

INTEGRACIÓN DE BIM Y PRINCIPIOS LEAN EN LA GESTIÓN DE ACTUACIONES DE MANTENIMIENTO LIGERO EN EDIFICIOS DOTACIONALES

M. Álvarez Dorado, J. Flores Escribano, C. Morón Fernández

Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España

RESUMEN

Esta comunicación da continuidad a un trabajo previo en el que se definió un primer flujo de trabajo BIM para la gestión de la información en un edificio docente existente, orientado a mejorar la trazabilidad de datos y la coordinación entre agentes. En esta fase se plantea validar y refinar dicho flujo integrando principios Lean y herramientas sencillas de planificación colaborativa, con el fin de evaluar su impacto real sobre la calidad de la información del modelo y la gestión de pequeñas intervenciones de mantenimiento. El estudio se estructura en torno a un caso piloto en un edificio universitario, donde se trabajan tres bloques principales: (i) definición de requisitos de información y niveles de detalle/fiabilidad del modelo ajustados a la explotación y al mantenimiento ligero; (ii) diseño de un flujo BIM–Lean que combina un modelo federado ligero, tableros de planificación de tipo Last Planner digitalizados y checklists de control de información; y (iii) seguimiento mediante indicadores simples, como número de retrabajos del modelo, incidencias de coordinación detectadas y tiempos de respuesta ante solicitudes de mantenimiento. Aunque el alcance es deliberadamente limitado a un único caso de estudio y a un conjunto reducido de procesos, se espera obtener un flujo de trabajo contrastado, identificando roles mínimos, puntos críticos de pérdida de información y un pequeño panel de KPIs transferible a otras organizaciones con recursos modestos. El valor de la propuesta reside en ofrecer una aproximación pragmática y de baja barrera de entrada a la integración BIM–Lean en la gestión de edificios existentes.

PALABRAS CLAVE: BIM, Lean Construction, facility management, edificios terciarios, mantenimiento ligero.

1. INTRODUCCIÓN

La digitalización del sector de la edificación ha situado el modelado de información para la construcción (BIM) en el centro de las estrategias de mejora de la calidad, la trazabilidad y la coordinación entre agentes, con evidencia acumulada de beneficios en coordinación, reducción de errores y disminución de retrabajos a lo largo del ciclo de vida del activo [1]. Paralelamente, el desarrollo de estándares como la serie ISO 19650 ha consolidado el papel de BIM como columna vertebral de la gestión de la información en proyectos y activos existentes, enfatizando aspectos como

la estructuración de requisitos, la gobernanza de datos y el uso de entornos de datos comunes [2]. No obstante, la adopción efectiva de estos marcos en edificios terciarios y administrativos sigue viéndose limitada por barreras organizativas y culturales: ausencia de protocolos claros, modelos poco mantenibles, dificultades de interoperabilidad y una brecha persistente entre el modelo digital y las necesidades reales de explotación y mantenimiento [1], [3].

En un trabajo previo se planteó un primer flujo de trabajo BIM aplicado a la sede de la Escuela Técnica Superior de Edificación de la Universidad Politécnica de Madrid (ETSEM-UPM), con el objetivo de ordenar la información disponible, unificar criterios de modelado y definir parámetros básicos para la consulta y actualización de datos por parte de distintos perfiles usuarios. Aquel trabajo se centraba en “poner la casa en orden”: estructurar la información, clarificar niveles de detalle y fiabilidad del modelo, y sentar las bases para una futura evolución hacia enfoques más avanzados de gestión digital del activo. Esta línea se alinea con propuestas recientes en “BIM for FM” que abordan la definición de requisitos de información, la creación de modelos de activo (AIM) y el soporte a operaciones de mantenimiento mediante marcos y CDE específicos [3].

