujos sedimentarios desde los ríos hasta el mar. Así, la mejor estrategia no es construir más infraestructuras, sino recuperar el funcionamiento natural del litoral para asegurar su resiliencia a largo plazo y mantener este escudo. Todas estas soluciones no sólo reducen el impacto de ciertos eventos extremos, sino que también fortalecen los ecosistemas costeros, esenciales para la protección frente al cambio climático.

Las dunas, en particular, actúan como una barrera natural frente a las tormentas. Sin embargo, la urbanización ha destruido o degradado gran parte de estos sistemas. En Cataluña, se están llevando a cabo proyectos piloto para restaurar dunas en playas como la de Gavà, combinando técnicas de revegetación con la sensibilización ciudadana. En la Comunidad Valenciana, la restauración de sistemas dunares en

Frente al cambio climático, la naturaleza no es el problema, sino parte de la solución

zonas como el Parque Natural de la Albufera ha permitido proteger las playas frente a la erosión, mientras que la revegetación con especies autóctonas ha mejorado la capacidad de estas áreas para resistir el impacto de las tormentas.

En el ámbito marino, las praderas de Posidonia oceánica son un ejemplo claro de cómo la naturaleza puede ayudarnos a enfrentar los desafíos del cambio climático. Esta planta, endémica del Mediterráneo, forma praderas submarinas que actúan como barreras naturales frente a las olas mientras almacenan grandes cantidades de carbono. Sin embargo, su conservación requiere un esfuerzo conjunto, incluyendo la regulación del fondeo de embarcaciones y la reducción de la contaminación.



Los bosques de ribera controlan de manera natural la presencia de especies invasoras como la caña (Arundodonax), tan destructivas en episodios de riadas



Los impactos de fenómenos extremos como las DANAs y las inundaciones ponen de manifiesto la necesidad de restaurar las dinámicas naturales del litoral mediterráneo como en esta zona del Golfo de Calpe (Alicante) © EF / Terabithia

Un cambio cultural hacia una sociedad preparada

La renaturalización no solo implica cambios físicos en el territorio, sino también una transformación cultural. Durante décadas, las sociedades mediterráneas han visto a la naturaleza como algo que debía ser dominado y controlado. Sin embargo, los eventos climáticos extremos están demostrando que esta visión no es sostenible a largo plazo.

Necesitamos fomentar una cultura del riesgo, donde la población entienda los límites del territorio y las medidas necesarias para adaptarse. Esto incluye educar a la ciudadanía sobre los beneficios de la renaturalización y los riesgos asociados al cambio climático, así como promover una gestión más integrada y participativa.

Asimismo, la renaturalización requiere no solo voluntad política, sino también un enfoque informado por la evidencia científica. La ciencia desempeña un papel crucial en la identificación de áreas prioritarias para la restauración, el diseño de intervenciones eficaces y la evaluación de sus impactos. Al mismo tiempo, es necesario que los responsables políticos adopten un enfoque integrado que combine la gestión de riesgos con la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible. Un ejemplo de este enfoque es el programa LIFE Alnus, que trabaja en la restauración de bosques de ribera en Cataluña mientras involucra a las comunidades locales en su gestión. Este tipo de iniciativas demuestra que la participación ciudadana es esencial para garantizar el éxito de los proyectos de renaturalización.

En definitiva, renaturalizar los ecosistemas fluviales y costeros no es una solución mágica, ni un proceso rápido. Tampoco significa hacer una regresión histórica y volver

La renaturalización requiere no solo voluntad política, sino también un enfoque informado por la evidencia científica

a como vivíamos los humanos cientos de años atrás. La renaturalización implica aceptar que no siempre será posible deshacer décadas de urbanización y explotación del territorio. Sin embargo, sí que es una oportunidad para replantear nuestra relación con la naturaleza, poner esta cuestión en el centro del debate público y avanzar hacia un modelo de desarrollo más sostenible y resiliente. Es hora de replantearnos qué tipo de comunidad queremos en nuestro futuro, porque renaturalizar es más que restaurar paisajes; es restaurar relaciones, es entender que nuestra supervivencia depende de un equilibrio dinámico con el mundo natural y que, frente al cambio climático, la naturaleza no es el problema, sino parte de la solución. Si queremos un Mediterráneo habitable para las futuras generaciones, el momento de actuar es ahora.



