Revista esprint Investigación

https://rei.esprint.tech
Vol. 5 N° 2, julio-diciembre 2026 (572-589)

ISSN: 2960-8317

Artículo de revisión

Coordinación constructiva y evaluación económica retrospectiva con apoyo BIM parcial en la vía Pucuna-Sardinas hasta Toyuca

Retrospective construction coordination and economic assessment with partial BIM support on the Pucuna-Sardinas road to Toyuca

Victor Dario Andrade-Quincha*
Universidad Bolivariana del Ecuador
Durán - Ecuador
vdandradeq@ube.edu.ec
https://orcid.org/0009-0005-3694-9554

Marco Armando Tituaña-Tipán
Universidad Bolivariana del Ecuador
Durán - Ecuador
matituanat@ube.edu.ec
https://orcid.org/0009-0000-4909-4288

Jorge José Arroyo-Orozco
Universidad Bolivariana del Ecuador
Durán - Ecuador
jjarroyoo@ube.edu.ec
Universidad de Guayaquil
Guayaquil - Ecuador
jorge.arroyoo@ug.edu.ec
https://orcid.org/0000-0002-4785-368X

Wellington Isaac Maliza-Cruz
Universidad Bolivariana del Ecuador
Durán - Ecuador
wimalizac@ube.edu.ec
https://orcid.org/0009-0005-1426-583X

***Correspondencia:**
vdandradeq@ube.edu.ec

Cómo citar este artículo:
Andrade-Quincha, V., Tituaña-Tipán, M., Arroyo-Orozco, J., & Maliza-Cruz, W. (2026). Coordinación constructiva y evaluación económica retrospectiva con apoyo BIM parcial en la vía Pucuna-Sardinas hasta Toyuca. *Esprint Investigación, 5*(2), 572-589. https://doi.org/10.61347/ei.v5i2.407

Recibido: *14 de septiembre de 2026*
Aceptado: *26 de octubre de 2026*
Publicado: *29 de octubre de 2026*

Copyright: Derechos de autor 2026 Victor Dario Andrade-Quincha, Marco Armando Tituaña-Tipán, Jorge José Arroyo-Orozco, Wellington Isaac Maliza-Cruz.

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0.

Resumen: La coordinación de información en proyectos viales exige distinguir entre las oportunidades de mejora y los beneficios económicos verificables. El objetivo fue evaluar retrospectivamente las oportunidades de coordinación constructiva y sus implicaciones económicas en la vía Pucuna–Sardinas hasta Toyuca, Ecuador, con apoyo parcial del modelado de información de la construcción (BIM). Se realizó un estudio de caso documental, cuantitativo, descriptivo y no experimental. Se analizaron 51 rubros: 49 correspondientes al contrato principal, organizados en 588 registros rubro–planilla, y dos del contrato complementario. Los registros incluyeron períodos sin ejecución y ajustes. Se identificaron 17 oportunidades vinculadas con 42 rubros (82,35 %): dos repeticiones físicas, una documental, once condiciones sin repetición acreditada y tres oportunidades hipotéticas. La reimprimación se valoró en USD 32 706,95. La eliminación hipotética de su costo total, frente a un paquete digital cuyo costo bruto se estimó en USD 43 380,00, dio como resultado un saldo parcial de −USD 10 673,05. El acarreo estimado se excluyó del balance por falta de equivalencia económica. Los cálculos paramétricos locales permitieron examinar las relaciones entre cantidades, consumos teóricos y precios contractuales, sin validar la geometría del terreno ni los costos reales de producción. El diagnóstico permitió identificar necesidades de verificación y coordinación de las secuencias constructivas. El desconocimiento de la fracción técnicamente evitable y la ausencia de mediciones de determinados recursos impidieron establecer un beneficio económico neto integral o atribuir al uso de BIM reducciones causales en los costos y plazos de ejecución.

Palabras clave: BIM, coordinación constructiva, evaluación económica, infraestructura vial, trazabilidad documental.

Abstract: *Information coordination in road projects requires distinguishing between opportunities for improvement and verifiable economic benefits. The objective was to retrospectively assess construction coordination opportunities and their economic implications on the Pucuna–Sardinas road to Toyuca, Ecuador, with partial support from Building Information Modeling (BIM). A quantitative, descriptive, nonexperimental documentary case study analysed 51 contract items: 49 from the main contract, organised into 588 item–payment-certificate records, and two from the supplementary contract. The records included periods without execution and adjustments. Seventeen opportunities involved 42 items (82.35%): two physical repetitions, one documentary repetition, eleven conditions without verified repetition, and three hypothetical opportunities. Re-priming was valued at USD 32,706.95. The hypothetical elimination of its total cost, compared with a digital package with an estimated gross cost of USD 43,380.00, resulted in a partial balance of −USD 10,673.05. Estimated haulage was excluded from the balance because economic equivalence had not been established. Local parametric calculations enabled the examination of relationships between quantities, theoretical consumption, and contract prices, without validating terrain geometry or actual production costs. The diagnosis identified verification needs and opportunities to coordinate construction sequences. The unknown technically avoidable fraction and the absence of measurements for certain resources prevented the determination of an overall net economic benefit or the causal attribution of reductions in construction costs and schedules to BIM use.*

Keywords*: BIM, construction coordination, documentary traceability, economic assessment, road infrastructure.*

1. Introducción

La ejecución de proyectos viales requiere coordinar la geometría, el movimiento de tierras, el drenaje, los pavimentos, los suministros y las autorizaciones. Una descarga pendiente puede impedir el cierre de una capa, mientras que una interrupción del suministro puede prolongar la exposición de las superficies terminadas. Estas interacciones generan exigencias en la gestión de la información y la coordinación constructiva; sin embargo, un ajuste durante la ejecución no demuestra por sí mismo la existencia de trabajos repetidos ni de pérdidas económicas.

El modelado de información de la construcción (*Building Information Modeling* [BIM]) integra representaciones digitales con atributos y procesos de intercambio de información para apoyar la toma de decisiones. Azhar et al. (2015) subrayan la interacción entre tecnología, procesos y capacidades organizacionales. En el ámbito de la infraestructura, Bradley et al. (2016), Costin et al. (2018) y Pirdavani et al. (2023) examinan las aplicaciones y las limitaciones de integración; por su parte, Castañeda et al. (2024) sistematizan sus usos en proyectos de infraestructura vial. Estos antecedentes permiten diferenciar las aplicaciones específicas de BIM de una implementación completa a lo largo del ciclo de vida de un proyecto.

La planificación 4D vincula los elementos y las actividades; por su parte, la dimensión 5D incorpora las cantidades y los costos. Doukari et al. (2022) examinan la preparación de la información y las reglas para la programación 4D, mientras que Peña et al. (2026) proponen un procedimiento de integración para infraestructura vial. No obstante, la vinculación de cronogramas o presupuestos aislados con representaciones visuales no acredita el intercambio automatizado de información, la continuidad de identificadores ni la actualización entre plataformas.

La evaluación económica exige identificar el evento, acreditar la repetición, determinar la fracción técnicamente evitable y medir los recursos o pagos que podrían haberse evitado. Wu et al. (2014) y Sepasgozar et al. (2022) vinculan la información, la medición y la gestión de costos. Sin embargo, una relación cantidad–precio no demuestra por sí misma la existencia de un ahorro económico, pues es necesario diferenciar la valoración contractual, el costo de producción y la perspectiva de la entidad contratante o del contratista. Este problema de atribución es especialmente relevante cuando el modelado digital se realiza de manera retrospectiva y parcial.

