



ASPECTOS DE LA APLICACIÓN DE BIM EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL

José Ricardo Solorio Murillo¹, Agustín Sánchez Olguín², Juan Fernando Mendoza Sánchez³

¹ Instituto Mexicano del Transporte, San Fandila, México, rsolorio@imt.mx

² Instituto Mexicano del Transporte, San Fandila, México, Agustin.Sanchez@imt.mx

³ Instituto Mexicano del Transporte, San Fandila, México, jmendoza@imt.mx

Resumen

El presente artículo se ha preparado con el objeto de puntualizar algunas características de la infraestructura vial que se considera importante tener presentes con miras a lograr una aplicación exitosa de la metodología BIM en el desarrollo de proyectos de carreteras. Para ello, en primer lugar, se introduce de manera general el contexto del tema propuesto. Más adelante, se abunda sobre los aspectos más relevantes de la BIM y sobre sus aportaciones al desarrollo y operación de proyectos de ingeniería y arquitectura. Enseguida, se describen las particularidades de la infraestructura vial que debieran tomarse en cuenta para el uso de la metodología BIM en este ámbito. El texto continúa con la descripción de un aspecto central del uso de BIM en proyectos de carreteras reportado en la literatura: la relación entre esta metodología y la gestión de infraestructura vial. En esta sección, se tratan también algunos elementos de la aplicación de BIM en las distintas fases del ciclo de vida de los proyectos viales. Finalmente, se concluye remarcando la importancia de diferenciar los tipos de modelos y los niveles de detalle de la información que se aplican de manera predominante en las fases de suministro y operación de los proyectos.

Palabras Clave: BIM, proyecto de carreteras, ciclo de vida, gestión de activos.

1 Introducción

BIM (siglas en inglés de *Modelización de información para la construcción*) es un proceso colaborativo para el suministro (proyecto, construcción) y operación de obras en el dominio de la ingeniería y la arquitectura. La cobertura de ambas fases de los proyectos implica que el proceso abarca la totalidad del ciclo de vida de los activos construidos. Hasta ahora, BIM se ha utilizado mayormente en obras individuales de tipo “vertical” (edificios, centros comerciales o plantas industriales), sin embargo, a nivel internacional, existe un interés creciente por ampliar el ámbito de aplicación de esta metodología a obras públicas de infraestructura, incluyendo las carreteras.

Si bien, en el contexto de BIM, algunos componentes de la infraestructura vial como puentes, cortes o túneles pueden recibir un tratamiento similar al de las obras verticales, en general las carreteras tienen rasgos tipológicos marcadamente distintos a los de las obras de edificación referidas, que harían necesarios esquemas de aplicación de BIM también distintos. Por una parte, en cuanto al aspecto geométrico, la dimensión longitudinal de las carreteras es siempre considerablemente mayor al ancho y al espesor del pavimento, lo que le da al conjunto de la obra una configuración de tipo “horizontal” y no “vertical”. Además, la gestión de las carreteras en la fase de operación se enfoca no solo en el nivel de proyecto, sino que exige también análisis a nivel de red que permitan calcular, optimizar y distribuir los recursos necesarios para mantener estándares aceptables en lo relativo al estado físico y a los atributos operativos, así como programar adecuadamente las correspondientes obras de conservación y modernización. Cabe destacar que los rasgos anteriores son compartidos de



alguna forma por otras obras de infraestructura como las vías férreas o las líneas de transmisión de energía eléctrica.

Aunque, conceptualmente, los proyectos pueden beneficiarse del uso de BIM en todo el ciclo de vida, en realidad, hasta la fecha, las aplicaciones de esta metodología se han concentrado preferentemente en la fase de suministro. En lo que respecta a las carreteras, los análisis a nivel de red durante la fase de operación implican un menor nivel de detalle en los datos, herramientas de cálculo muy distintas a las utilizadas en la fase de suministro y un modelo del objeto de estudio (la red) también muy diferente al de los objetos abordados en la fase inicial (tramos de carretera, puentes, etc.). Ambos factores complican la aplicabilidad de la metodología BIM en la fase de operación de los proyectos viales, la cual constituye la fase más relevante desde el punto de vista de las administraciones de carreteras.

Tomando en cuenta lo anterior, en este artículo se puntualizan algunos aspectos que podrían ser útiles para avanzar hacia la cabal aplicación de BIM en el ciclo de vida de proyectos de infraestructura vial. Con este propósito se presenta, en primer lugar, el concepto general de la metodología seguido por descripciones breves de sus principales atributos y elementos asociados. Más adelante, en la sección 3, se analizan las particularidades de la infraestructura vial relevantes para una aplicación diferenciada de BIM con respecto a su aplicación tradicional en proyectos de edificación. La sección 4 está dedicada a examinar posibles vertientes de la aplicación de BIM en las fases de suministro y operación de los proyectos de carreteras. En esta sección, también, se destaca la importancia de la interoperabilidad de los datos entre estas dos fases principales. Finalmente, en la sección 5, se resumen las conclusiones de este ejercicio de análisis.