La renaturalización y el cauce reformado del río Manzanares (Madrid), más la acción de los tanques de tormentas, protegen a las zonas ribereñas de inundaciones



Soluciones basadas en la Naturaleza para mitigar los efectos de las lluvias

El control de la conectividad hidrológica en zonas agrícolas

Gonzalo G. Barberá, José A. Gómez, Víctor Castillo

CEBAS-CSIC, Murcia

Jorge Sánchez Balibrea

ANSE, Murcia

El término conectividad es de uso general e implica la capacidad de conexión entre los distintos componentes de un sistema determinado. En el ámbito medioambiental el término conectividad tiene sus propios significados. La fragmentación y aislamiento de los ecosistemas naturales con el desarrollo de la agricultura es un tema recurrente en la biología de la conservación desde los años 1980, ya que favorece las extinciones locales y dificulta los procesos de recolonización, produciendo un empobrecimiento de los ecosistemas en los fragmentos aislados. Una manera de contrarrestar estos efectos es crear una red de corredores con una estructura similar a los ecosistemas naturales que (re)conecten los fragmentos aislados.

La definición de la conectividad hidrológica admite varios matices, pero, simplificando, podemos decir que se refiere a la capacidad del agua para moverse a través del paisaje. El agua o, mejor, sus flujos, es un agente esencial de transporte de solutos y material particulado en suspensión dentro de un ecosistema y entre ecosistemas dentro de paisajes y regiones. La importancia de la alteración de la conectividad hidrológica en el funcionamiento ecológico no puede ser minimizada. Para los organismos acuáticos (p. ej. peces) o con fases de desarrollo acuáticos (p.ej. anfibios u odonatos) la conectividad hidrológica en la red de drenaje puede asimilarse laxamente a los corredores que referíamos en el párrafo anterior.



La conexión de pequeños flujos en flujos mayores en procesos de lluvia torrencial debido al incremento de la conectividad tiene un resultado explosivo en términos de erosión © Pranavan S.

En este artículo centramos nuestra atención en una perspectiva que obvia los efectos biológicos y se fija en la conectividad hidrológica desde el punto de vista de la transferencia de flujos de agua desde el terreno *fuera* de la red de drenaje *hacia* la red de drenaje y en las conexiones entre cauces en zonas de cabecera de la red drenaje como elementos básicos del movimiento de agua, solutos y sedimentos en el paisaje. Hay que hacer notar que en la consecución de objetivos medioambientales el incremento de la conectividad biológica suele ser positivo, pero, como veremos, el incremento de la conectividad hidrológica es negativo.

Los agroecosistemas se caracterizan por una alteración importante de la estructura de la vegetación y del suelo respecto al ecosistema original que fue transformado. El grado de alteración depende del tipo de ecosistema original, el cultivo al que ha sido transformado y las prácticas agrarias. La pérdida de complejidad estructural de la vegetación, de su contenido en carbono y la 'regularización' del relieve son una constante. Todas estas alteraciones redundan en un descenso de la infiltración de la lluvia y un aumento de la escorrentía, lo que resulta en una mayor proporción de escorrentía para la misma cantidad de precipitación.

La actividad agraria clásica incrementa los flujos de agua en el paisaje, aunque sea a pequeña escala espacial. Imaginemos una lluvia de una intensidad y duración determinada que en el ecosistema original es completamente infiltrada. Tras la transformación agraria, debido a los cambios en vegetación y suelo, una proporción de la precipitación no llega a infiltrar y se moverá en la parcela típicamente formando pequeños regueros. El destino de estos flujos es variable, dependiendo de las características del evento lluvioso y del terreno. En ecosistemas naturales mediterráneos, particularmente en los semiáridos, la capacidad de infiltración del suelo es heterogénea con zonas con poca capacidad de infiltración que generan escorrentía laminar y/o en pequeños regueros que alcanzan zonas de mayor capacidad de infiltración que son capaces de infiltrar este exceso de agua procedente de áreas inmediatas. Estos son típicamente las áreas bajo vegetación árbol que suelen tener mayor contenido en materia orgánica, lo que confiere al suelo mejor estructura, mayor porosidad y de ahí mayor capacidad de infiltración. Este efecto a pequeña escala resulta, para lluvias moderadas, en un *cortocircuito* generalizado de la conexión entre los pequeños regueros, es decir, en una disminución de la conectividad hidrológica que podemos llamar potencial.