La vía Pucuna-Sardinas hasta Toyuca, ubicada en la provincia de Orellana, Ecuador, constituye un caso pertinente por la disponibilidad de registros relacionados con decisiones sobre geometría, drenaje, geosintéticos, secuencias constructivas y suministro. La vía tiene una longitud nominal de 5,4 km y un acceso de 25 m a la E45, con eje independiente. El expediente contiene información incompleta sobre los recursos de producción y una representación digital parcial. Además, el análisis retrospectivo debe distinguir entre las decisiones que podían adoptarse durante la ejecución y la información disponible después de finalizar la obra, conforme a Fischhoff (1975).

El objetivo del estudio fue evaluar retrospectivamente las oportunidades de coordinación constructiva y sus implicaciones económicas mediante vínculos parciales de información BIM. Específicamente, se reconstruyeron y clasificaron las incidencias identificadas, se comprobaron las relaciones documentadas entre cantidades y valoraciones y se formularon balances económicos condicionados. Asimismo, se examinó cuáles beneficios técnicos y económicos podían sustentarse mediante evidencia documental y cuáles requerían información adicional. El aporte del estudio consistió en establecer una secuencia de trazabilidad entre las oportunidades de coordinación identificadas y la verificación de sus posibles beneficios, sin presuponer ventajas causales de la

digitalización. Debido al carácter descriptivo y no experimental de la investigación, no se planteó una hipótesis para su contrastación estadística.

2. Metodología

Diseño y fuentes documentales

Se realizó un estudio de caso documental retrospectivo, cuantitativo, descriptivo y no experimental, siguiendo la delimitación de unidades propuesta por Crowe et al. (2011). Las unidades disponibles fueron 51 rubros contractuales: 49 del contrato principal y dos de geosintéticos del contrato complementario. Las doce planillas del contrato principal se organizaron en una matriz rubro–planilla de 49 × 12 = 588 registros, incluidos períodos con cantidad mensual cero y ajustes negativos; este número no representó 588 actividades ejecutadas ni eventos independientes. A partir de la revisión se identificaron 17 oportunidades de coordinación, que constituyeron una unidad de análisis derivada y diferente de las unidades anteriores. Para calcular la cobertura, se utilizaron como denominador los 51 rubros, mientras que, para determinar la distribución de oportunidades, se consideraron los 17 casos identificados.

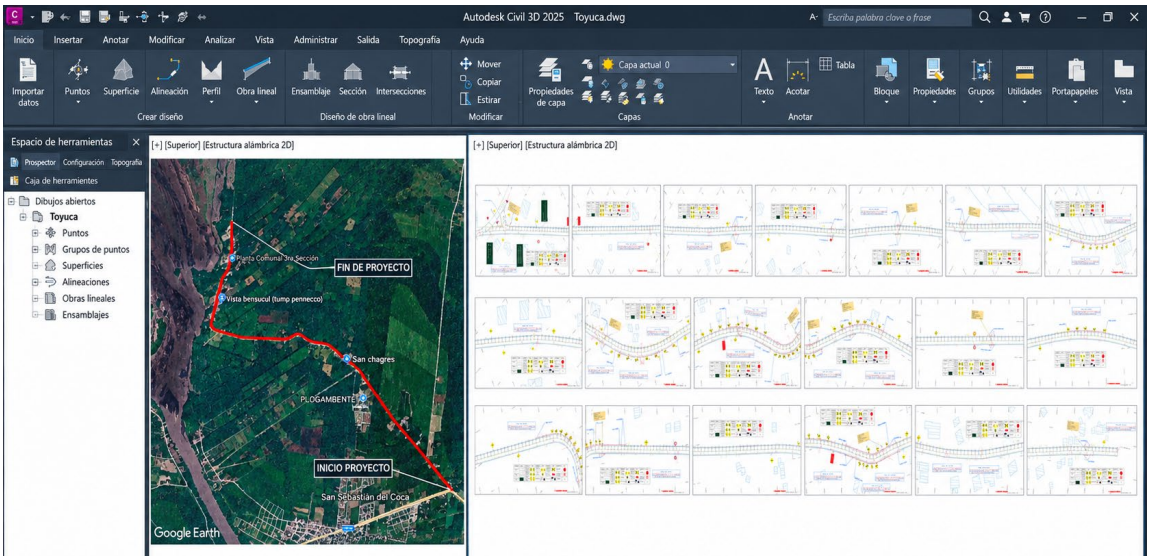
El expediente comprendió presupuestos, cantidades firmadas, doce planillas del contrato principal, documentación complementaria y libros de obra. Se revisaron 337 páginas de documentación civil, 147 de documentación ambiental y 54 relacionadas con hormigón. Solo se dispuso de dos análisis completos de precios unitarios (APU), correspondientes a geosintéticos; no se contaba con información desagregada sobre los recursos de producción correspondientes a los 49 rubros principales.

Cada registro se organizó mediante código documental, fecha, página, rubro, abscisa y período para conciliar cantidades y detectar duplicaciones. Se diferenciaron las mediciones mensuales y acumuladas; las discrepancias se conservaron y las reconstrucciones por diferencia de acumulados se identificaron como condicionales, sin sustituir los valores parciales registrados en los documentos originales. Los importes se redondearon por rubro antes de agregarlos y la valoración firmada permaneció como referencia contractual. Los códigos de los casos permitieron identificar las fuentes documentales declaradas; sin embargo, su verificación externa requirió disponer del catálogo y de los documentos originales.

Para la reconstrucción temporal se establecieron dos períodos de análisis: la ejecución física, del 16 de agosto de 2024 al 15 de octubre de 2025, y el cierre administrativo posterior, considerado hasta la recepción provisional del 16 de diciembre de 2025. Las devoluciones documentales de octubre y noviembre se analizaron como actividades de cierre y no como días de construcción. Estos períodos permitieron delimitar los hechos temporales analizados, sin que ello implicara acreditar una recepción definitiva ni ampliar el tiempo de ejecución por el intervalo transcurrido entre oficios.

Figura 1

Contexto del eje vial y organización de las plantas



Clasificación y condiciones de evitabilidad

Se definió una oportunidad de coordinación como una interacción constructiva o administrativa vinculada con uno o varios rubros. Para el recuento se conservó una actividad dominante por caso y cada rubro se contabilizó una sola vez en la cobertura, aun cuando estuviera asociado con varias oportunidades. La clasificación distinguió entre repetición física registrada, repetición documental registrada, condición o ajuste sin repetición acreditada y oportunidad hipotética. En consecuencia, una devolución administrativa no se equiparó con un segundo transporte físico.

La evitabilidad potencial exigió la identificación del evento y su localización, la acreditación de una repetición o un consumo adicional, la formulación de una alternativa técnicamente admisible y la verificación de la disponibilidad oportuna de información y autorizaciones. La alternativa debía mantener las condiciones de funcionalidad, seguridad, compactación y ensayos. La falta de medición se registró como no cuantificable (NQ), no como cero. Se evitó contabilizar dos veces un mismo recurso asociado con la reparación de base e imprimación.

La clasificación fue realizada por el equipo de autores a partir del expediente; no contó con una revisión independiente completa ni con un análisis estadístico de concordancia. La participación de uno de los autores en la ejecución aportó contexto, pero pudo afectar la selección y la interpretación de los datos. Se reservó la expresión “interferencia geométrica validada” para verificaciones sustentadas en modelos, reglas y tolerancias, que no estuvieron disponibles de manera integral en el estudio.

