

REGENERATIVE ACCESS INFRASTRUCTURE · ARTÍCULO 1 / 5

La zanja invisible que vacía nuestros ríos

Por qué las infraestructuras concebidas para proteger un camino pueden, a escala de una cuenca hidrográfica, amplificar las crecidas, acelerar la desecación del territorio y aumentar su vulnerabilidad al fuego

«Durante más de un siglo, construimos infraestructuras para evacuar el agua. El siglo XXI nos obliga ahora a aprender a retenerla, ralentizarla y orientarla.»

ALAIN BÉLANGER

Ingeniero forestal · Empresario · Beyond Sustainable Tech
Iniciativa mundial para las cuencas regenerativas | Agosto de 2026

UNA NUEVA REFLEXIÓN SOBRE LAS INFRAESTRUCTURAS DEL SIGLO XXI

Hace algunos años, en una obra forestal, vi ceder una alcantarilla recién instalada durante una lluvia que, diez años antes, probablemente no habría preocupado a nadie.

En una sola noche, el agua había excavado una cárcava de casi tres metros y arrastrado un tramo de un camino que acabábamos de terminar.

Durante mucho tiempo, consideré este tipo de suceso como un accidente provocado por una lluvia excepcional. Pero, después de más de treinta y cinco años construyendo caminos de acceso, gestionando grandes territorios forestales y contribuyendo a plantar más de cien millones de árboles, he visto repetirse esta situación demasiadas veces como para seguir tratándola como una simple anomalía.

La lluvia ha cambiado. Su frecuencia, su intensidad y su distribución están cambiando.

Pero eso es solo una parte del problema.

La otra parte, más difícil de reconocer, es que la forma en que construimos caminos desde hace más de un siglo puede amplificar precisamente el fenómeno que intenta controlar.

Hemos optimizado el activo -el camino- sin medir siempre el efecto acumulado de ese activo sobre el sistema en el que se encuentra: la cuenca hidrográfica.

Una buena respuesta a un problema real

Primero hay que hacer justicia a la ingeniería vial convencional.

El principio del drenaje no nació de un error ni de una negligencia. Responde a un problema muy concreto: un suelo saturado pierde parte de su capacidad portante. El agua atrapada en una estructura vial puede congelarse, expandirse, provocar deformaciones y después contribuir al deterioro de la calzada durante el deshielo.

La respuesta lógica fue, por tanto, retirar el agua de la estructura lo más rápidamente posible.

Construimos cunetas a lo largo de las carreteras. Instalamos alcantarillas. Compactamos los suelos. Utilizamos materiales granulares drenantes y calculamos pendientes para conducir el agua fuera de la franja de ocupación de la vía.

A escala de un camino, esta lógica es racional.

El problema aparece cuando se suman sus efectos a escala de un territorio.

Un ingeniero que construye una cuneta busca proteger unos cientos de metros de carretera. No diseña deliberadamente un sistema destinado a vaciar una cuenca. Sin embargo, cuando se conectan miles de kilómetros de carreteras, cunetas y alcantarillas, eso es exactamente lo que podemos terminar creando:

Una segunda red de drenaje, superpuesta a la red hidrográfica natural.

La red vial se convierte en una red hidrológica

Este fenómeno no es solo una observación de campo.

La investigación en hidrología forestal lo documenta desde hace varias décadas.

En dos cuencas estudiadas en Oregón, los investigadores observaron que hasta el 57 % de la longitud total de la red vial podía funcionar como una auténtica vía de escurrimiento. [1]

Algunos tramos conducían el agua directamente hacia los cursos de agua. Otros concentraban los flujos lo suficiente como para crear nuevas cárcavas de erosión que no existían antes de construir la carretera.

Por tanto, la cuneta no es solamente un elemento destinado a mantener seca una carretera.

A escala del paisaje, se convierte en una rama artificial de la red hidrográfica.

Intercepta el agua cuyo movimiento normalmente habría sido ralentizado por la vegetación, que el suelo habría absorbido o que se habría distribuido sobre una gran superficie. La concentra, acelera su desplazamiento y la dirige hacia un número limitado de puntos de descarga.

Esta concentración puede producir dos consecuencias que parecen opuestas, pero que provienen del mismo mecanismo:

- demasiada agua, demasiado rápido, durante las lluvias intensas;
- muy poca agua conservada en el territorio durante las semanas secas que siguen.

En otras palabras, una misma infraestructura puede contribuir a aumentar los caudales máximos en los períodos húmedos y a reducir la reserva disponible en los períodos secos.