Cultivo tradicional dispuesto en terrazas de diversas especies en Banyalbufar (Mallorca) © Tolo Balaguer

Conectividad intra-parcela

En un agroecosistema, la conectividad hidrológica intra-parcela se incrementa por la pérdida de la capacidad de infiltración (aunque esto es muy variable dependiendo del momento y forma de laboreo, una de cuyas funciones es precisamente aumentar la infiltración), la pérdida de la protección de la vegetación, la homogeneización del microrrelieve, la regularización de las estructuras parcelarias y la simplificación general de la morfología. ¿Qué significa que se incrementa la conectividad intra-parcela? Los pequeños flujos laminares y regueros sólo se conectaban entre sí sólo cuando la lluvia superaba un umbral. Tras la transformación agrícola el nivel de ese umbral desciende, y para la misma lluvia la probabilidad de conexión entre estos pequeños flujos intra-parcela se incrementa y los flujos resultantes de la conexión entre los pequeños regueros los hace más potentes en caudal y energía.

Erosión y sedimentos

El transporte de sedimentos en una corriente de agua es un proceso físicamente complejo, pero hay algunas generalizaciones que se pueden hacer. La unión de estos pequeños regueros redundará en una mayor descarga (volumen por unidad de tiempo) del nuevo flujo resultado de la unión y, en general, en una mayor velocidad. La *competencia* del flujo es el tamaño de partícula más grande que un flujo de agua puede transportar y se incrementa aproximadamente con la sexta potencia de la velocidad. Es decir, pequeños cambios de velocidad da-

La conectividad hidrológica se refiere a la capacidad del agua para moverse a través del paisaje

rán lugar a cambios proporcionalmente enormes en el tamaño de partículas que serán movilizadas. Por otro lado, la *capacidad* es la máxima cantidad de sedimento que un flujo puede transportar. La capacidad se incrementa con la descarga y la velocidad de la corriente. En este caso, la capacidad se incrementa entre el cuadrado y el cubo de la velocidad, lo que implica, de nuevo, fuertes incrementos en la capacidad de transporte de sedimentos con cambios relativamente pequeños en la velocidad de la corriente. Es decir, la conexión de pequeños flujos en flujos mayores debido al incremento de la conectividad tiene un resultado explosivo en términos de erosión, capacidad de transporte y dificultad de control de los efectos aguas debajo de las lluvias torrenciales.

La mecanización agrícola

De lo expuesto en el párrafo anterior se deduce que en el control de la erosión y la escorrentía es muy importante disminuir la conectividad en el paisaje, particularmente en los estadios iniciales donde se forman esos pequeños regueros que se unen en regueros más grandes que acaban en la red de drenaje y en las zonas de cabecera de la red de drenaje. Los paisajes agrarios desde la escala de parcela a la escala de paisaje, por las razones aludidas anteriormente, muestran conectividades hidrológicas



Seto con labiadas cultivadas y silvestres en cultivo hortícola de muy alta intensidad, formando una estructura de bajo porte que interfiere mínimamente con el cultivo pero constituye una densa barrera frente a pequeños flujos de agua © JSB

En el control de la erosión y la escorrentía es muy importante disminuir la conectividad en el paisaje

más elevadas que las que se dan en los paisajes seminaturales. La modernización de la agricultura no ha hecho más que exacerbar esta tendencia. Las parcelas han ido creciendo en tamaño promedio para facilitar la mecanización, las calles se han ido haciendo más largas para disminuir los tiempos de laboreo, las medidas tradicionales de conservación como terrazas y taludes de suelo han ido siendo minimizadas o, simplemente, eliminadas y así sucesivamente. La modernización e intensificación de la agricultura afecta también a las prácticas agrarias: disminuyen los barbechos, aumentan las superficies desnudas, etc.

En algunos lugares estas tendencias se manifiestan de manera aumentada. El sureste ibérico o el olivar en Andalucía oriental son quizás paradigmáticos en este sentido. En el primer caso el uso generalizado del riego por goteo permite cultivar en regadío zonas con cierta pendiente y mínimas o nulas medidas de conservación de suelo en zonas que han sufrido transformaciones muy intensas. No es excepcional encontrar explotaciones con calles a favor de pendiente de más de 1 kilómetro de longitud. Por su parte, el olivar se ha expandido por zonas de altas pendientes y materiales fácilmente erosionables y se cultivan con mínima cubierta vegetal.