Escenarios y alcance de la información BIM

La ejecución histórica A se utilizó como referencia documental. La alternativa S postuló conservar la obra útil final y las exigencias de funcionalidad, seguridad y calidad; esa equivalencia no se comprobó para todos los rubros ni se elaboró un costo integral de S. En O11 se mantuvieron la superficie útil y el precio contractual de referencia, mientras se modificó la fracción de reimprimación potencialmente evitable; la protección alternativa permaneció no cuantificada. En O09 se conservaron los volúmenes naturales y los receptores de referencia y se cambió la ruta hipotética, sin que se validaran su viabilidad ni su equivalencia económica. A–S quedó limitado a comparaciones locales condicionadas. B fue un

rediseño exploratorio con cambios de cantidades; T* postuló los mismos insumos físicos de B bajo gestión tradicional. El cotejo local de ambos procedimientos reprodujo las áreas y valoraciones con entradas comunes, pero no comparó empíricamente recursos, rendimiento ni calidad. B–T* no midió un efecto de gestión. S, B y T* utilizaron conocimiento posterior y no fueron obras observadas ni experimentos independientes. La tabla 1 resume estos límites.

Tabla 1

Escenarios y condiciones de interpretación

Escenario	Definición	Límite
A	Ejecución histórica documentada.	Referencia contractual; costo real de producción incompleto.
S	Alternativa retrospectiva que postula conservar obra útil y calidad.	Comparabilidad técnica no validada integralmente; costos y cronograma completos no disponibles.
B	Rediseño exploratorio con cambios de cantidades declarados.	Fuera del balance A–S; equivalencia de desempeño no demostrada.
T*	Control conceptual de B con gestión tradicional.	Mismas entradas locales; cotejo aritmético, sin contraste empírico de desempeño.

Nota. A: ejecución histórica documentada; S: alternativa de coordinación retrospectiva; B: rediseño exploratorio; T*: control conceptual tradicional del diseño B. La conservación de obra útil y calidad fue una condición de comparabilidad, no una verificación técnica integral. B–T* no proporcionó una medida comprobada del efecto de gestión. S, B y T* no fueron obras ejecutadas ni comparadores experimentales.

La representación analítica se construyó con coordenadas locales rectificadas, sin georreferenciación ni elevaciones verificadas. Se dividió la longitud nominal en tres frentes propuestos: 0+000–1+800, 1+800–3+600 y 3+600–5+400. Al recortar las zonas de ancho 12,70/5,35/12,70 m en sus límites, se obtuvieron diez rectángulos agrupados en seis objetos: geotextil GTX-F1–F3 y geomalla GRD-F1–F3.

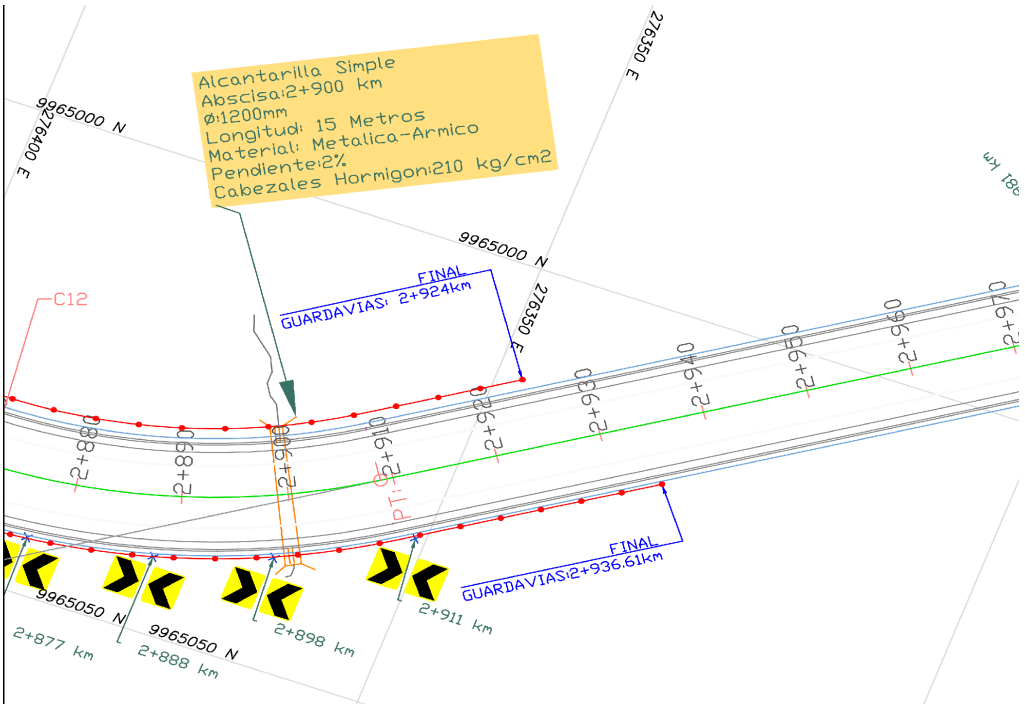
Estos no se contabilizaron como dieciséis elementos independientes y las áreas se obtuvieron mediante la multiplicación de la longitud por el ancho y la suma de los resultados, y se cotejaron con la fórmula de coordenadas del polígono; ambos cálculos utilizaron las mismas entradas. Cada identificador se relacionó tabularmente con G01/G02 y T1–T3/G1–G3. Esta comprobación permitió establecer la consistencia aritmética local, pero no acreditó la exactitud topográfica, la extracción nativa en Civil 3D, la federación multidisciplinaria ni la sincronización funcional 4D/5D.

La trazabilidad de esta representación se conservó en los anexos A04_geometria_local (vértices), A04_elementos_vinculados (objetos, cantidades y enlaces), A07_misma_informacion (cotejo con entradas comunes), A07_sensibilidad_geometria y R01_cronograma_construccion (duraciones y precedencias). La suma local por material fue de 11 835 + 9 630 + 13 231,50 = 34 696,50 m². Las coordenadas rectificadas no permitieron reconstruir las curvas del as-built; las vistas de interfaz correspondieron a recreaciones ilustrativas independientes, sin constituir representaciones derivadas de esos rectángulos ni evidencias de un modelo funcional.

La figura 2 presenta el entorno de la abscisa 2+900 dentro del sector ilustrativo 2+830–3+030. La curva C12, el cruce de drenaje y la señalización permitieron representar las dependencias entre excavación, instalación y cierre de capas, sin demostrar por sí solos su ejecución coordinada. La representación constituyó una recreación ilustrativa y no una evidencia fotográfica, topográfica ni de modelado ejecutado.

Figura 2

Representación ilustrativa del cruce en la abscisa 2+900



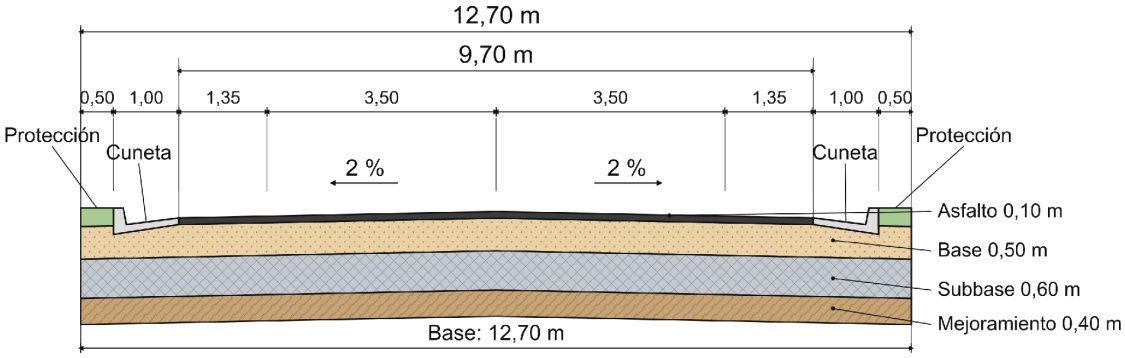
La figura 3 vincula una vista del sector 2+830–3+030 con detalles independientes. La sección muestra 9,70 m de calzada y espaldones (dos carriles de 3,50 m y dos espaldones de 1,35 m); dos cunetas de 1,00 m y dos franjas de protección de 0,50 m completan el ancho nominal de 12,70 m. Frente al dibujo típico de carriles de 3,35 m y espaldones de 1,50 m, se conserva la suma de 9,70 m, sin acreditar ensanche. La cuneta en relleno tiene solera inclinada y bordillo asimétrico, con espesor de la solera de 0,12 m al pie del bordillo; no se modeló como canal rectangular. Estos detalles permitieron orientar la coordinación de O02 y O05, pero no demostraron una ejecución continua en todo el sector. La figura constituyó una recreación visual ilustrativa basada en la documentación del proyecto; no correspondió a una captura real del software ni acreditó un modelado o análisis ejecutado.

Figura 3

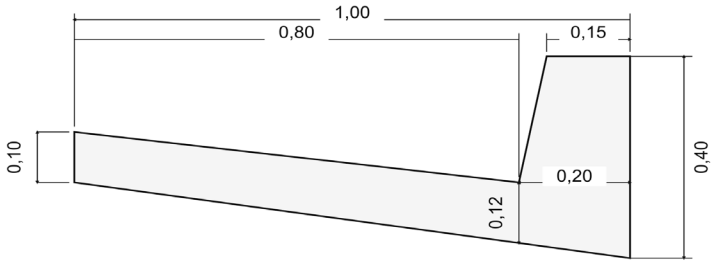
Corredor ilustrativo y referencias de sección vial y cuneta



(a) Perspectiva ilustrativa del sector



(b) Sección nominal de la vía



(c) Detalle independiente de cuneta en relleno

Medición y evaluación económica

Se adoptó principalmente la perspectiva de la entidad contratante, con precios contractuales de referencia de 2024, sin IVA ni reajustes. La valoración final agregada P se utilizó como referencia de magnitud, no como costo real de producción ni como flujo de pagos. Una reducción de recursos del contratista puede modificar su margen sin reducir las cantidades pagadas por la entidad. Por ello, la disminución de una valoración hipotética requirió comprobar si se traducía en pagos efectivamente evitados.

La ecuación 1 expresa la valoración V de una cantidad neta Q al precio unitario PU. Para los geosintéticos, la ecuación 2 separa el consumo teórico Qc y la demanda de cuadrilla H. El factor de consumo k se aplicó una sola vez para estimar la cantidad de material, sin multiplicar nuevamente el precio contractual, que ya incorporaba dicho factor en el Análisis de Precios Unitarios (APU).

$$V_i = Q_i \times PU_i \quad (1)$$

$$Q_c = Q_n \times k; \quad H = Q_n \times c_h \quad (2)$$

Qn es el área neta en m²; k, el factor de consumo; y ch, el coeficiente de horas de cuadrilla por m². En los APU del expediente presentado por el procurador (D0164, pp. 26 y 78; copia en D0165, p. 13), la columna R registró valores de 0,0275 h/m² para geotextil y 0,0220 h/m² para geomalla. R multiplica el costo horario de cada recurso. El conjunto comprende tres peones, un albañil, un chofer y un camión mediano; en este estudio, una hora de cuadrilla se definió como una hora conjunta de trabajo de dichos recursos. Por tanto, H = Qn × R expresa horas de cuadrilla y horas del camión, mientras que el trabajo humano suma 5H horas-persona. No se multiplicó R por cinco para calcular duración. Estos valores correspondieron a coeficientes presupuestarios y no a consumos observados; su conversión a días habría requerido información sobre las cuadrillas, la jornada laboral, la disponibilidad, el calendario y las precedencias.

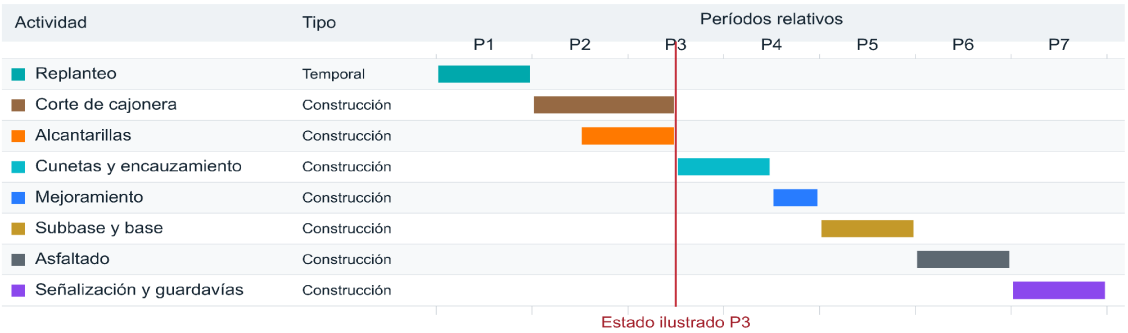
La figura 4 ilustra una secuencia propuesta: replanteo; corte de cajonera y alcantarillas; drenaje superficial; mejoramiento; capas granulares; asfaltado; y señalización. En el estado P3 se representan cruces antes del cierre de capas. Las barras expresan períodos relativos, no días ni recursos; tampoco validan la red B de 287 días, un enlace 4D funcional ni ahorros de plazo. La secuencia habría requerido diseños aprobados, disponibilidad de materiales, seguridad, control del agua y aceptación de rellenos y compactación. La figura constituyó una recreación visual ilustrativa basada en la documentación del proyecto; no correspondió a una captura real del software ni acreditó un modelado o análisis ejecutado.

Figura 4

Secuencia relativa propuesta de apertura y cierre del sector



(a) Visor 3D ilustrativo del estado P3



(b) Tareas y períodos de la secuencia propuesta

El marco económico de las ecuaciones 3 y 4 requirió establecer una misma frontera de costos para garantizar la comparabilidad de los escenarios. CT representa el costo tradicional comparable; CS, el costo coordinado antes del incremento digital; AB, el ahorro bruto; CI, el costo incremental; *Bap*, el paquete digital aplicable al escenario y al actor; J, las tareas convencionales sustituidas; O, la operación digital adicional; y BN, el beneficio neto. La protección alternativa se consideró parte de CS. J no vuelve a descontar recursos ya eliminados de CS y O no duplica los costos de actualización o licencias incluidos en *Bap*.

$$A_B = C_T - C_S; \quad C_I = B_{ap} - J + O \quad (3)$$

$$B_N = A_B - C_I \quad (4)$$

El paquete bruto C0 = USD 43 380,00 se recuperó de una estimación previa correspondiente a once actividades B01–B11, no de facturas, cotizaciones o partes de tiempo. Comprendió preparación de requisitos y datos (140 h), modelado (440 h), vínculos y revisión (240 h), actualización (32 h/mes durante doce meses = 384 h), entrega y capacitación (104 h), además de dieciséis meses de entorno

común de datos. Las 1 308 h, las tarifas de USD 25–40/h y USD 200/mes y los horizontes de doce y dieciséis meses constituyeron supuestos de planificación. El paquete contempló una implementación de alcance mayor que el apoyo parcial realizado, incluida entrega de información para la operación; no representó trabajo digital efectivamente ejecutado. La determinación de CI habría requerido delimitar el paquete aplicable, las tareas convencionales sustituidas, la operación adicional y el pagador. El beneficio neto integral permaneció NQ.