La ubicación de un camino lo cambia todo

Un estudio realizado en la cuenca de Caspar Creek, en California, permite medir la importancia de la ubicación de una red vial respecto de los cursos de agua. [2]

Los investigadores compararon dos generaciones de carreteras construidas en el mismo territorio.

En la red antigua, construida antes de 1974, aproximadamente el 58 % de las carreteras se encontraba muy cerca de un curso de agua. Según la modelización, esta configuración podía aumentar los caudales máximos hasta un 46 % respecto de un escenario sin carreteras.

En la red más reciente, solo el 13 % de las carreteras se encontraba cerca de los cursos de agua. El aumento modelado de los caudales máximos descendía entonces a menos del 2 %.

57 %

de la red vial estudiada podía actuar como vía de escurrimiento

+46 %

de caudal máximo para una red antigua muy próxima a los cursos de agua

< 2 %

para una red reciente reubicada lejos de la red hidrográfica

Datos procedentes de los estudios citados en las referencias [1] y [2].

El material utilizado para construir una carretera es, por tanto, importante.

El método de construcción también lo es.

Pero su ubicación dentro de la cuenca puede ser igual de importante.

Un camino perfectamente construido, si está mal ubicado respecto de la hidrografía natural, puede seguir siendo un problema hidrológico.

Esta constatación debería modificar la forma en que evaluamos un corredor de acceso. La pregunta ya no debería ser únicamente:

¿Puede esta carretera soportar el tránsito previsto?

También debería ser:

¿Cómo modificará esta carretera el desplazamiento, la infiltración y el almacenamiento del agua en todo el territorio?

Un camino también puede convertirse en una barrera

Un camino no necesita bordear un río para modificar la hidrología de una cuenca.

En una ladera, el agua no circula únicamente por la superficie. También puede avanzar lateralmente a través de las capas del suelo, siguiendo la pendiente y alimentando progresivamente las zonas situadas más abajo.

Cuando un camino atraviesa esa ladera, su franja compactada y sus cunetas pueden actuar como una barrera hidrológica.

El agua que normalmente se habría desplazado lentamente a lo largo de una amplia franja queda interceptada. Después se desvía hacia una cuneta y se concentra hacia una alcantarilla u otro punto de descarga.

Una infiltración difusa se convierte entonces en un flujo concentrado.

Así, incluso cuando el camino se encuentra a varios kilómetros de un curso de agua importante, puede modificar:

- la distribución de la humedad en el suelo;
- la recarga de determinadas zonas;
- la velocidad a la que el agua llega aguas abajo;
- la capacidad de la ladera para conservar una reserva durante los períodos secos.

Este es uno de los aspectos menos visibles del problema.

Vemos fácilmente una carretera arrastrada por una crecida. Vemos mucho menos fácilmente el agua que nunca entró en el suelo porque un camino la interceptó y la evacuó.

La pérdida silenciosa bajo nuestros pies

Cuando una red vial acelera la evacuación del agua, la consecuencia no se limita al episodio de lluvia.

Una parte del agua que podría haberse infiltrado y contribuido a la recarga subterránea abandona el territorio más rápidamente.

El Servicio Forestal de los Estados Unidos describe, entre otras cosas, cómo los caminos mal ubicados pueden drenar las reservas locales de agua subterránea, transmitir los flujos más rápidamente aguas abajo y dejar una reserva insuficiente para sostener los caudales de final de temporada o atravesar un año de sequía. [3]

Esta reserva es invisible, pero esencial.

Sostiene los arroyos cuando deja de llover. Mantiene la humedad de los suelos. Contribuye a la salud de los árboles, los humedales, los cultivos y las comunidades que dependen del mismo recurso.

Por tanto, cuando evacuamos rápidamente el agua de una cuenca, no solo estamos trasladando un problema.

También podemos privar al territorio de parte de su capacidad para resistir el próximo impacto climático.

El clima de referencia ha cambiado

La doctrina del drenaje vial se desarrolló en un contexto en el que las infraestructuras se evaluaban principalmente según su capacidad para soportar cargas, resistir las heladas y mantenerse transitables.

Estos objetivos siguen siendo esenciales.

Lo que ha cambiado es el contexto climático en el que estas infraestructuras deben funcionar ahora.

En muchas regiones, una proporción creciente de las precipitaciones llega en forma de episodios intensos y relativamente breves, separados por períodos secos más largos. El agua puede caer en abundancia, pero el territorio no necesariamente la recibe cuando más la necesitará.

