

# El costo de un camino comienza con el suelo.

**Su verdadero valor se mide durante toda su vida de uso.**

¿Por qué construir este camino? ¿Para transportar qué, cuántas veces, durante cuántos años y con qué consecuencias?

## Un camino es un activo de producción.

No elegimos una máquina solo por su precio de compra. ¿Por qué elegir un camino sin considerar la productividad de los camiones, su fiabilidad, mantenimiento y valor residual?

### Construir

Desbroce, excavación, cimentaciones, áridos, transporte y drenaje.

### Operar

Combustible, ciclos de transporte, desgaste de camiones, mantenimiento e interrupciones.

### Abordar los impactos

Hidrología, hábitats, permisos, restauración y riesgos climáticos.

**¿Qué valor atribuimos a lo que el precio de construcción no mide?**

## El mejor camino puede ser híbrido.

Suelo estable: un camino tradicional puede ser óptimo. Suelo heterogéneo: los módulos XtremeM pueden centrarse en los tramos difíciles. Una configuración híbrida combina así un camino convencional con módulos en puntos estratégicos; la gestión hidrológica es un ámbito complementario que debe estudiarse.

**No queremos reemplazar todos los caminos. Queremos resolver los tramos donde la construcción convencional resulta costosa o perjudicial.**

Comparar 15 años de servicio

# El terreno cambia el costo de un camino.

Proyectos documentados en entornos del norte ilustran cómo el terreno, la lejanía y las exigencias de construcción influyen en los costos.

## Prohibition Creek · ≈ 3,81 M CAD/km

Gobierno de los T.N.O. · 2022-2024

25,5 M CAD de financiación para la primera fase de 6,7 km de una carretera de dos carriles operativa todo el año. Cociente de la financiación anunciada, no de un costo final de construcción.

Fuente oficial

## Caminos de grava del Extremo Norte · ≈ 3 M CAD/km

Northern Policy Institute · 2022

Estimación histórica de 2017 citada en el informe de 2022 para caminos de grava operativos todo el año en el Extremo Norte. Esta referencia no es una media actual del mercado.

Consultar el estudio

## Slave Geological Province · ≈ 2,66 M CAD/km

Corredor proyectado · estimación histórica

Aproximadamente 1.100 M CAD para un corredor proyectado de 413 km: un cociente indicativo. Se trata de una visión de infraestructura regional, no de una carretera construida a ese costo.

Análisis universitario

Otra referencia: el Northern Policy Institute recoge una cotización de 2019 de 550.000 a 800.000 CAD/km para un camino de paneles de madera en un entorno nórdico. Esta tecnología es diferente de XtremeM; no es una comparación de precios con un alcance técnico equivalente.

## Referencias de costos de caminos tradicionales

Estos importes no corresponden a los precios de XtremeM. Varían según el terreno, la región y el alcance de las obras.

| Tipo de camino tradicional          | Orden de magnitud indicativo CAD/km |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Forestal mejorado, tráfico limitado | 150.000 a 500.000                   |
| Minero en terreno favorable         | 500.000 a 1,2 M                     |
| Minero industrial permanente        | 1,2 a 3 M                           |
| Turbera, humedal o terreno difícil  | 2 a 5 M                             |
| Norte remoto o permafrost           | 3 a 8 M y más                       |

Órdenes de magnitud indicativos por confirmar: hipótesis de evaluación inicial, no medias demostradas ni estadísticas extraídas de las referencias anteriores. Sustituir por cantidades y cotizaciones del proyecto según cargas, anchura, obras y año.

# Un kilómetro casi nunca es uniforme.

La capacidad portante, el agua, los ciclos de congelación y deshielo y las transiciones entre suelos determinan las obras necesarias y los riesgos de mantenimiento.

|                                                           |                                                          |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Roca: Buena capacidad portante; puede requerir excavación | Arena: A menudo favorable; posible erosión               |
| Limo: Sensible al agua y a las heladas                    | Arcilla: Asentamiento y capacidad portante variables     |
| Suelos mixtos: Puntos débiles localizados                 | Turbera: Baja capacidad portante, almacenamiento de agua |
| Pantano: Flujos y hábitats sensibles                      | Permafrost: Riesgo de hundimiento al descongelarse       |

La distribución de cargas mediante el conjunto se evalúa según las cargas, el apoyo del suelo y los ciclos de tráfico.

# Un camino cruza una cuenca. El agua recorre el territorio.

Los terraplenes pueden interrumpir flujos difusos. Las cunetas pueden concentrar el agua hacia unas pocas alcantarillas. La gestión de cuencas exige considerar el efecto acumulado de los caminos, no solo cada alcantarilla por separado.

## Diseñar el acceso teniendo en cuenta el agua

### Camino tradicional

Los terraplenes, las cunetas y las alcantarillas organizan el drenaje del camino. Su diseño debe tener en cuenta los flujos naturales, los caudales previstos y los efectos aguas abajo.