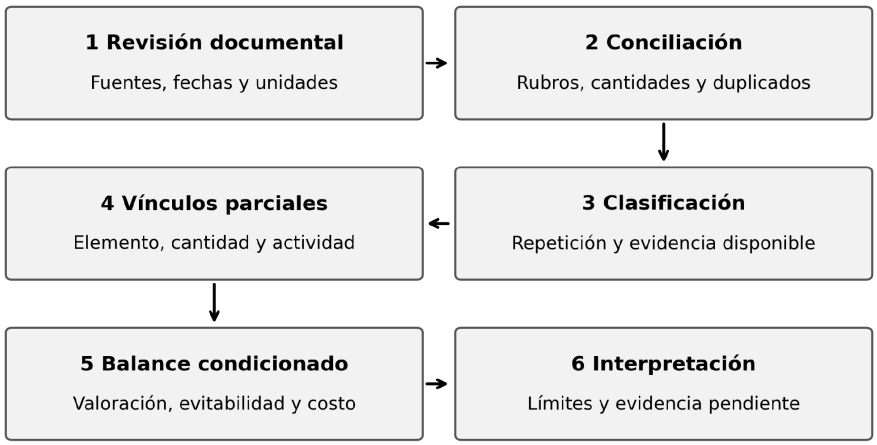
Para la reimprimación O11 se evaluó el saldo parcial L de la ecuación 5. V11 es la valoración del evento; r, su fracción técnicamente evitable, desconocida entre cero y uno; y β, un multiplicador exploratorio de C0. Se utilizaron r = 0; 0,25; 0,50; 0,75 y 1 y β = 0,50; 0,75; 1; 1,25 y 1,50. El intervalo de β se eligió como una variación determinista simétrica de ±50 %, con pasos de 25 %, para explorar la dependencia del supuesto: equivaló a USD 21 690–65 070. No procedió de una muestra de mercado, calibración empírica, probabilidades o intervalos de confianza. La comparación enfrentó un evento local y un paquete más amplio; no determinó la rentabilidad integral. Omitir términos NQ del subtotal no significó que fueran inexistentes.

$$L = r \times V_{11} - \beta \times C_0 \quad (5)$$

O09 se examinó separadamente mediante volúmenes naturales, distancias aproximadas entre abscisas y una tarifa de referencia. La falta de equivalencia económica impidió incorporarlo al balance global. Se verificaron las operaciones, las unidades y la coherencia de las categorías, sin que ello sustituyera una auditoría documental. Debido al carácter descriptivo del estudio y al análisis de un único caso, no se efectuaron pruebas de significancia ni inferencia poblacional. La figura 5 sintetiza la cadena de evidencia requerida.

Figura 5

Procedimiento de evaluación retrospectiva



3. Resultados

Cobertura y clasificación de oportunidades

Se examinaron 51 rubros, de los cuales 42 estuvieron de ellos vinculados con oportunidades de coordinación (82,35 %). La proporción expresa la cobertura de rubros analizados, no la ineficiencia de la obra ni la proporción modelada. Se distinguieron 17 oportunidades: dos con repetición física (11,76

%), una documental (5,88 %), once condiciones o ajustes sin repetición acreditada (64,71 %) y tres casos hipotéticos (17,65 %). La tabla 2 sintetiza su clasificación.

Tabla 2

Oportunidades y evidencia disponible

Caso	Interacción analizada	Clasificación
O01	Geometría, servicios y accesos.	Ajuste; repetición no acreditada.
O02	Alcantarillas y apertura de plataforma.	Coordinación histórica observada; sin segunda apertura probada.
O03	Conducto y sumideros urbanos.	Condición; reapertura no acreditada.
O04	Subdrenes y cierre de la base.	Condición; repetición no acreditada.
O05	Cunetas, rampas y descargas.	Ajuste de sección.
O06	Protección de talud arenoso.	Necesidad adicional.
O07	Entradas y salidas de drenaje.	Secuencia; repetición no acreditada.
O08	Ramal de conexión con E45.	Coordinación de capas; sin duplicación probada.
O09	Acopio y traslado de excavación.	Repetición física registrada.
O10	Acabado y protección de base.	Condición; repetición no acreditada.
O11	Reimprimación tras suspensión.	Repetición física registrada.
O12	Geosintéticos por paños.	Condición; fechas por conciliar.
O13	Entregas según capacidad del frente.	Oportunidad hipotética.
O14	Acero y hormigón por sectores.	Oportunidad hipotética.
O15	Guardacamino y señalización.	Recolocación no probada.
O16	Agua y control de polvo.	Oportunidad hipotética.
O17	Correcciones del expediente final.	Repetición documental registrada.

Nota. Síntesis de la matriz de oportunidades del estudio. Las clasificaciones describen evidencia declarada y no implican evitabilidad. Los casos pueden compartir rubros.

La ejecución física se reconstruyó entre el 16 de agosto de 2024 y el 15 de octubre de 2025: la resta entre fechas arrojó 425 días transcurridos y el conteo de ambas fechas, 426 días calendario. Esta diferencia evidenció la necesidad de conciliar las convenciones aplicables antes de contrastar el plazo contractual. El expediente reportó 116 días de suspensión y 240 días iniciales más 71 de prórroga, equivalentes a 311 días autorizados; no se verificó un cómputo unificado que permitiera concluir incumplimiento. El reinicio se documentó el 24 de septiembre de 2025. El cierre administrativo se examinó separadamente, después de la terminación física, hasta la recepción provisional del 16 de diciembre de 2025.

Casos documentados prioritarios

En O02, los registros describieron la coordinación entre la excavación y la instalación de cruces. No se acreditó una segunda apertura completa de la plataforma. La alternativa retrospectiva propuso liberar diámetros, cotas y descarga, instalar y ensayar los componentes y completar el relleno y la compactación antes de cerrar capas. Esa secuencia también podía organizarse mediante gestión tradicional. No se asignó ahorro a una repetición que no quedó demostrada.

En O09 se documentó acopio temporal en el Stock Toyuca identificado como 6+100 y traslado a receptores 2+000 y 2+280. D0104, p. 3, localiza el depósito, pero no concilia su abscisado con los 5,4 km nominales. El identificador no demuestra una ampliación asfaltada; falta determinar si es un punto externo, otro origen o un error documental. Las 32 unidades del cálculo son segmentos analíticos de excavación —catorce hacia 2+280 y dieciocho hacia 2+000—, no rubros ni viajes. Sus abscisas y volúmenes proceden de D0382, pp. 2–5; el volumen parcial se calculó multiplicando la

longitud por el área media de las secciones y el punto medio se utilizó para aproximar el origen del acarreo. La suma de 18 281,13 m³ naturales fue condicional: para 5+300–5+400 utiliza 638,18 m³ por diferencia de acumulados, frente a 638,00 m³ impresos. Con este último parcial, la suma sería de 18 280,95 m³; los 0,18 m³ requieren conciliación. Bajo la primera variante y suponiendo todos los segmentos acopiados, el cálculo extremo produjo 145 818,2515 m³·km frente a 31 488,2715 m³·km de transporte directo hipotético. La diferencia de 114 329,98 m³·km × USD 0,23/(m³·km) es USD 26 295,90, equivalente al 78,41 % del transporte local modelado, no del proyecto. No se conoce la fracción realmente acopiada.

La alternativa de transporte directo requería receptores previamente autorizados y recorridos técnicamente viables. La distancia entre abscisas no quedó validada como ruta efectiva; tampoco estuvieron completos esponjamiento, recargas, retornos, ciclos y costos operativos. Por esas razones, O09 permaneció fuera del balance global y no se sumó a la valoración de O11 para anunciar un beneficio total.

En O11 se registraron 27 717,75 L de reimprimación: 72,75 L en 3+490–3+500, margen derecho, y 27 645,00 L en 3+500–5+400. A USD 1,18/L, el evento se valoró en USD 32 706,95, ya incorporados en R23. El precio corresponde al rubro suministrado y aplicado, no solo al material. No se identificó un segundo pago por la totalidad de la base R22. La fracción evitable quedó indeterminada porque dependía de la exposición, el suministro, el tránsito, el clima y la protección alternativa.