2 Aspectos generales de BIM

El Ministerio de Negocios, Innovación y Empleo de Nueva Zelanda define BIM como un “conjunto coordinado de procesos, basado en tecnología, que añade valor mediante el intercambio de información estructurada sobre edificaciones y activos de infraestructura [1]. Por otro lado, según la empresa *AutoDesk*, BIM es un proceso holístico y colaborativo para la generación y gestión de la información de un activo durante su ciclo de vida, que conduce a la integración y distribución de datos estructurados de distintas disciplinas para crear una representación digital del activo útil durante las fases de planeación, diseño, construcción y operación [2].

Dentro del gobierno federal mexicano, en los últimos años ha existido un interés manifiesto respecto a la aplicación de la metodología BIM en el proyecto y construcción de obra pública. Como reflejo de ello, en el año 2019 la SHCP publicó su *Estrategia para la implementación del modelado de información de la construcción (MIC) en México* [3], según la cual BIM es una “metodología para solicitar, generar, intercambiar y gestionar información acordada entre los múltiples actores durante todo el ciclo de vida de un proyecto”. El mismo documento establece que BIM permite anticipar problemas o mitigarlos, reducir cambios en el proyecto durante la etapa de construcción, aumentar la productividad en esta misma etapa y reducir los costos.

Dada su naturaleza colaborativa, la aplicación de BIM en un entorno determinado debe sujetarse a un cierto marco normativo. A este respecto, con la serie de normas BS/PAS 1192, el Instituto Británico de Normalización (*British Standards Institution, BSI*) ha realizado la contribución más significativa a nivel internacional para la normalización de los procesos de creación, distribución y gestión de la información en el contexto de BIM, al grado de que estas normas han servido como base para el desarrollo gradual de su propio reemplazo global con la serie ISO 19650 [4]. En lo que respecta a nuestro país, la estrategia de la SHCP para la implementación de BIM refiere que los gobiernos de



México y el Reino Unido elaboraron coordinadamente un memorándum de entendimiento para “promover el intercambio de información y mejores prácticas sobre las estrategias para la implementación de BIM” [3]. El documento también señala como una de las estrategias para la implementación de BIM su incorporación dentro del marco normativo en materia de contrataciones públicas para proyectos de infraestructura.

En los siguientes párrafos se complementan los aspectos generales de BIM mediante la descripción de algunas de sus principales características y elementos relevantes.

2.1 Dimensiones

Tradicionalmente, los modelos utilizados en el diseño y construcción de edificaciones y activos de infraestructura han estado restringidos a la vertiente geométrica y gráfica, representada en dos y tres dimensiones. Hasta la década de los 80 del siglo pasado, estos modelos se crearon mediante la aplicación manual de técnicas de dibujo, sin embargo, con el advenimiento de aplicaciones *CAD* (siglas en inglés de *diseño asistido por computadora*) para computadoras de escritorio, el uso de herramientas de tecnología de la información se convirtió gradualmente en una práctica común.

Dado su carácter holístico, la metodología BIM aborda de manera integral otros componentes de la información de los proyectos a través de “dimensiones” adicionales a las de los modelos geométricos. Entre estas, se reconocen en forma generalizada las siguientes: i) Tiempos de ejecución y secuencia de actividades (4D), utilizados en la preparación de los programas de trabajo; ii) Costos de mano de obra, materiales, equipos, etc. (5D); iii) Sustentabilidad del activo construido (6D), evaluada a partir de comparaciones del consumo de energía con respecto a una línea de base; iv) Gestión del activo durante el ciclo de vida (7D), que comprende la planeación y programación de las actividades de mantenimiento durante la fase de operación [5]. La dimensión 7D cobra especial relevancia en el caso de la infraestructura vial y, en varios sentidos, debe homologarse con los procesos de gestión de carreteras de las organizaciones operadoras.

Por otro lado, actualmente existe una amplia discusión sobre tres dimensiones adicionales: consideraciones sobre la seguridad de la obra durante el diseño y la construcción (8D), construcción optimizada o sin desperdicios (*lean construction*, 9D) e industrialización de la construcción (10D). Esta última dimensión integra los diversos aspectos de la digitalización de proyectos con miras a trasladar al ámbito de la construcción los avances de la industria manufacturera en términos de productividad.

2.2 Niveles de madurez

Para establecer el grado de asimilación y aplicación efectiva de la metodología BIM por parte de una organización se recurre a los llamados *niveles de madurez*. Las normas PAS 1192 definen cuatro de estos niveles (Figura 1), vinculados al alcance de la colaboración existente entre los participantes en el proyecto [6]: *Nivel 0* o de *baja colaboración*, en el cual la información se produce y se comparte a través de documentos impresos (incluyendo planos CAD), lo que en realidad restringe el trabajo colaborativo; *Nivel 1* o de *colaboración parcial*, que implica la transición de CAD a modelos digitales 2D y 3D y el establecimiento de un *entorno común de datos* (CDE por sus siglas en inglés) para el intercambio de información, limitado en este nivel a cada equipo de trabajo del proyecto; *Nivel 2* o de *colaboración total*, caracterizado por la ampliación de la cobertura del intercambio de información a los diferentes equipos de trabajo, que ahora se enfocan en la actualización progresiva de las partes del proyecto que les competen, incluyendo lo referente a las dimensiones 4D y 5D, mediante un uso

generalizado del CDE; *Nivel 3* o *de integración total*, correspondiente a una visión de futuro que persigue la integración completa de la información mediante un entorno residente en la nube.