### Intervención modular localizada

Los módulos XtremeM pueden colocarse en los tramos sensibles para limitar los movimientos de tierra y preservar los flujos difusos cuando las condiciones del sitio lo permitan. La capacidad portante, los cruces y el drenaje requieren un diseño específico para el proyecto.

El verdadero reto no es eliminar toda gestión hidráulica: es diseñar un acceso que altere lo menos posible las funciones de la cuenca. Los cruces de cursos de agua y los flujos concentrados requieren un diseño específico.

Según el terreno y las cargas, una configuración modular puede limitar las excavaciones, el aporte de áridos y las obras de drenaje longitudinal. La preparación y las estructuras necesarias deben definirse para cada sitio; no se presupone un beneficio hidrológico cuantificado ni una ausencia de impacto.

# La calidad de un camino cambia la economía del transporte.

### 13 % · Combustible

Ahorro de hasta el 13 % simulado en el estudio independiente de Maior y colaboradores (2025), sobre un caso de caminos mineros en Brasil.

### 17 % · Productividad

Mejora de hasta el 17 % simulada por camión en el mismo estudio, con ciclos hasta un 15 % más cortos.

### Hasta 3.500 M CAD/año · Clima y caminos

Aumento anual potencial de los costos de mantenimiento y reparación vial en Canadá hasta 2050, presentado al Senado en 2023.

Resultados de estudios y proyecciones específicos, no desempeño medido de XtremeM. Explican por qué la operación y los riesgos deben entrar en la decisión, sin aplicarse automáticamente al simulador.

## ¿Qué omite la cotización?

|                          |                                                                                                             |
|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ¿Un día de acceso?       | ¿Qué costo de producción supone un cierre imprevisto?                                                       |
| ¿Un ciclo de transporte? | ¿Qué valor tienen los minutos, el combustible y el desgaste evitados?                                       |
| ¿Una cuenca funcional?   | ¿Qué valor tienen las funciones hidrológicas preservadas?                                                   |
| ¿Un mes ganado?          | ¿Qué beneficio supone una puesta en servicio más rápida?                                                    |
| ¿Una huella menor?       | ¿Qué estudios y medidas de mitigación se necesitan? No se garantiza una tramitación más rápida de permisos. |
| ¿Un segundo uso?         | ¿Cuánto cuestan la recuperación y la reubicación? ¿Qué valor conservan los módulos?                         |

## Un camino construido también debe permitir trabajar con eficiencia.

Durante las primeras temporadas de uso de un camino forestal, las condiciones de circulación pueden variar considerablemente según el suelo, el drenaje y las lluvias. El barro, las roderas y las deformaciones pueden requerir nivelación o aportes de materiales, al tiempo que ralentizan los vehículos. Este período de estabilización tiene, por tanto, un costo real: mantenimiento adicional, entregas más lentas e interrupciones ocasionales del acceso. Para comparar soluciones, hay que considerar no solo la construcción, sino también la disponibilidad del camino y su eficiencia desde la puesta en servicio.

Guía geotécnica de la FHWA

### ¿Qué valor damos a la retención natural del agua?

Recarga, protección de humedales, menor sedimentación y resiliencia ante lluvias extremas: estas funciones van más allá del precio de construcción.

# Comparemos 15 años de servicio, no solo el primer día.

Una primera lectura económica del mismo acceso operado durante 15 años, sin reubicación, con retirada y restauración en el año 15. Si el acceso permanece en servicio, adapte los costos de fin de uso y los valores terminales. Los importes son modificables: las hipótesis no son cotizaciones ni prestaciones garantizadas.

**Cantidad calculada : 486 módulos · 1 fila · Anchura modular obtenida : 4,11 m**

| Hipótesis                               | Valor utilizado       |
|-----------------------------------------|-----------------------|
| Longitud                                | 1 km                  |
| Anchura útil requerida                  | 4,11 m                |
| Precio por módulo                       | 1.995 USD             |
| Tipo de cambio USD a CAD                | 1,4154 CAD/USD        |
| Tipo de cambio EUR a CAD                | 1,5908 CAD/EUR        |
| Construcción tradicional                | 1.500.000 CAD/km      |
| Transporte inicial de los módulos       | 40.000 CAD/km/fila    |
| Preparación ligera e instalación        | 30.000 CAD/km/fila    |
| Mantenimiento tradicional anual         | 65.000 CAD/km/año     |
| Mantenimiento modular anual             | 2.500 CAD/km/fila/año |
| Pérdidas por paradas tradicionales      | 0 CAD/año             |
| Pérdidas por paradas modulares          | 0 CAD/año             |
| Ahorros de transporte modular           | 0 CAD/año             |
| Restauración tradicional del sitio      | 200.000 CAD           |
| Desmontaje y retirada de módulos        | 20.000 CAD            |
| Restauración del sitio tras la retirada | 20.000 CAD            |
| Valor residual del acceso tradicional   | 0 CAD                 |
| Valor residual de los módulos           | 10 % compra           |
| Tasa real de descuento                  | 6 %                   |

Los importes globales de fin de uso corresponden a todo el proyecto. Los costos por km/fila se aplican a una fila de 4,11 m. No se contabiliza la reutilización.