Bajo este régimen, una infraestructura diseñada para evacuar el agua lo más rápidamente posible puede resultar especialmente inadecuada.

Expulsa el agua durante los episodios intensos.

Aumenta la rapidez con la que esa agua llega a los ríos.

Reduce el tiempo disponible para la infiltración.

Después, cuando comienza el período seco, parte de esa agua ya no está disponible en el suelo.

Un mismo territorio puede sufrir una inundación en primavera y carecer de humedad unas semanas más tarde.

No es una contradicción.

Es el resultado de un sistema que transporta el agua demasiado rápido en lugar de retenerla, ralentizarla y distribuirla.

No se trata de dejar de construir

La respuesta a este problema no es eliminar todas las carreteras.

Las comunidades, las empresas forestales, las redes energéticas, las minas, los servicios de emergencia y las regiones remotas necesitan infraestructuras de acceso.

La cuestión es, más bien, si podemos seguir construyendo con una doctrina que considera casi automáticamente el agua como un enemigo que hay que expulsar.

Creo que debemos hacer evolucionar nuestra definición de una infraestructura de alto desempeño.

En el siglo XXI, un corredor de acceso ya no debería evaluarse únicamente según:

- su capacidad portante;
- su costo de construcción;
- su vida útil;
- su facilidad de mantenimiento.

También debería evaluarse según:

- su influencia sobre los flujos de agua;
- su contribución a la infiltración;

- su efecto sobre la recarga de los acuíferos;
- su capacidad para evitar la concentración del agua;
- su impacto en el suelo después de retirarlo o al finalizar su vida útil;
- su contribución a la resiliencia de la cuenca.

Esta nueva manera de pensar constituye el punto de partida de lo que llamamos Regenerative Access Infrastructure, o infraestructura de acceso regenerativa.

De la evacuación a la orientación

Una infraestructura de acceso regenerativa no es una carretera que retiene toda el agua indiscriminadamente.

Está diseñada para orientar el agua de forma inteligente.

Debe proteger la estructura evitando, en la medida de lo posible, vaciar el territorio.

Busca ralentizar, distribuir, infiltrar y, cuando sea necesario, filtrar el agua cerca del lugar donde cae.

Esta orientación coincide con los enfoques de las «ciudades esponja» y del «planeta esponja», que buscan retener, ralentizar y acoger el agua en lugar de expulsarla. [4][5]

Esto supone revisar varias decisiones que hoy suelen tomarse por separado:

1. La ubicación del corredor

La carretera debe diseñarse en función de la hidrografía natural y no únicamente según la distancia más corta o el menor costo inicial.

2. La capacidad portante

Debemos desarrollar estructuras capaces de distribuir las cargas sin exigir sistemáticamente excavaciones, compactación profunda y desecación del suelo natural.

3. La distribución del agua

En lugar de concentrar los flujos hacia unas pocas alcantarillas, la infraestructura puede favorecer una infiltración lateral distribuida a lo largo de una mayor longitud.

4. La estacionalidad

En los climas nórdicos, la estructura también debería concebirse para prolongar, cuando sea posible, el período durante el cual el agua puede penetrar en el suelo antes de que las heladas cierren la ventana anual de infiltración.

Estos principios ya están en el centro de los corredores modulares que desarrollamos en Beyond Sustainable Tech: estructuras colocadas sobre el suelo, conectadas para distribuir la carga y diseñadas para permitir una gestión del agua más distribuida. Pero el desafío va mucho más allá de una empresa o una tecnología concreta.

Se trata de hacer evolucionar una disciplina entera.

Una hipótesis que medir, no un dogma que imponer

No afirmo que cada camino convencional seque automáticamente una cuenca.

Tampoco afirmo que una sola tecnología pueda resolver todo el problema.

Los efectos dependen del tipo de suelo, la pendiente, la cubierta vegetal, el clima, la ubicación del camino, la densidad de la red y la forma en que se dirige el agua.

Pero los datos disponibles justifican una pregunta seria:

Al proteger cada carretera individualmente contra el agua, ¿hemos medido suficientemente el efecto acumulado de todas esas carreteras sobre la capacidad del territorio para conservar esa misma agua?

Esta cuestión debe ser estudiada ahora por especialistas en hidrología, ingenieros civiles, ingenieros forestales, comunidades indígenas, municipios, universidades y propietarios de grandes infraestructuras.

Los futuros proyectos piloto deberían contar con instrumentos para medir, entre otras cosas:

- la humedad del suelo aguas arriba y aguas abajo del corredor;
- el tiempo de residencia del agua;
- los caudales máximos;
- la recarga subterránea;
- la temperatura del suelo;
- la evolución de la vegetación;
- la calidad del agua;
- el desempeño estructural de la infraestructura.

La medición es esencial.

Es lo que permitirá determinar dónde es pertinente este nuevo enfoque, dónde debe adaptarse y cómo podría contribuir eventualmente a la evolución de las normas de ingeniería.

Construir para el clima que viene

La ingeniería del drenaje no fue un error.

Fue una respuesta racional a un problema real, en las condiciones y con las tecnologías disponibles en el momento en que se desarrolló.

Pero una solución diseñada para un determinado régimen climático no se convierte automáticamente en la mejor solución para el siguiente.

Durante más de un siglo, aprendimos a construir infraestructuras para evacuar el agua.
El siglo XXI nos obliga ahora a aprender a retenerla, ralentizarla y orientarla.
Una carretera ya no debería considerarse una estructura aislada del territorio que atraviesa.
Forma parte de la cuenca hidrográfica.
Influye en la forma en que se desplaza el agua.
Puede contribuir a concentrar una crecida o a distribuir una recarga.
Puede acelerar la desecación de un suelo o contribuir a su resiliencia.
El primer paso no consiste en afirmar que ya tenemos todas las respuestas.
El primer paso consiste en reconocer la pregunta.

¿Y si nuestras infraestructuras de acceso pudieran servir al territorio, en lugar de limitarse a atravesarlo?

PRÓXIMO ARTÍCULO

El riesgo de incendio no se lee solo en el cielo, sino también en el suelo. El próximo artículo examinará por qué la humedad del suelo se convierte en un indicador importante del comportamiento de los incendios, y cómo la desecación progresiva de un territorio puede modificar tanto el estado de la vegetación y el de los combustibles como la resiliencia global de un ecosistema.

PREGUNTA ABIERTA

Si trabaja en ingeniería civil, silvicultura, hidrología, gestión municipal u operación de infraestructuras: ¿cuándo fue la última vez que un proyecto vial de su organización se evaluó según su efecto sobre la cuenca, y no solo según su propio desempeño estructural?

SOBRE EL AUTOR

AB

Alain Bélanger · Ingeniero forestal y empresario

Desde hace más de treinta y cinco años, trabaja en silvicultura, gestión de territorios y desarrollo de tecnologías ambientales. Es cofundador y director ejecutivo de Beyond Sustainable Tech, miembro de Top Tier Impact, y trabaja en el lanzamiento de la Iniciativa mundial para las cuencas regenerativas, así como en la estructuración del concepto de Regenerative Access Infrastructure.

REFERENCIAS PRINCIPALES

Los enlaces siguientes eran accesibles cuando se preparó el documento, en agosto de 2026. Haga clic en el título o en la dirección para abrir la fuente.

[1] Roads for Watershed Management — Green Roads for Water

Síntesis de trabajos sobre la conectividad hidrológica de las redes de caminos forestales, en particular los de Wemple y Napper.

<https://roadsforwater.org/guideline/watershed-management/>

[2] Hydrologic and suspended sediment effects of forest roads using field and DHSVM modelling studies

Estudio de la cuenca de Caspar Creek, California, sobre el efecto hidrológico de distintas configuraciones de redes viales.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112721007222>

[3] Water and the Forest Service — USDA Forest Service

Documento de referencia sobre el agua, las cuencas hidrográficas, las carreteras y la resiliencia de los territorios forestales.

<https://www.fs.usda.gov/biology/nsaec/assets/waterandtheforestservice-508.pdf>

[4] Sponge Planet: Nature-based Infrastructure for Climate Adaptation Beyond Concrete

Presentación del principio de «planeta esponja» y de las infraestructuras basadas en la retención, la ralentización y la infiltración del agua.

<https://journal.hep.com.cn/laf/EN/10.15302/J-LAF-0-020052>

[5] Flooding: How to increase your city's permeability — C40 Knowledge Hub

Recurso sobre la permeabilidad urbana y la adaptación a las inundaciones mediante la gestión del agua en su origen.

https://www.c40knowledgehub.org/s/article/Flooding-How-to-increase-your-city-s-permeability?language=en_US

Serie Regenerative Access Infrastructure - Artículo 1 de 5 · Alain Bélanger · Agosto de 2026

Iniciativa mundial para las cuencas regenerativas