Este aumento de la conectividad hidrológica desde el ecosistema (semi)natural al cultivo tradicional y de éste al intensivo se refleja en la dinámica hidrológica regional y en el aumento del riesgo de inundación y procesos colaterales de exportación de nutrientes y contaminantes. Por ejemplo, en el Mar Menor, un área que



El olivar se ha expandido por zonas de altas pendientes y materiales fácilmente erosionables y se cultivan con mínima cubierta vegetal

La adición de restos de poda protege el suelo del impacto directo de la lluvia



Las barreras se han hecho obligatorias para disminuir el aporte de nutrientes al Mar Menor, pero el registro de numerosos episodios de lluvia intensa, sugiere que su eficacia global no está optimizada



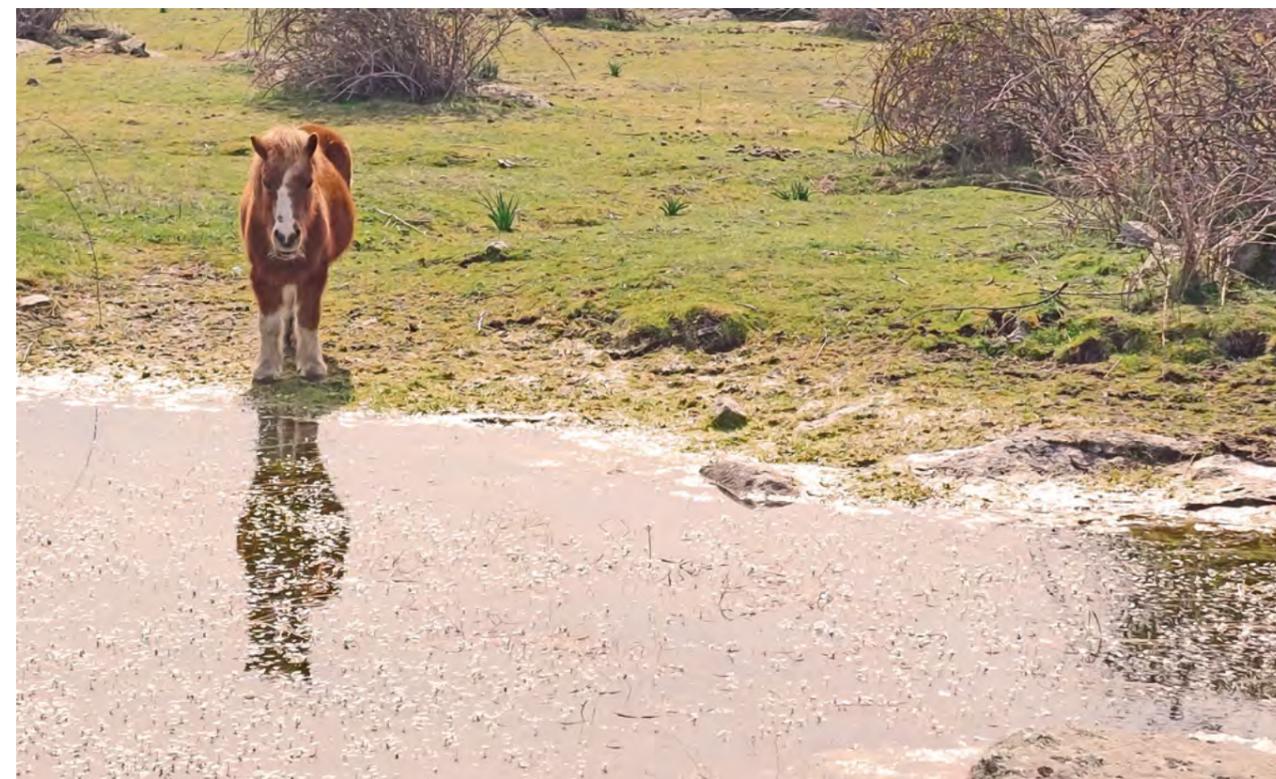
El río Eo a su paso por Ribeira de Piquín (Lugo). Conservar y restaurar las barreras vegetales originarias, además del control de los flujos hídricos, son elementos de renaturalización que incrementan los servicios ecosistémicos en polinización y biodiversidad de vertebrados e invertebrados y a su vez protegen los minifundios ribereños © Terabithia

ha sufrido una expansión de los nuevos regadíos muy importante en los últimos 40 años, con un aumento de la conectividad, las fluctuaciones de salinidad se han ido haciendo más importantes en el periodo posterior al 2000 comparado con 1980-2000. Un episodio de lluvia torrencial provoca un pulso de descarga de agua dulce que disminuye la salinidad. El aumento en la intensidad de estas fluctuaciones sugiere una respuesta más espasmódica de la cuenca vertiente a las lluvias torrenciales.