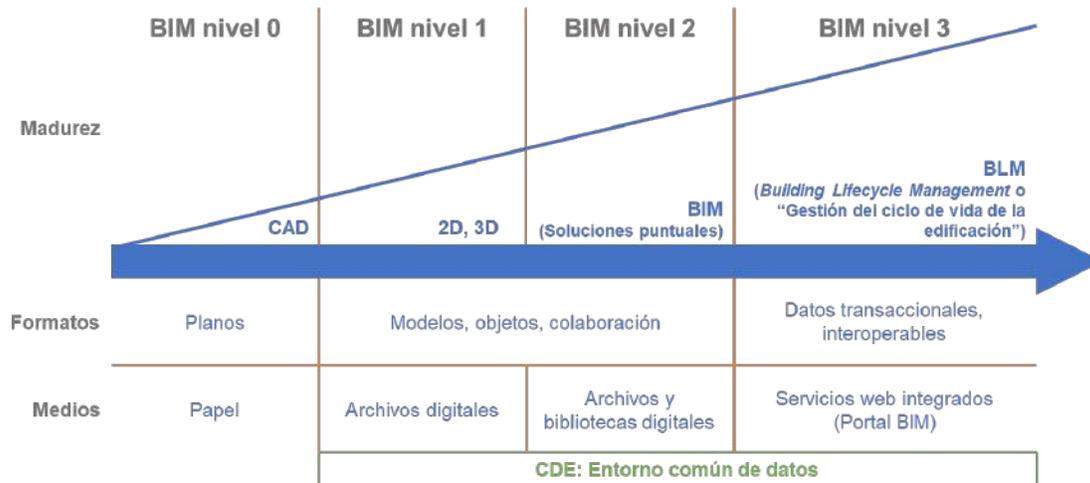


Figura 1. Niveles de madurez de BIM según PAS 1192 (adaptada de [6]).

2.3 Interoperabilidad de los datos

Durante la fase de suministro de los proyectos, que comprende las etapas de planeación, diseño y construcción, es común que equipos de trabajo especializados en diferentes disciplinas (estructuras, geotecnia, etc.) produzcan sus propios modelos. La aplicación de BIM supone la combinación de estos modelos individuales en un *modelo integrado* [1], cuya creación debe ajustarse a especificaciones para el intercambio de información, compatibilidad e interoperabilidad de los formatos de archivo debidamente documentadas en el plan de ejecución de BIM del proyecto. Con el modelo integrado, se busca garantizar la coordinación interdisciplinaria mediante el uso de formatos de archivo compatibles para el intercambio de datos geométricos y de los demás tipos.

La interoperabilidad de los datos se fundamenta en el uso de estándares de intercambio independientes de las aplicaciones empleadas en la construcción de cada modelo individual. En esta línea, la organización *buildingSMART* ha promovido desde hace más de dos décadas la utilización de un modelo universal de intercambio orientado a objetos, conocido como *IFC* por las siglas de *Industry Foundation Classes*. A fin de acelerar la aplicación de BIM en el dominio de la infraestructura vial, *buildingSMART* se encuentra desarrollando el proyecto *IFCroad*, el cual está encaminado a producir variantes del modelo global apropiadas para las carreteras. Según esta organización, *IFCroad* tiene actualmente la categoría de *estándar candidato*, luego de haber producido un modelo conceptual y, actualmente, el proyecto se encuentra en la fase de *pruebas e implementación de software* [7].

2.4 Gemelos digitales

Esencialmente, un gemelo digital se refiere a una representación virtual de activos, procesos o sistemas completos creada con el propósito de visualizar el comportamiento de cualquiera de las entidades anteriores bajo una gran diversidad de condiciones de interés, lo que puede contribuir a mejorar la toma de decisiones y a optimizar los procesos organizacionales [8]. Según lo mencionado en la sección 1, las aplicaciones actuales de BIM se concentran principalmente en la fase de suministro de proyectos verticales. En este ámbito, por lo regular, los gemelos digitales se construyen a partir de



modelos 3D (basados en toda la información geométrica y no geométrica relevante) que permiten simular el comportamiento del activo en su conjunto o de partes de él. Sin embargo, como se explica en el inciso 4.3, este modelo no resulta adecuado para representar los procesos vinculados a la infraestructura vial a nivel de red durante la fase de operación.

2.5 Nivel de definición del modelo (LOMD)

De acuerdo con NBS, que cita también las normas PAS 1192, la información de un proyecto y de un activo es una “combinación de datos gráficos, no gráficos y documentos relacionados con una edificación o un proyecto de construcción, todos ellos almacenados y gestionados en un entorno común de datos (CDE)” [9]. Como ha quedado esbozado en el inciso 2.2, el CDE es un repositorio central donde se almacena la información de un proyecto, a fin de proporcionar una fuente de datos única para favorecer la colaboración entre los involucrados, reducir los errores y evitar duplicidades.

NBS también describe el *nivel de definición del modelo* (“*Level of Model Definition*”, LOMD) como la combinación del *nivel de detalle gráfico* (“*Level of Graphical Detail*”, LOD) y el nivel de detalle no gráfico o *nivel de información* (“*Level of Information*”, LOI), necesarios en diferentes etapas del proyecto.