O17 correspondió al cierre administrativo, posterior a la terminación física: se registraron devoluciones documentales el 30 de octubre y el 14 y el 28 de noviembre de 2025. Los intervalos entre oficios no equivalieron a horas de trabajo, ni se sumaron al plazo de construcción; su costo permaneció NQ. En O12 se conservaron las discrepancias entre fechas contractuales y anotaciones de geosintéticos, ya que una certificación no acredita por sí sola la fecha efectiva de colocación. La tabla 3 identifica las fuentes documentales de los principales eventos para su cotejo con el expediente.

Tabla 3

Localizadores documentales de casos prioritarios

Caso	Fuentes internas declaradas	Comprobación pendiente
O02	D0221, pp. 9–17; D0256, pp. 26–30.	Secuencia y localización; no inferir segunda excavación.
O09	D0104, p. 3; D0384, pp. 9 y 14; D0382, pp. 2–5.	Origen de 6+100; parcial 638,00/638,18 m³; lotes acopiados, rutas y costos equivalentes.
O11	D0596, pp. 2–6; D0590, p. 6; D0075, pp. 4–7.	Cantidad repetida y condiciones de evitabilidad.
O17	D0004, p. 1; D0006, p. 1; D0008, p. 1.	Horas y recursos efectivos de corrección.

Nota. Códigos del expediente reportados en el estudio. No son referencias bibliográficas científicas. Su identificación completa y acceso requieren el catálogo documental.

Vínculos parciales de cantidades y actividades

La cantidad contractual certificada de 31 779 m² por material procede de D0165, p. 5, y de la sábana firmada D0186, p. 1. El cálculo inicial es 300 × 9,10 + 4 610 × 5,35 + 490 × 8,95 = 31 779 m². Geotextil y geomalla son capas diferentes sobre una misma huella prevista; su igualdad presupuestaria no constituye doble contabilización ni demuestra coincidencia física paño por paño. D0190, pp. 2–3, aplica 12,70 m en los extremos y calcula 34 696,50 m² por capa, pero indica cobrar únicamente 31 779 m². Los objetos paramétricos B suman también 34 696,50 m² por material. La diferencia de 2 917,50 m² no se interpreta como ahorro, desperdicio o cantidad ejecutada adicional: se requiere conciliar la geometría de campo con la medición contractual. Para los 31 779 m² certificados, k = 1,10 produce 34 956,90 m²

de consumo teórico por material; los APU derivan 873,92/699,14 h de cuadrilla y 4 369,61/3 495,69 h-persona para geotextil/geomalla. Son demandas teóricas, no consumos observados.

Los precios contractuales de USD 3,73/m² para geotextil y USD 4,65/m² para geomalla valoran las cantidades certificadas en USD 118 535,67 y USD 147 772,35, respectivamente (total: USD 266 308,02). No se vuelve a aplicar k a un precio que ya incorpora el APU. La tabla 4 desarrolla GTX-F1 (Geotextil Frente 1), objeto de la geometría analítica B; su cantidad paramétrica se mantiene separada de la certificación contractual.

Tabla 4

Comprobación local del objeto GTX-F1

Variable	Valor o relación	Alcance de comprobación
Identificadores	GTX-F1 → G01 → T1	Enlace tabular recuperado en A04; no enlace funcional de software.
Área neta	11 835,00 m²	Área de rectángulos locales; no medición topográfica validada.
Consumo	11 835 × 1,10 = 13 018,50 m²	Operación teórica reproducible.
Valoración	11 835 × 3,73 = USD 44 144,55	Operación reproducible.
Demanda	11 835 × 0,0275 = 325,46 h de cuadrilla	Derivación del APU; no duración observada.
Duración	30 días calendario simulados	Dos cuadrillas; 8 h; semana 6/7; disponibilidad 0,80. Supuestos.

Nota. APU: D0164, p. 78, entregado mediante oficio firmado del procurador en p. 26; copia D0165, p. 13. Geometría y enlaces: anexos analíticos A04. Los recursos y días calculados no sustituyen mediciones de producción.

GTX-F1 corresponde al frente analítico de 1 800 m, representado mediante 300 m de ancho fijo 12,70 m y 1 500 m de ancho variable w. A(w) = 300 × 12,70 + 1 500 × w produce 11 310; 11 835 y 12 360 m² para w = 5,00; 5,35 y 5,70 m. A USD 3,73/m², las valoraciones son USD 42 186,30; 44 144,55 y 46 102,80: variaciones de ±525 m² y ±USD 1 958,25. Los vértices rectificados constan en A04_geometria_local.json y el cotejo en A07_sensibilidad_geometria.json. Son perturbaciones de una geometría local propuesta, sin validación topográfica, equivalencia estructural ni actualización automática acreditadas.

Las duraciones de T1 proceden de recursos y calendario supuestos recuperados: dos cuadrillas de geotextil, ocho horas por jornada, seis días laborables por semana y disponibilidad productiva 0,80. Se aplica d = techo[(A × 0,0275)/(2 × 8 × (6/7) × 0,80)]. Para A = 11 835 m² se requieren 325,4625 h de cuadrilla, equivalentes a 40,6828 jornadas con una cuadrilla o 20,3414 con dos; el ajuste arroja 29,6646 días calendario y se redondea a treinta. Las áreas de 11 310/12 360 m² producen 29/31 días. Para la red de 34 actividades de R01_cronograma_construccion.json, el análisis previo reportó un final en el día relativo 287 con precedencias fin–inicio e inicio–inicio; su reproducción externa requiere disponer del archivo completo. La perturbación local no cambió ese final bajo la red y los supuestos conservados. La disponibilidad y los rendimientos no están calibrados con producción real; 287 días no acredita una programación 4D ejecutada ni ahorro frente a A.

Evaluación económica y sensibilidad

La valoración principal final firmada fue inferior al presupuesto principal inicial, mientras que el complementario incrementó el agregado final. La tabla 5 conserva esta distinción. La diferencia entre el presupuesto inicial y el agregado final respondió a cantidades y alcance; no midió desperdicio ni

costo real de producción. Las redistribuciones contractuales con saldo neto cero no se añadieron como sobrecostos.

Tabla 5

Conciliación de valoraciones contractuales

Concepto	USD
Presupuesto principal original	4 407 003,55
Valoración principal final firmada	4 391 580,67
Complementario de geosintéticos	266 308,02
Valoración final agregada P	4 657 888,69
Diferencia frente al principal original	250 885,14

Nota. Referencia contractual D0128 y documentación complementaria. Base de precios de 2024, sin IVA ni reajustes. Los importes no constituyen costos marginales ni flujos de pago.

El paquete bruto supuesto de USD 43 380,00 equivale al 0,931 % de P. La tabla 6 conserva la desagregación por esfuerzo y tarifa de B01–B11. Su alcance cubre la preparación, el modelado, el seguimiento y la entrega de información para toda la intervención propuesta; excede el ejemplo local de O11 y el apoyo parcial efectivamente analizado. El cociente expresa magnitud presupuestaria, no rendimiento ni rentabilidad.