Cada lluvia torrencial provoca una descarga de agua dulce que disminuye la salinidad del Mar Menor

El control de la conectividad en paisajes agrarios se convierte en una necesidad para gestionar la dinámica hidrológica regional y minimizar los efectos negativos de las precipitaciones intensas, así como para reducir los procesos erosivos. Obviamente, los episodios más extremos como el que, desgraciadamente, recientemente ha sucedido en Valencia, no son susceptibles de ser mitigados con medidas sobre la conectividad hidrológica a pequeña escala y deben ser abordados mediante ordenación territorial y, dependiendo de la situación, ciertas obras hidráulicas. Sin embargo, en situaciones menos extremas como, por ejemplo, precipitaciones de 70 mm en 24 horas, el control de la conectividad en los paisajes agrarios en las escalas de parcela, explotación y agrupación de explotaciones pueden producir importantes beneficios, tanto a nivel de explotación como en los efectos aguas abajo que pueden afectar a otras explotaciones, poblaciones e infraestructuras.

Una parte importante de las acciones para disminuir la conectividad hidrológica en paisajes agrarios se puede llevar a cabo con Soluciones basadas en la Naturaleza (SBN), que además conllevan otros beneficios como veremos después. No obstante, y especialmente en las grandes zonas transformadas a cultivos intensivos, ciertos cambios en la estructura física de las explotaciones pueden ser necesarios lo que implica una metodología en una zona intermedia entre las SBN e ingeniería de baja intensidad.



La calidad del suelo y su contenido en materia orgánica tiene un papel esencial en aumentar la capacidad de infiltración del suelo en los eventos lluviosos extremos © Terabithia

Las medidas para reducir la conectividad hidrológica en agroecosistemas se pueden distinguir en acciones extensivas sobre la totalidad de una parcela o gran parte de ella (medidas en dos dimensiones) y medidas para interrumpir o atenuar los flujos laminares o concentrados (medidas lineales o puntuales) entre parcelas u otros elementos del paisaje. Las primeras apuntan sobre todo a elevar los umbrales en los que el suelo comienza a generar flujos laminares o concentrados, mientras que las segundas están orientadas a interceptar estos flujos, a ser posible en sus fases más incipientes.

Cubiertas verdes y más materia orgánica

Entre las medidas aplicables en parcela encontramos las cubiertas verdes, los acolchados y triturado de restos de poda y el incremento en general de la materia orgánica. Es obvio que estas tres medidas no son independientes entre sí. El mejor indicador simple de calidad del suelo es su contenido en materia orgánica que tiene un papel esencial en aumentar la capacidad de infiltración del suelo en los eventos lluviosos. La adición de restos de poda locales o de otros orígenes protege el suelo del impacto directo de las gotas de lluvia (un factor importante de *sellado* el suelo) y aumenta el contenido en materia orgánica del suelo en el largo plazo. Las cubiertas verdes tienen un objetivo similar (proteger el suelo y aumentar



Cubierta espontánea en la Vega Alta del Segura. La cubierta incrementa el contenido de materia orgánica y protege el suelo de efectos adversos del suelo como el sellado, favoreciendo la infiltración del agua © Jorge Sánchez Balibrea



Talud revegetado en balsa de riego área de cultivo intensivas. La revegetación no sólo asegura el talud sino que disminuye la generación de flujos del mismo hacia el cultivo, flujos que se pueden concentrar en regueros de mayor entidad © JSB

su contenido en materia orgánica) pero son comunidades vivas que pueden competir con el cultivo arbóreo donde se implantan. Asimismo, la descomposición de la materia orgánica en ambos casos puede implicar un consumo competitivo de nutrientes por parte de los descomponedores.