La información gráfica puede ser 2D o 3D pero, en cualquier caso, proporciona referencias visuales de posición y contexto de los diferentes componentes del proyecto e ilustra las relaciones entre ellos. Los datos no gráficos abarcan un amplio abanico de propiedades de los mismos componentes (dimensiones, tipos de material, propiedades mecánicas, etc.) que se vinculan al modelo para facilitar los procesos de búsqueda, recuperación y análisis.

Naturalmente, conforme se avanza en el desarrollo de los proyectos se incrementan los requerimientos de LOD y LOI. Así, por ejemplo, el proyecto de una carretera que se inicia con el proceso de selección de ruta, debe eventualmente producir un conjunto de secciones longitudinales claramente diferenciadas en términos de sus atributos de alineamiento horizontal, alineamiento vertical y secciones transversales, que podrán representarse gráficamente con un nivel de detalle y una variedad de vistas cada vez mayores.

2.6 Beneficios

La experiencia mundial muestra que el uso de BIM en la fase de suministro genera beneficios como mejoras notables en la calidad de los proyectos y las obras terminadas, detección temprana de interferencias entre componentes, reducciones significativas de los riesgos de los proyectos y mayor conformidad con los tiempos de ejecución y los costos estimados. En lo que respecta a la fase de operación, uno de los principales beneficios es la disponibilidad de información y procedimientos sobre el mantenimiento de los activos para las partes interesadas, que pueden gestionar estos elementos en forma conjunta. Considerando la totalidad del ciclo de vida, quizá el beneficio potencial más atractivo de BIM se refiere a la disminución drástica de las pérdidas de información que normalmente ocurren entre las etapas del ciclo (ver Figura 2).

3 Particularidades de los proyectos de carreteras

Más allá de su configuración “horizontal”, las carreteras poseen una serie de particularidades con respecto a las obras de edificación que deben tomarse en cuenta cuando se valora la aplicación de BIM. A continuación se examinan algunas de estas particularidades.

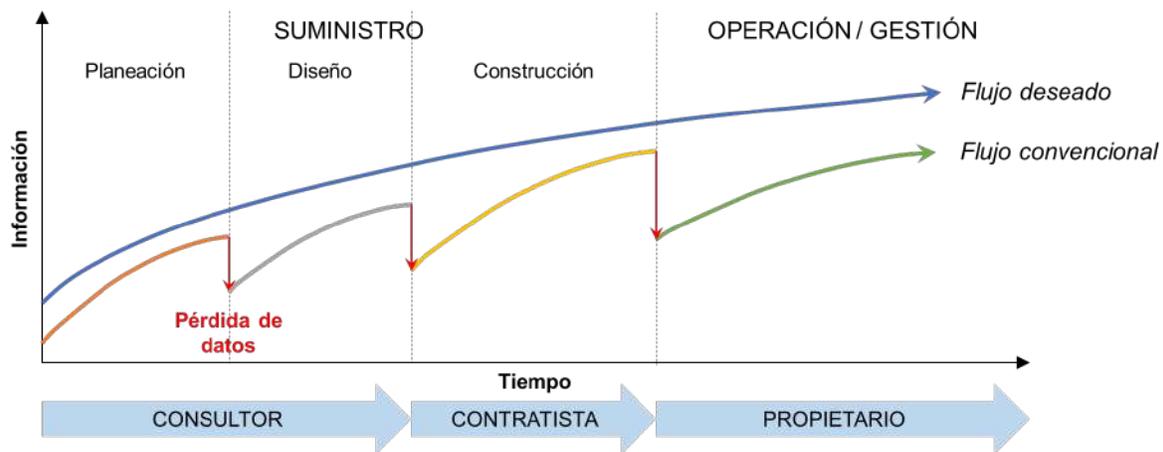


Figura 2. Pérdidas de información durante el ciclo de vida de un activo.

3.1 Activos viales

La infraestructura vial está compuesta por distintas clases de activos: pavimentos, puentes, estructuras de drenaje, señalamiento, dispositivos de seguridad, obras de tierra etc. En muchos casos, el suministro de una clase de activo determinada supone el desarrollo de un proyecto específico, mientras que en otros, y dependiendo del nivel de detalle que se esté abordando, el activo puede definirse a partir de un elemento de catálogo prefabricado o que se construye en sitio a partir de especificaciones preexistentes (barreras de seguridad, gaviones, obras menores de drenaje, etc.) De cualquier forma, todo proyecto de carreteras debe asegurar que el conjunto de activos viales se mantenga debidamente armonizado.