Tabla 6

Paquete digital bruto supuesto

Componente y esfuerzo	USD
Requisitos y datos: 60 h × USD 35/h + 80 h × USD 25/h	4 100,00
Modelado vial, drenaje e información existente: (240 + 120 + 80) h × USD 28/h	12 320,00
Vínculos y revisión: 120 h × USD 35/h + 120 h × USD 40/h	9 000,00
Actualización: 32 h/mes × 12 meses × USD 30/h	11 520,00
Entorno de datos: 16 meses × USD 200/mes	3 200,00
Entrega y capacitación: 80 h × USD 30/h + 24 h × USD 35/h	3 240,00
Total: 1 308 h y 16 meses de entorno	43 380,00

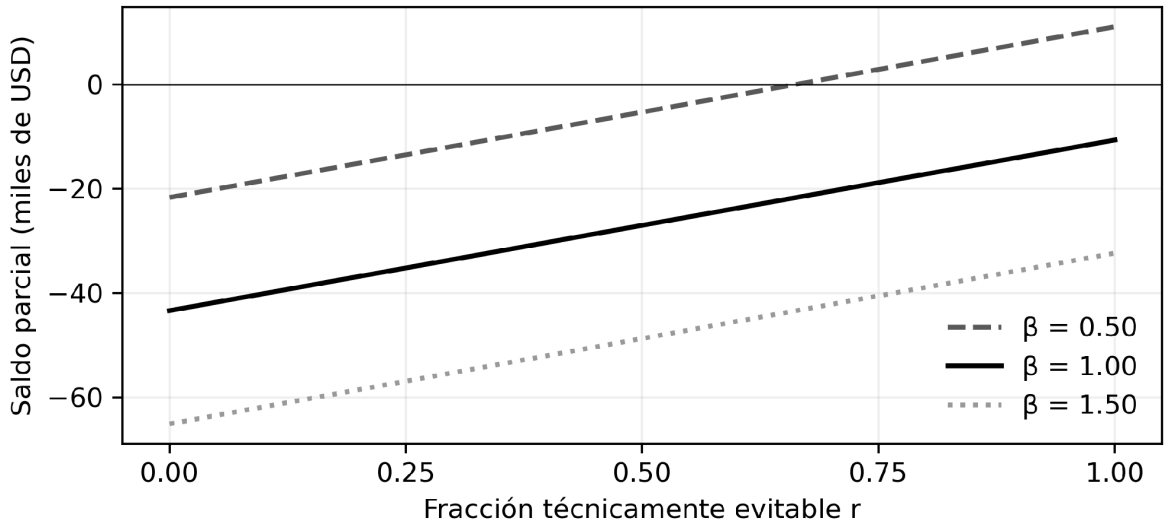
Nota. Estimación previa B01–B11, anexo R01_costos_preparacion_bim.csv. Horas, tarifas y horizontes son supuestos, sin cotizaciones ni medición empírica; los dieciséis meses de servicio no implican dieciséis meses de dedicación de cada perfil. No se valida un presupuesto de mercado. Deben conciliarse usos aplicables, tareas convencionales sustituidas y operación adicional antes de obtener CI.

Sin eliminar la reimprimación, el subtotal P + C0 alcanzó USD 4 701 268,69. Con la eliminación total hipotética de O11, P − V11 + C0 fue USD 4 668 561,74: USD 10 673,05 por encima de P, equivalentes al 0,229 %. La valoración completa de O11 representó el 0,702 % de P y cubrió el 75,40 % del paquete bruto. Estos subtotales no incluyeron protección, operación adicional, sustituciones convencionales ni otros beneficios NQ.

Con r = 1, el saldo L es USD 11 016,95 para $\beta = 0{,}50$; −USD 10 673,05 para $\beta = 1$; y −USD 32 363,05 para $\beta = 1{,}50$ (figura 6). El umbral general es $r^* = \beta C0/V11$. Para $\beta = 0{,}50$; 0,75; 1; 1,25 y 1,50 se obtienen $r^* = 0{,}6632$; 0,9947; 1,3263; 1,6579 y 1,9895, respectivamente. El valor 1,3263 corresponde solo a $\beta = 1$ y supera el máximo admisible de r; bajo ese supuesto, O11 no compensa por sí solo el paquete bruto completo. Los casos con $r^* \leq 1$ son equilibrios algebraicamente posibles de este saldo parcial, no ahorros demostrados ni rentabilidad integral.

Figura 6

Sensibilidad del saldo parcial de reimprimación



Nota. Cálculo mediante la ecuación 5. Las líneas representan supuestos de costo bruto; no son probabilidades ni estimaciones del beneficio neto integral.

4. Discusión

Coordinación y alcance del aporte técnico

El principal hallazgo fue la distinción entre las oportunidades de coordinación, las repeticiones documentadas y los beneficios económicos acreditables. La vinculación de 42 rubros con 17 oportunidades evidenció interacciones entre actividades, pero no demostró que el 82,35 % de la obra fuese ineficiente. Los casos O09, O11 y O17 documentaron repeticiones de diferente naturaleza, mientras que O02 mostró que una secuencia adecuada también podía desarrollarse mediante gestión tradicional.

Esta clasificación se relaciona con la diversidad de aplicaciones y requisitos de información en carreteras sistematizados por Castañeda et al. (2024) y con las limitaciones de integración descritas por Bradley et al. (2016). A diferencia de los estudios orientados a la implementación de funcionalidades BIM, la aportación de este caso reside en exigir una secuencia verificable entre la incidencia observada, la repetición, la alternativa viable y el recurso o pago evitable. No se formuló un método universal de retorno de inversión ni se contabilizaron interferencias geométricas validadas.

GTX-F1 permitió reproducir áreas de rectángulos locales, consumo teórico, valoración y duración condicionada a un calendario supuesto. El final reportado para la red B requirió la comprobación del archivo de actividades y sus precedencias; no validó la geometría construida, la productividad ni la sincronización entre programas. A diferencia de los procedimientos de integración y programación examinados por Doukari et al. (2022) y Peña et al. (2026), en el presente estudio no se acreditó un intercambio funcional entre modelos y cronograma. Los cálculos podrían realizarse en una hoja de cálculo; por tanto, atribuir un efecto específico a BIM exigiría medir la continuidad de identificadores, la extracción de la geometría validada, la propagación de cambios y el esfuerzo de coordinación. Las dificultades de interoperabilidad revisadas por Costin et al. (2018) coinciden con la necesidad de comprobar estos aspectos antes de atribuir beneficios específicos al uso de BIM.

Interpretación económica y comparabilidad

El saldo parcial negativo frente al paquete completo no constituyó un retorno de inversión observado ni permitió aceptar o rechazar económicamente BIM para toda la obra, debido a que la comparación contrapuso una valoración local y un paquete bruto hipotético de mayor alcance. La fracción técnicamente evitable y su eventual conversión en pago evitado tampoco fueron medidas. Una evaluación integral requeriría considerar los costos digitales por uso, las tareas convencionales sustituidas, el pagador identificado y los recursos marginales comparables.

La distinción entre valoración contractual y costo de producción condicionó la interpretación de los resultados. Reducir combustible u horas podría beneficiar al contratista sin modificar la cantidad útil pagada por la entidad. Anticipar estudios de suelo o drenaje también podría mejorar el diseño mediante gestión tradicional. B y T* expresaron esa separación: el cotejo local con entradas comunes reprodujo áreas y valoraciones, sin contrastar empíricamente actividades, recursos y desempeño. En este sentido, la disciplina de medición examinada por Wu et al. (2014) y Sepasgozar et al. (2022) resulta necesaria, pero no suficiente para atribuir un beneficio a BIM.

La exclusión del acarreo extremo del balance evitó sumar magnitudes sin equivalencia económica. El valor calculado puede orientar mediciones futuras de lotes, rutas y ciclos, pero no sustituye esos registros. Asimismo, el cambio de signo de L al variar β reflejó supuestos de sensibilidad, no nueva evidencia de desempeño. La ausencia de cuantificación integral no significó la inexistencia de ahorros; mostró que la decisión económica no podía establecerse con las magnitudes disponibles.

Aplicación y límites de transferencia

Las oportunidades identificadas orientaron prioridades de gestión: liberar cotas y descargas antes de cerrar sectores, disponer de receptores autorizados, coordinar el suministro con las superficies expuestas y conservar versiones conciliadas de cantidades. Su viabilidad dependió de las condiciones de ingeniería, los recursos y las decisiones oportunas. El apoyo digital ofreció una estructura de información, pero el estudio no cuantificó su efecto de manera independiente de esos factores.