Cultivos en terrazas

Las medidas lineales y puntuales se basan en el simple principio de establecer una barrera que intercepte el flujo y lo infiltre o disperse total o parcialmente. Una medida mixta entre estas barreras y el tratamiento de toda la parcela es la tradicional estrategia mediterránea (y de otros lugares con escasas precipitaciones) de construcción de terrazas bien para toda una parcela, bien en las zonas de la parcela donde los flujos convergen. La modificación del terreno facilita la infiltración del agua en toda la parcela y/o la interceptación de flujos concentrados en las zonas que actúan como cabeceras de las redes de drenaje. Las terrazas tradicionales son estructuras de ingeniería de baja intensidad que han sufrido una desaparición muy importante de nuestros paisajes debido a la simplificación de las explotaciones en aras de la intensificación.

En el campo de SBN las barreras vegetales se configuran como una herramienta básica en la disminución de la conectividad hidrológica. Las barreras vegetales pueden ser más ‘porosas’ que una estructura física inanimada. Sin embargo, que una barrera que no detiene un flujo concentrado, pero lo dispersa en un conjunto de flujos menores tiene un gran efecto sobre la capacidad erosiva y de transporte original por la relación entre volumen y velocidad de un flujo de agua y su competencia y capacidad de transporte. En una reciente revisión global llevada a cabo por uno de los autores de este artículo y su equipo encontró que estas barreras tienen una eficiencia del orden del 40% para escorrentía, N y P y del 60% para sedimentos. En condiciones reales a gran escala quizás estas eficiencias no son tan elevadas, no a causa de factores intrínsecos de la barrera sino a su disposición espacial que no suele estar optimizada respecto a la conectividad potencial de los distintos sectores de la explotación. Así, por ejemplo, en la cuenca vertiente del Mar Menor donde las barreras se han hecho obligatorias para disminuir el aporte de nutrientes al Mar Menor, un inventario extensivo en episodios de lluvia intensa, sugiere que su eficacia global queda por debajo de la potencial porque la disposición global no está optimizada y depende mucho de la estructura de lindes que tiene una relación no muy alta con la morfología del terreno.



Las barreras vegetales tienen, además, un papel multifuncional, más allá del control de los flujos hídricos. Son elementos de renaturalización en paisajes muy alterados que incrementan los servicios ecosistémicos en polinización, control de plagas y biodiversidad de vertebrados e invertebrados, así como secuestro de carbono.

La legislación actual

La introducción de prácticas a nivel de parcela para controlar la conectividad es favorecida por la PAC y otras normas regulatorias. Respecto a las barreras vegetales, la PAC y otras normas como la aludida para el Mar Menor favorecen su implantación y conservación, pero existen barreras, en este caso económicas, técnicas y administrativas, para alcanzar una extensión y diseño adecuados. En zonas de secano de baja productividad, el coste marginal de la implantación y mantenimiento puede ser, proporcionalmente, muy alto. En cambio, en las zonas más intensivas estos costes marginales son proporcionalmente bajos. Por otro lado, en la normativa no hay el suficiente énfasis en el diseño espacial de las barreras. Más aún, toda la normativa suele estar enfocada a la parcela y la explotación, pero la conectividad es un concepto paisajístico que implica relaciones entre elementos de paisaje que pueden formar parte de

La normativa, la formación y la extensión agraria deben abordar el diseño espacial de las barreras para regulación de la conectividad hidrológica

diferentes parcelas y explotaciones. Es necesario abordar esta peculiaridad más desde el punto de vista de formación y extensión agraria que el puramente normativo, que suele producir saturación, sofocación y finalmente rechazo. Un ejemplo reciente de este enfoque son las directrices técnicas del Plan de Mejora de la Eficiencia y Sostenibilidad de los Regadíos incluido en el PRTR.



Simplificación del paisaje agrario del Campo de Cartagena 1956-2022. El cambio está causado por la modernización e intensificación y supone un aumento importante de la conectividad hidrológica

NUESTRAS PLAYAS, NUESTRA MEJOR DEFENSA.

Unas playas sanas y libres de edificaciones son nuestra mejor protección contra las amenazas que vienen por mar. Su ecosistema natural cumple una función fundamental para contener las embestidas del oleaje, especialmente durante las tormentas. De esta manera, evita la erosión de la línea de costa y el consiguiente riesgo de inundaciones en las zonas cercanas. Ahora ya lo sabes ...
protegiendo las playas permitimos que ellas nos protejan a nosotros.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO