

¿Por qué los ríos forman curvas?

Juan Segurola · Todos los derechos reservados

QUE · Artículo 020 · Preguntas sencillas, respuestas profundas · Versión 0.1 ES

Un río puede fluir cuesta abajo mientras su cauce describe curvas repetidas a través de un valle. Cuesta abajo describe un cambio de elevación; no exige una línea recta en un mapa. En un río aluvial, el agua en movimiento también transporta los sedimentos que forman su lecho y sus orillas. El flujo cambia el cauce y el cauce modificado cambia el flujo. Una curva forma parte de esa relación cambiante; no constituye evidencia de que el agua haya olvidado en qué dirección actúa la gravedad.

La pregunta necesita un límite. Algunos ríos siguen curvas impuestas por rocas resistentes o valles heredados. Aquí, el tema principal es un cauce meandriforme cuyos límites sedimentarios pueden moverse. Los procesos que mantienen esas curvas no deben imponerse como explicación universal para cualquier río curvo.

1. Una curva es una forma que se mueve

Observemos una secuencia de mapas del cauce en vez de una fotografía. La pregunta pasa de ser simplemente por qué el río es curvo a cómo cambian de posición sus orillas. El agua se mueve por la curva; la propia curva puede migrar por la llanura de inundación en otra escala temporal. Son dos movimientos de cosas distintas.

La erosión retira sedimentos de una orilla, mientras que la deposición los añade en otro lugar. Si un lado retrocede y el opuesto acumula material, el cauce puede desplazarse sin ensancharse indefinidamente. Ese equilibrio no es automático. Explicar un cauce único persistente requiere explicar tanto la retirada como la reposición de sus límites.

Braudrick y sus colaboradores describieron un cauce experimental que mantenía sus meandros mediante cortes de meandro repetidos y regeneración de curvas. [1]

2. El flujo y los sedimentos se modifican mutuamente

El agua que se aproxima a una curva tiene cantidad de movimiento, y las fuerzas de presión la redirigen. El rozamiento, la forma del lecho y la distribución de velocidad con la profundidad influyen en el flujo resultante. Una curva fluvial no puede representarse completamente mediante una sola flecha trazada por el centro del cauce. [2]

El transporte de sedimentos depende de ese flujo y del material disponible. Allí donde se retira material del límite cambia la forma del cauce; donde se acumula, crece una barra o una orilla. La nueva geometría modifica después la siguiente distribución del flujo. Una distinción física útil separa un transporte intenso de sedimentos de la erosión: un tramo pierde sedimentos cuando sale de él más de lo que entra. El tratamiento de Whipple deduce el cambio del lecho de esa diferencia de flujo de sedimentos, en vez de identificar la erosión únicamente con una velocidad alta. [2]

La imagen familiar de erosión en la orilla exterior y deposición en el interior de la curva es útil, pero es una tendencia dentro de un sistema tridimensional cambiante. No debe interpretarse como si cada grano pasara directamente de la orilla exterior más próxima a la interior opuesta. El material puede llegar de aguas arriba, moverse aguas abajo o almacenarse temporalmente. En el experimento descrito por Braudrick y sus colaboradores, la erosión de orillas situadas aguas arriba fue un aporte importante para el crecimiento de las barras. [1]

3. Por qué importan las orillas

Supongamos que el agua en movimiento encuentra dos cauces con pendientes globales parecidas, pero orillas diferentes. Uno tiene márgenes débiles y fácilmente erosionables; el otro tiene márgenes más resistentes. Incluso sin calcular todo el flujo, podemos ver que la misma tendencia erosiva no tiene por qué producir el mismo cambio de anchura. El material del límite forma parte de la dinámica.

En su cauce de laboratorio, escalado para representar un río de lecho de sedimentos gruesos, Braudrick y sus colaboradores utilizaron vegetación para reforzar las orillas y aportaron sedimentos lo bastante finos para rellenar posibles atajos junto a las barras en desarrollo. El experimento mantuvo los meandros con cortes de meandro repetidos. Los picos variables de crecida no fueron necesarios para que continuaran los meandros en las condiciones ensayadas. [1]

Esta última matización importa. El resultado no muestra que las crecidas nunca importen en los ríos naturales, que la vegetación sea necesaria para todos los meandros ni que una receta de sedimentos explique cualquier cauce. Muestra que un sistema controlado concreto pudo mantener un comportamiento que había sido difícil sostener en montajes experimentales más sencillos.

Por tanto, el valor explicativo del experimento es selectivo. Pone a prueba cómo la resistencia de las orillas y el aporte de sedimentos pueden permitir que la deposición siga el ritmo de la erosión. Su cauce no era una réplica en miniatura de cualquier río natural, y trasladar su tasa de migración a un paisaje concreto requiere trabajo adicional.