Sin embargo, quedaba pendiente una cuestión clave: cómo integrar ese modelo y esos protocolos en la operativa diaria de la gestión del edificio, de forma que aporten valor tangible en decisiones pequeñas pero recurrentes, como actuaciones de mantenimiento, reorganización de espacios o intervenciones ligeras, un problema también identificado en estudios sobre implantación de BIM en grandes complejos universitarios y organizaciones públicas [3]. En este contexto, la combinación de BIM con principios y herramientas Lean ofrece una oportunidad para pasar de un enfoque predominantemente documental a uno orientado al flujo de trabajo, a la reducción de desperdicios (retrabajos, esperas, información duplicada o contradictoria) y a la mejora continua de los procesos. La literatura ha mostrado que la interacción entre BIM y Lean genera sinergias significativas, al favorecer la estabilidad del flujo, la visualización del trabajo y el soporte a sistemas de planificación colaborativa [4], mientras que desarrollos como KanBIM ejemplifican cómo articular Last Planner System™ y modelos BIM para gestionar la producción con mayor fiabilidad [5].

La ETSEM-UPM constituye en este sentido un laboratorio idóneo: edificio docente con elevado nivel de ocupación, diversidad de espacios (aulas, laboratorios, zonas administrativas, espacios de investigación) y perfiles de usuario con necesidades de información muy heterogéneas. Sobre este escenario ya se dispone de un modelo BIM previamente estructurado y de una mínima cultura digital en torno a la documentación técnica y la gestión de intervenciones. El reto actual no es “crear” el modelo, sino convertirlo en una herramienta operativa que ayude a coordinar mejor a los agentes, planificar y registrar pequeñas actuaciones, y reducir la fricción entre lo que se decide, lo que se ejecuta y lo que finalmente queda documentado.

La presente comunicación se plantea como continuación directa del trabajo anterior, orientada a validar y refinar aquel flujo de trabajo BIM mediante su integración con principios Lean y dinámicas de planificación colaborativa adaptadas a la realidad de la ETSEM. A través de un caso piloto en el propio edificio, se propone diseñar y poner a prueba un circuito sencillo que combine un modelo federado ligero, tableros tipo Last Planner digitalizados y listas de verificación de información, junto con un pequeño conjunto de indicadores para evaluar su funcionamiento (retrabajos de modelo, incidencias de coordinación, tiempos de respuesta en mantenimiento, etc.). Lejos de buscar una solución universal, el propósito es obtener resultados modestos pero sólidos: identificar qué roles son

realmente necesarios, en qué puntos se pierden o distorsionan los datos y qué prácticas tienen mayor potencial de replicabilidad en organizaciones similares que deseen avanzar en BIM y Lean con recursos limitados.

2. DESARROLLO / METODOLOGÍA

La metodología de este trabajo se plantea como el **diseño teórico de un protocolo de implementación BIM–Lean** aplicable a edificios terciarios existentes, tomando como caso de referencia la sede de la ETSEM-UPM. No se aborda la ejecución completa del piloto ni la recogida de datos, sino la definición estructurada de las fases, roles, herramientas e indicadores necesarios para que dicho piloto pueda llevarse a cabo en una etapa posterior de validación.

En primer lugar, se propone una **fase de análisis y estructuración del caso de estudio**, orientada a traducir la realidad organizativa de la ETSEM a términos manejables desde BIM y Lean. Esta fase incluye: (i) la identificación de los agentes implicados en la gestión cotidiana del edificio (mantenimiento, administración, dirección, responsables de laboratorios y usuarios clave); (ii) la clasificación de los tipos de actuación que se consideran dentro del alcance del protocolo (mantenimiento ligero, pequeñas adaptaciones de aulas, reorganización de espacios, etc.); y (iii) la revisión del modelo BIM existente y de la documentación asociada, con el fin de determinar el nivel de detalle, los parámetros disponibles y las principales carencias en relación con la explotación y el mantenimiento. El resultado de esta fase es un mapa conceptual del sistema actual, donde se visualizan los flujos de información informales, los documentos empleados y el grado de conexión real con el modelo BIM.