Como se indicó al inicio de este documento, en lo que respecta a la aplicación de BIM, algunos activos del tipo de los puentes o los túneles pueden recibir un tratamiento similar al de los proyectos verticales de edificación, ya que, frecuentemente, su emplazamiento se limita a un sitio más o menos restringido. Sin embargo, lo anterior no es aplicable para el principal activo de la infraestructura vial, es decir, los pavimentos. En este caso, como también se ha mencionado, el tamaño del proyecto en la dirección longitudinal excede siempre por mucho al ancho de la carretera o a la profundidad de las capas, lo que obliga a tomar en cuenta dos aspectos fundamentales: por un lado, la necesidad de abordar los distintos componentes del diseño (geométrico, estructural, del drenaje, del señalamiento, etc.) a partir de la definición de cierto número (que puede ser muy importante) de segmentos homogéneos, esto es, unidades longitudinales de análisis que comparten características del medio físico o solicitaciones (orografía, escurrimientos, humedad, temperatura o demanda estimada). Evidentemente, los proyectos de puentes o túneles largos también ameritarían este tipo de segmentaciones. Por otro lado, dado el tamaño del proyecto en la dirección longitudinal, las herramientas utilizadas en los diferentes aspectos del diseño de detalle pueden resultar imprácticas para la visualización y el análisis del proyecto en su conjunto, y hacer necesario el uso de herramientas adicionales, como los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

3.2 Niveles de proyecto y de red

Las organizaciones responsables de la prestación de servicios de uso de carreteras para el transporte de pasajeros y carga en vehículos automotores, entre las cuales figuran principalmente entidades



públicas, pero también empresas privadas, deben abordar la gestión de estos activos de infraestructura en los niveles de proyecto y de red. El nivel de proyecto comprende, en una primera fase, los procesos de *suministro* (anteproyecto, proyecto ejecutivo, licitación y ejecución de las obras) de tramos individuales nuevos o que han sido objeto de trabajos de rehabilitación o modernización. Cuando los tramos se abren al tránsito se inicia una segunda fase de *operación*, en la que las organizaciones se encargan propiamente de prestar los servicios referidos, lo que implica un seguimiento continuo de parámetros relacionados con el estado físico de los tramos y sus condiciones de operación, a fin de detectar cualesquier desviaciones de los niveles de desempeño reales con respecto a los considerados en el diseño y esperados por los usuarios. En esta fase se considera también la ejecución de los trabajos de mantenimiento rutinario y preventivo, de acuerdo con un régimen que, idealmente, formaría parte de las especificaciones del proyecto.

En nivel de red también se abordan ambas fases, pero con tratamientos claramente distintos. Así, en este nivel, la fase de suministro se enfoca principalmente en el seguimiento de los proyectos que conforman las carteras anuales y plurianuales vigentes. Se trata de una actividad esencialmente administrativa que tiene como propósito llevar a la práctica los proyectos, verificar que esto ocurre de acuerdo con los programas relacionados y, de ser necesario, aplicar medidas correctivas. En cuanto a la fase de operación, normalmente resultan de interés para las organizaciones procesos del tipo de los que a continuación se enumeran: i) Evaluar el desempeño de la red en función de medidas vinculadas con atributos del servicio diversos como contribución a la movilidad, seguridad vial, sustentabilidad y estado físico; ii) Identificar las intervenciones necesarias en el mediano y largo plazos (junto con sus costos) para alcanzar o mantener determinados niveles de desempeño; iii) Estimar los niveles de desempeño que pueden lograrse en el mediano y largo plazos con diferentes escenarios de disponibilidad presupuestal; iv) En función de los productos de las procesos anteriores y de estimaciones de la disponibilidad presupuestal en el corto y mediano plazos, elaborar programas de conservación y modernización plurianuales y anuales.

Adicionalmente, cabe destacar que en el nivel de proyecto se utiliza información muy detallada y variada, a fin de reflejar fielmente en la obra terminada los requisitos físicos y funcionales especificados para los activos. Sin embargo, los procesos del nivel de red requieren normalmente datos de menor detalle y variedad, por lo que el empleo de información de proyecto en estos procesos no les confiere valor adicional. También debe advertirse que, debido a restricciones presupuestales y logísticas, resulta imposible llevar a cabo en un ejercicio fiscal determinado la totalidad de las intervenciones necesarias para que el conjunto de los activos de una red alcance los niveles de desempeño deseados. Este hecho genera la necesidad de priorizar y optimizar los programas de obra a partir de criterios como la importancia socioeconómica de los tramos, el nivel de tránsito, la rentabilidad de las intervenciones o los niveles de riesgo que implica la posible falla de los activos involucrados. Igualmente, pueden aplicarse criterios basados en la contribución marginal de las intervenciones a la mejora de los indicadores ligados a los atributos del servicio, es decir, seguridad vial, movilidad, sustentabilidad, etc.

3.3 Ciclo de vida de las carreteras

Como cualquier producto de proyectos de ingeniería y arquitectura, los activos viales transitan por un ciclo de vida que comienza con una descripción general y análisis de factibilidad del proyecto y concluye con la baja del servicio del activo, lo cual, en el caso de los principales componentes de las carreteras, marca más bien el inicio de un proyecto de reconstrucción o modernización. En la Figura 3 se muestra una versión modificada de la representación del ciclo de vida de los activos viales propuesta por la agencia de transporte de Escocia (*Transport Scotland*), que aparece en su plan de gestión de activos 2007-2009 para las carreteras troncales de ese país.



Figura 3. Ciclo de vida de la infraestructura vial (adaptada de [10]).