La transferencia de los resultados fue principalmente metodológica: las categorías de evidencia y las reglas de balance pueden emplearse en otros expedientes, pero las tarifas, los rendimientos, los períodos y los porcentajes requieren una nueva verificación. Una validación prospectiva necesitaría registrar las incidencias antes de la ejecución, las decisiones disponibles, el tiempo de revisión, los recursos marginales y el costo incremental de información. El aporte radica en no transformar una oportunidad detectada en beneficio económico sin pasar por comprobaciones sucesivas.

Limitaciones

La información disponible no permitió reconstruir los costos completos de producción. Faltaron los APU de los 49 rubros principales, los partes horarios homogéneos, la contabilidad por frente, los consumos efectivos y los costos de protección. En O09 no se conoció la fracción realmente acopiada y en O11 no se determinó la proporción técnicamente evitable. Los importes contractuales, por tanto, no sustituyeron la información sobre los recursos marginales.

La representación digital fue local y parcial. Los archivos analíticos recuperados permitieron reproducir rectángulos, vínculos tabulares, recursos supuestos y la agregación temporal de B, pero no acreditaron la topografía construida, la extracción nativa, la sincronización funcional ni la productividad de campo. La superficie certificada de geosintéticos difirió de la calculada con los

anchos del anexo posterior; no se conciliaron ambas mediante una medición final verificada. Quedaron pendientes de verificación las convenciones del cómputo histórico, las fechas efectivas de colocación, el origen de la abscisa 6+100 y el parcial discrepante de 0,18 m³. La equivalencia técnica integral de A–S y B–T* no fue demostrada.

El conocimiento posterior, la ausencia de un comparador ejecutado y la participación de un autor en la obra limitaron la validez interna. No se realizó una clasificación independiente completa. Los parámetros de sensibilidad no constituyeron distribuciones de probabilidad ni intervalos de confianza. El análisis de un único caso no permitió generalizar los resultados cuantitativos a otras carreteras.

La reproducción externa requiere el catálogo documental y los originales autorizados, además de las matrices y los archivos analíticos identificados en el texto. Los anexos locales A04, A07 y R01 permiten comprobar sus fórmulas y supuestos, pero no sustituyen el expediente ni un modelo georreferenciado de la obra. Las extensiones ambientales y de conservación no se utilizaron como evidencia central, debido a que dependían de factores y flujos sin validación completa.

5. Conclusiones

La evaluación retrospectiva permitió distinguir repeticiones documentadas, ajustes constructivos y oportunidades hipotéticas de coordinación. Esta clasificación permitió orientar la preparación de frentes y la revisión de cantidades, pero no demostró que las incidencias fueran atribuibles a la ausencia de BIM.

El análisis con apoyo BIM parcial mostró consistencia aritmética en relaciones locales entre áreas paramétricas, consumos teóricos y precios contractuales. Su alcance se limitó a las entradas declaradas: no validó cantidades construidas, productividad ni costos reales de producción. La discrepancia entre la superficie certificada y la calculada requiere una conciliación documental y de campo.

La evaluación económica permitió formular un saldo parcial condicionado, sin determinar el beneficio neto integral. Bajo el supuesto de un costo bruto completo, la eliminación total de la reimprimación no habría compensado por sí sola el paquete digital. Esta comparación entre escenarios de diferente alcance no permitió establecer la rentabilidad de BIM para toda la obra.

El diagnóstico permitió identificar como prioridades la liberación de cotas y descargas, la coordinación del drenaje con el cierre de capas y la programación del suministro y la protección de superficies. Estas acciones también podían desarrollarse mediante gestión tradicional; el estudio no permitió identificar un beneficio adicional atribuible al uso digital.

La evaluación futura del aporte específico de BIM requiere información validada desde el diseño, seguimiento de decisiones y recursos, y comparadores de igual alcance y calidad. Solo con esa evidencia podrá comprobarse si la mejora de coordinación compensa el costo incremental de implementar y operar BIM.

Referencias

Azhar, S., Khalfan, M., & Maqsood, T. (2015). Building information modelling (BIM): Now and beyond. *Australasian Journal of Construction Economics and Building, 12*(4), 15–28. https://doi.org/10.5130/AJCEB.v12i4.3032

Bradley, A., Li, H., Lark, R., & Dunn, S. (2016). BIM for infrastructure: An overall review and constructor perspective. *Automation in Construction, 71*, 139–152. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.019

Castañeda, K., Sánchez, O., Herrera, R. F., Gómez-Cabrera, A., & Mejía, G. (2024). Building information modeling uses and complementary technologies in road projects: A systematic review. *Buildings, 14*(3), 563. https://doi.org/10.3390/buildings14030563

Costin, A., Adibfar, A., Hu, H., & Chen, S. S. (2018). Building information modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations. *Automation in Construction, 94*, 257–281. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.001

Crowe, S., Cresswell, K., Robertson, A., Huby, G., Avery, A., & Sheikh, A. (2011). The case study approach. *BMC Medical Research Methodology, 11*, Article 100. https://doi.org/10.1186/1471-2288-11-100

Doukari, O., Seck, B., & Greenwood, D. (2022). The creation of construction schedules in 4D BIM: A comparison of conventional and automated approaches. *Buildings, 12*(8), 1145. https://doi.org/10.3390/buildings12081145

Fischhoff, B. (1975). Hindsight is not equal to foresight: The effect of outcome knowledge on judgment under uncertainty. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 1*(3), 288–299. https://doi.org/10.1037/0096-1523.1.3.288

Peña, C. A., Camacho-Torregrosa, F. J., & García, A. (2026). BIM-based flowchart for improving road construction planning and management. *Automation in Construction, 184*, 106845. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2026.106845

Pirdavani, A., Muzyka, S., Vandervoort, V., & Van Hoye, S. (2023). Application of building information modeling (BIM) for transportation infrastructure: A scoping review. *Transportation Research Procedia, 73*, 110–117. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.898

Sepasgozar, S., Costin, A., Karimi, R., Shirowzhan, S., Abbasian, E., & Li, J. (2022). BIM and digital tools for state-of-the-art construction cost management. *Buildings, 12*(4), 396. https://doi.org/10.3390/buildings12040396

Wu, S., Wood, G., Ginige, K., & Jong, S. W. (2014). A technical review of BIM based cost estimating in UK quantity surveying practice, standards and tools. *Journal of Information Technology in Construction, 19*, 534–562. https://www.itcon.org/paper/2014/31

Transparencia

Conflicto de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés de naturaleza alguna como parte de la presente investigación.

Fuente de financiamiento

Los autores financiaron completamente la investigación.

Declaración sobre el uso de Inteligencia Artificial (IA)

Se empleó asistencia de inteligencia artificial para la revisión editorial, lingüística y de consistencia formal del manuscrito y para la elaboración de recreaciones visuales ilustrativas de entornos de diseño y planificación. Estas recreaciones no son capturas reales ni acreditan modelado o análisis ejecutados en software. Su uso no sustituye la verificación de fuentes, cálculos y afirmaciones por los autores.

Contribución de autoría

Victor Dario Andrade-Quincha: Conceptualización, metodología, software, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento, administración del proyecto, recursos, supervisión.

Marco Armando Tituaña-Tipán: Conceptualización, metodología, software, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento.

Jorge José Arroyo-Orozco: Conceptualización, metodología, validación, análisis formal, investigación, gestión de datos, visualización, redacción - preparación del borrador original, redacción - revisión y edición, financiamiento.

Wellington Isaac Maliza-Cruz: Redacción - revisión y edición, financiamiento.

Los autores contribuyeron activamente en el análisis de los resultados, revisión y aprobación del manuscrito final.