Sobre esta base se define una **fase de formulación de requisitos de información y objetivos del protocolo**. A partir de la literatura en BIM para facility management y de las necesidades específicas del edificio, se plantean unos Requisitos de Información del Empleador (EIR) simplificados, enfocados a la fase de explotación: qué datos mínimos deben existir en el modelo para que una actuación de mantenimiento o de reorganización de espacios pueda planificarse, ejecutarse y quedar documentada de forma coherente. En paralelo, se formulan los objetivos operativos del protocolo, expresados en términos Lean: reducción de retrabajos de información, disminución de tiempos de espera entre solicitud y ejecución, mejora de la fiabilidad de los datos del modelo, etc. Estos objetivos se traducen en un conjunto preliminar de indicadores (KPIs) que servirán, en una fase posterior, para evaluar la implantación.

La tercera etapa se centra en el **diseño conceptual del flujo de trabajo BIM–Lean**. Se establece un diagrama de proceso de alto nivel que describe, para cada tipo de actuación incluida en el alcance, las siguientes cuestiones: origen de la necesidad (quién inicia la solicitud y cómo), canal de comunicación utilizado, verificación de la información mínima antes de aceptar la tarea, planificación colaborativa (compromisos de plazo y recursos), ejecución y cierre, así como los puntos concretos en los que el modelo BIM debe consultarse o actualizarse. Este flujo se apoya en dos elementos clave: (i) un **modelo federado ligero**, que delimita qué disciplinas, niveles de detalle y parámetros son estrictamente necesarios para las actuaciones en cuestión; y (ii) un **tablero de planificación colaborativa** inspirado en el Last Planner System, donde las tareas se representan como tarjetas vinculadas a espacios y elementos del modelo. En esta fase se definen también las vistas tipo del modelo (plantillas de planos,

filtros, esquemas de color) que faciliten la comprensión de la información por parte de agentes no expertos en BIM.

A continuación, se desarrolla una **fase de definición de herramientas de soporte y artefactos de gestión**, concebida aún a nivel teórico, pero con un fuerte componente práctico. Se diseñan: (i) **checklists de información mínima** para la creación, planificación y cierre de cada actuación, que especifican qué datos deben estar presentes en la solicitud, en el modelo y en el registro final; (ii) **matrices de responsabilidad** (tipo RACI) que aclaran quién solicita, quién valida, quién modela y quién autoriza los cambios en cada punto del flujo; y (iii) **plantillas de registro** (formularios, tablas o vistas programadas) que podrían implementarse en las herramientas disponibles en la universidad (CDE, hojas de cálculo compartidas, gestor de incidencias, etc.). El énfasis se coloca en que todas estas herramientas tengan baja barrera de entrada y sean compatibles con los recursos reales de una escuela de edificación.

La quinta fase consiste en la **definición del esquema de seguimiento y evaluación** que se emplearía cuando el protocolo se ponga en marcha. Aunque en este trabajo no se ejecuta la implantación, se especifica qué datos deberían registrarse, con qué granularidad y durante cuánto tiempo, para poder evaluar el desempeño del flujo BIM–Lean. Se describen los indicadores propuestos (por ejemplo, tiempos de ciclo de las actuaciones, número de aclaraciones de información necesarias, tasa de retrabajos en el modelo, grado de cumplimiento de los checklists) y se plantea un procedimiento básico de análisis (estadística descriptiva, comparación con una línea base histórica, identificación de cuellos de botella). Se incluye también una propuesta de cuestionario breve para recoger percepciones de los agentes, con el fin de complementar los datos cuantitativos con información cualitativa sobre usabilidad, carga de trabajo y utilidad percibida del modelo.

Finalmente, se aborda una **fase de síntesis y empaquetado del protocolo**. A partir de las fases previas, se articula un “paquete metodológico mínimo” compuesto por: (i) el diagrama de flujo de procesos; (ii) la matriz de responsabilidades; (iii) las checklists de información mínima; (iv) ejemplos de vistas y estructuras de parámetros del modelo BIM; y (v) la propuesta de indicadores y esquema de evaluación. Este paquete se presenta como un resultado transferible, listo para ser adoptado, adaptado y validado en una implantación futura en la propia ETSEM o en otros edificios terciarios de características similares. La discusión del artículo se centrará, por tanto, en la solidez y viabilidad de este protocolo, así como en sus limitaciones y en las líneas de trabajo necesarias para su validación empírica.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El principal resultado de este trabajo es la formulación de un protocolo teórico de implementación BIM–Lean para edificios docentes existentes, estructurado en cinco fases encadenadas. El protocolo se ha elaborado tomando como caso de referencia la sede de la ETSEM-UPM, pero se ha formulado de manera genérica para facilitar su transferencia a otros centros con características similares.