Con referencia a la Figura 3 y según lo expresado en el inciso anterior, las etapas de *identificación y factibilidad* del primer bloque, así como la de *programación* del segundo, serían productos del análisis a nivel de red en el ciclo previo. Asimismo, la fase de suministro del nuevo ciclo quedarían integradas con la etapa de *proyecto* del segundo bloque (que a su vez puede dividirse en anteproyecto, proyecto ejecutivo, etc.), y la de *construcción* (que incluye la licitación de la obra y el proceso de entrega/recepción).

La frontera entre las fases de suministro y operación del proyecto se ubica entre los bloques de *construcción* y *operación/conservación*, y pone de manifiesto una característica peculiar de los proyectos de infraestructura vial: la ocurrencia de un ciclo de deterioro/conservación, anidado dentro del ciclo general, que se analiza mediante los procesos a nivel de red para determinar si cada tramo individual es sujeto de un proyecto candidato de conservación o mejora y si este proyecto se integra a los programas de obra y se le asignan recursos. Cuando los proyectos implican obras mayores de reconstrucción o modernización, podría asumirse que ocurre una salida de este ciclo secundario para dar lugar a una nueva instancia del ciclo principal. Los proyectos que comprenden únicamente obras de mantenimiento correctivo o rehabilitación, podrían quedar comprendidos en el ciclo secundario, que también abarcaría los trabajos de mantenimiento rutinario y preventivo.

4 Aplicación en carreteras

Como quedó asentado en el documento de la SHCP sobre la implementación de BIM, esta metodología se sustenta en el trabajo colaborativo para la producción, intercambio y gestión de la información de los proyectos durante su ciclo de vida. Las particularidades de los proyectos de carreteras examinadas en la sección precedente y, en particular, la representada por el hecho de que

la fase de operación de la infraestructura vial comprende análisis no solo a nivel de proyectos individuales, sino también a nivel de red, confieren también particularidades a la aplicación de BIM en este contexto. En los siguientes incisos se exploran algunas de estas particularidades.

4.1 Relaciones entre BIM y gestión de infraestructura.

Los procesos de suministro, operación, conservación y mejora de infraestructura vial se engloban en un área de trabajo institucional que representa la principal función de las organizaciones de carreteras, esto es, la gestión de las redes a su cargo. Por otro lado, las bases conceptuales de gestión más avanzadas disponibles actualmente corresponden al marco de gestión de activos y, como se muestra en los siguientes párrafos, un desarrollo institucional maduro a este respecto puede facilitar de manera considerable la implementación de BIM.

Por lo general, se acepta que las organizaciones que han adoptado el marco de gestión de activos cuentan con los elementos de política y estrategia ilustrados en la parte izquierda de la Figura 4 [11] (*gestión de activos*), que han desarrollado planes que abarcan el ciclo de vida de los activos y que han procurado la implementación de herramientas de tecnología de la información apropiadas para dar soporte a los procesos de gestión. Con ello, las organizaciones estarán en condiciones de activar los flujos de datos necesarios para alimentar los procesos de BIM cuyas salidas se muestran en la parte derecha de la misma Figura (*BIM*). Cabe mencionar que, aunque estas salidas corresponden a elementos definidos en las normas PAS 1192, la información que contienen se retoma en el nuevo marco ISO 19650. Por su importancia, es recomendable considerar la recopilación de información similar en los casos en que se decida utilizar algún otro marco normativo.

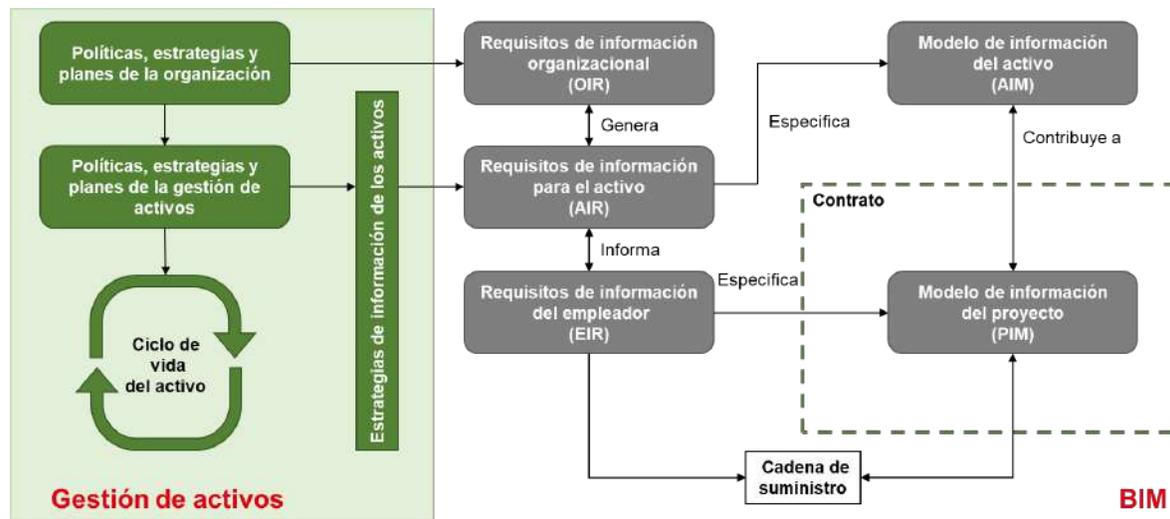


Figura 4. Relación entre datos de gestión de activos y BIM (adaptada de [11]).