4. Una ruta más larga puede seguir descendiendo

Un cálculo breve elimina una aparente contradicción. Imaginemos dos puntos separados por 8 kilómetros medidos a lo largo de un valle, con un descenso de la superficie del agua de 6 metros entre ellos. Supongamos que la ruta sinuosa del río entre los mismos puntos mide 12 kilómetros. Son valores hipotéticos.

La sinuosidad del cauce, definida aquí como su longitud dividida por la longitud del valle, es $12/8 = 1,5$. Su descenso medio por unidad de longitud de cauce es $6/12\ 000 = 0,0005$, o 0,5 metros por kilómetro. Medido sobre la longitud del valle, el gradiente correspondiente es $6/8000 = 0,00075$, o 0,75 metros por kilómetro.

Ambos gradientes describen un descenso. Su diferencia surge porque son distintas las distancias por las que se divide el mismo cambio de elevación. Por tanto, una ruta sinuosa es compatible con un flujo impulsado por la gravedad.

El cálculo no establece que el río se curvara para alcanzar un gradiente preferido. Parte de una geometría y calcula una consecuencia. Invertir ese razonamiento para atribuirle un propósito sería un paso sin respaldo. Tampoco proporciona una velocidad local, que requeriría caudal, sección transversal, resistencia y otra información.

5. Los cortes de meandro cambian el balance

Un meandro puede ampliarse hasta que una ruta más corta conecte partes del cauce. El flujo principal puede ocupar entonces esa ruta, dejando parte de la antigua curva aislada o conectada solo de forma intermitente. Un corte de meandro cambia la relación entre la posición actual del cauce y el registro que queda en su llanura de inundación.

Eso significa que la sinuosidad no tiene por qué aumentar indefinidamente. Los procesos que alargan una ruta coexisten con otros que la acortan. Un mapa actual captura una etapa de esa historia, no una forma final hacia la que el río deba progresar inevitablemente.

También significa que predecir la siguiente posición del cauce requiere algo más que medir la curvatura actual. Pueden importar la resistencia y la elevación de las zonas de posibles atajos, el aporte de sedimentos y la historia del flujo. Dos curvas con contornos parecidos pueden tener futuros distintos porque sus límites difieren de maneras que el contorno no revela.

6. Cómo poner a prueba una explicación

Las observaciones de campo pueden comparar posiciones sucesivas de las orillas, topografía del lecho y condiciones del flujo. Un programa útil de medición distingue el movimiento del agua del transporte de sedimentos y del movimiento del propio cauce. Concordar con una de esas observaciones no garantiza concordar con las demás.

Un modelo que reproduce un mapa sinuoso pero no puede mantener su anchura ha omitido parte del problema. Uno que hace crecer todas las curvas para siempre ha omitido otra. Los experimentos controlados ayudan a separar mecanismos candidatos, mientras que los ríos naturales ponen a prueba cómo funcionan esos mecanismos con orillas heterogéneas y aportes cambiantes.

La pregunta no resuelta para un río concreto suele ser cuantitativa y local: ¿con qué rapidez retrocederá una orilla, dónde se acumularán sedimentos y cuándo podría producirse un corte de meandro? Reconocer el acoplamiento entre flujo y sedimentos no elimina la incertidumbre de esas predicciones.

7. La respuesta sin atribuir intenciones al río

Muchos ríos forman curvas porque su agua en movimiento y sus límites móviles evolucionan conjuntamente. La curvatura afecta al flujo, el flujo redistribuye los sedimentos y la erosión y la deposición modifican la siguiente geometría del cauce. La resistencia de las orillas y el aporte de sedimentos ayudan a determinar si esa relación mantiene un cauce meandriforme, produce ensanchamiento o desarrolla un patrón diferente.

El río no elige una ruta pintoresca ni tiene por qué trazar la distancia más corta entre dos puntos del mapa. La pregunta importante es si el mecanismo propuesto explica conjuntamente el movimiento observado del agua, los sedimentos y las orillas. Esa pregunta informa más que tratar cada curva como una forma deliberada de reducir la rapidez.

Lectura relacionada

El artículo 016, «¿Por qué el océano es salado y la lluvia no?», examina material disuelto transportado por otro conjunto de vías. Es una lectura complementaria opcional para la distinción entre concentración, flujo y cantidad almacenada.

Referencias

- [1] C. A. Braudrick, W. E. Dietrich, G. T. Leverich and L. S. Sklar. Experimental evidence for the conditions necessary to sustain meandering in coarse-bedded rivers. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106(40), 16936–16941 (2009). <https://doi.org/10.1073/pnas.0909417106>
- [2] K. Whipple. Flow Around Bends: Meander Evolution. Lección III, Surface Processes and Landscape Evolution, MIT OpenCourseWare (septiembre de 2004). https://ocw.mit.edu/courses/12-163-surface-processes-and-landscape-evolution-fall-2004/3aa6d00113cc4b115d0c97630585e198_3_flow_around_bends.pdf