Precio indicativo: 1.995 USD/módulo, tomado de la oferta de lanzamiento y por confirmar según el pedido. Dimensiones útiles: 4,11 × 2,06 m. Cambio de referencia del 16 de octubre de 2026: 1 USD = 1,4154 CAD; 1 EUR = 1,5908 CAD. Los demás importes son hipótesis de trabajo, no medias regionales.

Personalizar este escenario en línea

# Leer el resultado y personalizar

ESCENARIO ILUSTRATIVO · 1 KM · 15 AÑOS · CAD

| Partida                                                  | Tradicional   | XtremeM       |
|----------------------------------------------------------|---------------|---------------|
| Construcción, compra, transporte e instalación iniciales | 1.500.000 CAD | 1.442.329 CAD |
| Mantenimiento - valor presente                           | 631.296 CAD   | 24.281 CAD    |
| Paradas - valor presente                                 | 0 CAD         | 0 CAD         |
| Ahorros de transporte - deducción                        | 0 CAD         | 0 CAD         |
| Restauración - valor presente                            | 83.453 CAD    | 8.345 CAD     |
| Retirada modular - valor presente                        | 0 CAD         | 8.345 CAD     |
| Valor residual - deducción a 15 años                     | 0 CAD         | -57.263 CAD   |
| Costo económico comparado                                | 2.214.749 CAD | 1.426.038 CAD |

**Ahorro con XtremeM**  
788.711 CAD

## Desglose de la inversión modular

|                                      |               |
|--------------------------------------|---------------|
| Compra de módulos                    | 1.372.329 CAD |
| Transporte inicial de los módulos    | 40.000 CAD    |
| Preparación ligera e instalación     | 30.000 CAD    |
| Valor residual nominal a los 15 años | 137.233 CAD   |

Costo inicial + mantenimiento y paradas anuales descontados - ahorros de transporte descontados + retirada y restauración descontadas - valor residual descontado. Gastos anuales al final de cada año; fin de uso y valor residual en el año 15. Importes constantes, sin impuestos ni costos de financiación.

El ejemplo tradicional de 1,5 M CAD/km y su mantenimiento de 65.000 CAD/km/año proceden del escenario facilitado. No son costos observados. Especifique anchura, terreno y obras comparables antes de concluir.

El mantenimiento modular comprende inspección, limpieza y conservación del acceso. No se presupone una sustitución periódica de paneles. Las paradas y los ahorros de transporte comienzan en cero, al no haberse definido un escenario operativo.

## Una primera lectura, no todo el ciclo de vida

Este simulador no calcula las reutilizaciones en sitios sucesivos, los desvíos, los cierres estacionales, las inundaciones, las emisiones de CO2 ni el valor ecológico de la cuenca. No dimensiona la capacidad portante. Estos aspectos requieren un escenario y datos propios del proyecto; su ausencia no equivale a un costo nulo.

Los PDF presentan un escenario fijo y sus hipótesis. Modifique su escenario en la versión Web.

## Profundizar en las fuentes

Senado de Canadá · testimonios del 31 de octubre de 2023

Adaptación de infraestructuras, mantenimiento y reparación vial.

Maier y colaboradores (2025)

Resistencia a la rodadura, combustible y productividad: resultados de simulación en un caso minero.

Meneses y Sepúlveda (2023)

Simulación del deterioro de caminos mineros.

Mukherjee y colaboradores (2024)

Riesgos hidrológicos en alcantarillas y cruces.

Northern Policy Institute (2022)

Soluciones innovadoras para caminos del Norte.

FHWA · guía geotécnica

Humedad, densidad y comportamiento de suelos compactados.

Banco de Canadá · tipos de cambio diarios

Fuente de las referencias cambiarias fechadas utilizadas en el escenario.

Los estudios externos se refieren a sus propios proyectos y métodos. No constituyen ensayos comparativos de XtremeM.

## Fuentes de construcción

Prohibition Creek · Fuente oficial

Caminos de grava del Extremo Norte · Consultar el estudio

Slave Geological Province · Análisis universitario

## El terreno aporta el contexto. Construyamos la comparación.

Comparta la longitud, la anchura, el tipo de suelo, el tráfico y sus presupuestos. Comparemos soluciones para un mismo servicio.

Ver XtremeM en acción

Consultar los datos técnicos

Descubrir la oferta de lanzamiento

Explorar el estudio sobre cuencas

**Alain Bélanger**

**CEO - Beyond Sustainable Tech**

**+1 506-284-0005**

**www.beyonders.tech**

Hablar de mi acceso

Personalizar este escenario en línea