Los *requisitos de información organizacional* (OIR por sus siglas en inglés) describen, en términos llanos, la información que una organización necesita para llevar a cabo sus funciones de gestión de activos, entre otras funciones institucionales [12].

De acuerdo con la misma Figura 4, los *requisitos de información para el activo* (AIR) se generan con base en los OIR y definen los requisitos de información de la organización con respecto a un activo o conjunto de activos específicos. A su vez, estos requisitos se utilizan en la definición del *modelo de información del activo* (AIM), entidad que representa la fuente única de información sobre



uno o varios activos, con un nivel de detalle apropiado para su uso en los procesos de gestión de activos de la organización. A este respecto, cabe hacer notar que, en el caso de la infraestructura vial, se requieren modelos adecuados para los análisis a nivel de proyecto y de red,

Los AIR constituyen también la base para la preparación de los *requisitos de información del empleador (EIR)* con miras al desarrollo de nuevos proyectos. Los EIR contienen, probablemente, la especificación más importante para el desarrollo de proyectos en el contexto de BIM, ya que describen la información que debe ser entregada por las partes involucradas en el desarrollo del proyecto (proyectistas, constructores, asesores, etc.), así como las normas que regirán el intercambio de información durante el desarrollo del proyecto. De esta manera, los EIR definen los términos para la creación y gestión del *modelo de información del proyecto (PIM)*, objeto que describe el o los activos desarrollados durante las etapas de diseño y construcción. Eventualmente, el PIM se utiliza para actualizar el modelo de información del activo, proceso que también debe considerar los niveles de detalle de la información necesarios para los análisis a nivel de proyecto y de red.

4.2 Fase de suministro

Al igual que con cualquier proyecto de ingeniería o arquitectura, la aplicación de BIM en esta fase conlleva la generación, distribución y validación de toda la información necesaria para la ejecución de las obras contempladas. Dependiendo de la magnitud y el tipo de intervención (obra nueva, modernización, rehabilitación, etc.), el proyecto puede abarcar distintos subconjuntos de las clases de activos que componen la infraestructura vial. Por otra parte, el nivel jerárquico de la red considerada (truncal, alimentadora, local), la importancia del proyecto *per se* y la singularidad del mismo, condicionarán de manera importante el nivel de definición del modelo (LOMD) que se utilice.

En forma también similar a los de otros activos, los proyectos de carreteras implican el dimensionamiento detallado de los diferentes elementos y su correcta disposición en los sitios de obra, de manera que la componente geométrica del diseño y su representación gráfica mediante los modelos 3D característicos de BIM revisten gran importancia, al grado de que generalmente constituyen la base para la generación del gemelo digital que corresponde a la fase de suministro. Estos modelos 3D deben complementarse con toda la información técnica relevante estructurada en forma adecuada, que comprende aspectos como materiales, especificaciones y procedimientos constructivos. Debe tomarse en cuenta, además, la información relacionada con las dimensiones adicionales de BIM: costos, tiempos de ejecución, aspectos ambientales e, idealmente, programas de conservación.

Por último, es menester insistir en que el rasgo esencial de la aplicación de BIM es el trabajo colaborativo, materializado mediante el intercambio de la información que reside de manera exclusiva en el entorno común de datos o CDE. Así, las organizaciones interesadas en la aplicación de esta metodología deben promover todas las acciones institucionales, legales, de capacitación y de cualquier otra índole necesarias para asegurar que las tecnologías vinculadas a BIM efectivamente se traduzcan en un entorno colaborativo para el desarrollo de proyectos y que las organizaciones siempre tengan un acceso irrestricto a la información de los mismos.

4.3 Fase de operación

Los modelos detallados creados en la fase de suministro pueden utilizarse como referencia para el seguimiento de algunos aspectos de la operación de activos individuales, principalmente activos que tienen similitudes con las obras de edificación, así como para el diagnóstico y la toma de decisiones ante escenarios de desempeño deficiente enfocados también en activos específicos.



Sin embargo, de acuerdo con lo expresado en el inciso 3.2, una gran parte de los procesos que resultan de interés para las organizaciones durante la fase de operación están definidos en el nivel de red, y normalmente requieren colecciones de datos de una variedad y detalle que pueden ser considerablemente menores a los del nivel de proyecto. Una manera de obtener estas colecciones consiste en agregar la información de nivel de proyecto, lo que, por ejemplo, en el caso de los pavimentos, da lugar a segmentos homogéneos de mayor longitud, cuyo nivel de desempeño con respecto a determinadas medidas puede caracterizarse con descriptores del tipo *bueno*, *regular* y *malo*. En estas condiciones, los modelos 3D y los gemelos digitales del nivel de proyecto generados a partir de información geométrica, resultan en general excesivos para los análisis de nivel de red, dado el uso de información agregada.

Tomando en cuenta lo anterior y la referencia obligada al espacio territorial de la infraestructura vial a nivel de red, actualmente se considera que los sistemas de información geográfica (SIG) constituyen una plataforma adecuada para la creación de modelos del comportamiento de las carreteras y gemelos digitales a nivel de red. Para determinadas condiciones, en el contexto de un SIG, los segmentos homogéneos de calzada podrían quedar representados gráficamente como líneas, y elementos del tipo de las estructuras de drenaje como puntos. Por supuesto, idealmente, una vista de este tipo debería poder “conectarse” con vistas correspondientes al nivel de proyecto (en caso de que existieran), como parte de las tareas propias de este nivel como la recuperación de información para el desarrollo de un nuevo proyecto.

En cualquier caso, este intercambio en el nivel de detalle solo será posible si se contempla de origen en la preparación de los requisitos y modelos representados en la Figura 4.

4.4 Consideraciones sobre interoperabilidad de datos

Como complemento de lo mencionado en el inciso 2.3, es necesario subrayar que la correcta aplicación de BIM para el ciclo de vida completo de las carreteras obliga también a garantizar la interoperabilidad de los datos entre las aplicaciones de las fases de suministro y operación.

Con respecto a las aplicaciones de la segunda fase, y a manera de ejemplo, durante los últimos quince años el sistema HDM-4 de la Asociación Mundial de la Carretera (PIARC) se ha significado como una de las herramientas más utilizadas en la formulación de programas de conservación de pavimentos. Sin embargo, se trata de un producto cuya última actualización mayor data del año 2005, por lo que se uso por parte de una organización madura en lo que respecta a BIM haría necesario el desarrollo de herramientas adicionales para el intercambio de datos. Actualmente, el Banco Mundial trabaja en una versión actualizada del HDM-4 que podría estar disponible en el mediano plazo. Si, como se afirma con frecuencia, el uso generalizado de BIM en la industria de la construcción es una tendencia irreversible, quizá iniciativas como la actualización del HDM-4 debieran contemplar la interoperabilidad de los correspondientes desarrollos en un entorno de BIM.

5 Conclusiones

Las principales conclusiones de este trabajo se resumen en los siguientes puntos:

- El uso de BIM puede generar importantes beneficios en el desarrollo y operación de proyectos, principalmente en lo relativo al apego a los presupuestos y tiempos de ejecución estimados, la identificación temprana de anomalías y la reducción de pérdidas de información entre las etapas del ciclo de vida.
- Existen dos aspectos fundamentales que deben tomarse en cuenta al considerar la aplicación de BIM en proyectos de infraestructura vial: por una parte, su carácter horizontal debido al



tamaño considerablemente mayor de la dimensión longitudinal con respecto a las otras dos dimensiones y, por otra, el predominio de los análisis a nivel de red en la fase de operación.

- La madurez de las organizaciones de carreteras en lo que respecta a la implementación del marco de gestión de activos puede facilitar en forma notable la implementación de BIM.
- En términos generales, la fase de suministro del ciclo de vida de los proyectos de infraestructura vial se caracteriza por el uso de información muy detallada que se procesa y representa mediante modelos 3D. En contraste, en la fase de operación, resultan más conveniente utilizar una plataforma tecnológica con cobertura territorial, como la de los sistemas de información geográfica, dado que, en esta fase, la información tiene un nivel de detalle considerablemente menor por la naturaleza de las herramientas de análisis características de esta fase.

6 Referencias

- [1] MBIE, «The New Zealand BIM Handbook: A Guide to Enabling BIM on Built Assets,» Ministry of Business, Employment and Innovation (MBIE), 2019.
- [2] Autodesk, «What is BIM - Building Information Modeling,» 2022. <https://www.autodesk.com/industry/aec/bim>.
- [3] SHCP, Estrategia para la implementación del modelado de información de la construcción (MIC) en México, Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), 2019.
- [4] REBIM, «Will ISO 19650 replace BS 1192?,» 2019. <https://rebim.io/goodbye-bs1192-hello-iso19650/>.
- [5] ACCA Software, «The dimensions of BIM – 3D, 4D, 5D, 6D, 7D, 8D, 9D, 10D BIM explained,» 2018. <https://biblus.accasoftware.com/en/bim-dimensions/>.
- [6] ACCA Software, «BIM maturity Levels: from stage 0 to stage 3,» ACCA Software, 2019. <https://biblus.accasoftware.com/en/bim-maturity-levels-from-stage-0-to-stage-3/>.
- [7] buildingSMART, «IFCroad,» 2022. <https://www.buildingsmart.org/standards/calls-for-participation/ifcroad/>.
- [8] Royal HaskoningDHV, «Digital twins: where physical meets digital,» Royal HaskoningDHV, s.f.. <https://www.royalhaskoningdhv.com/en/challenges/digital-transformation/digital-twins>.
- [9] R. McPartland, «Top 10 BIM terms explained,» NBS Enterprises Ltd 2023, 2017. <https://www.thenbs.com/knowledge/top-10-bim-terms-explained>.
- [10] Transport Scotland, Road Asset Management Plan for Scottish Trunk Roads: April 2007 – March 2009, Edimburgo: The Scottish Government, 2007.
- [11] I. Miskimmin, Plain Language BIM: Experiences and Lessons Learned from the BIM Advancement Academy, Exton, Pennsylvania: Bentley Institute Press, 2017.
- [12] Designing Buildings, «Organisational information requirements OIR,» Designing Buildings, 2023. https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Organisational_information_requirements_OIR.