En coherencia con la naturaleza acotada y operativa del protocolo propuesto, se ha definido un conjunto de **roles mínimos** que permiten articular la integración BIM–Lean sin complejizar en exceso la estructura organizativa. En la base del sistema se sitúa el usuario solicitante (docente, PAS o responsable de laboratorio), que detecta la necesidad y activa el flujo mediante una solicitud normalizada. Esta solicitud es gestionada por la figura del coordinador de edificio/administración, que

actúa como nodo central de filtrado, verificación de la información mínima y mantenimiento del tablero de planificación. A partir de ahí, el responsable de mantenimiento y el modelador BIM o técnico de información conforman el binomio técnico encargado, respectivamente, de planificar y ejecutar las actuaciones y de consultar/actualizar el modelo. Finalmente, la dirección o responsable de infraestructuras se reserva un papel de supervisión estratégica, revisando indicadores, priorizando intervenciones y realimentando el sistema. Sobre este esquema de roles se construyen las fases del protocolo descritas a continuación.

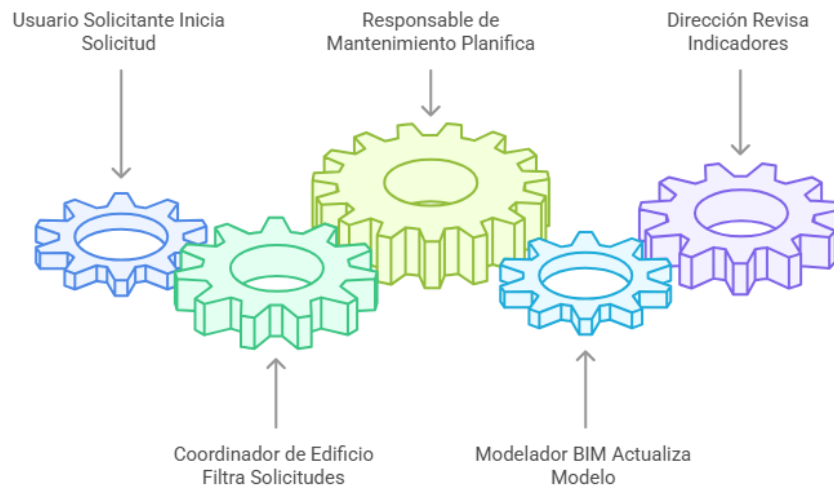


Figura 1.Procesos de gestión de solicitudes de mantenimiento

El protocolo no se limita a recomendar el uso de BIM o de herramientas Lean de forma aislada, sino que **detalla cómo deben articularse los flujos de información, los roles mínimos, los artefactos de soporte y los indicadores de seguimiento** para que la integración BIM–Lean pueda implantarse posteriormente en un piloto real con un esfuerzo razonable.

3.1. Fase 1 – Diagnóstico del sistema actual

La Fase 1 se plantea como un diagnóstico estructurado del sistema de gestión actual de la sede de la ETSEM-UPM, con el objetivo de entender cómo circula la información hoy antes de proponer cambios. Esta aproximación es coherente con la literatura en BIM para facility management (BIM-FM), que subraya la necesidad de partir de un análisis detallado de procesos, roles y fuentes de datos existentes, especialmente en edificios ya en servicio. Estudios de referencia señalan que muchos de los problemas de BIM-FM no son estrictamente tecnológicos, sino consecuencia de flujos de información poco definidos, escasa participación del FM en las fases iniciales y falta de procesos para mantener actualizado el modelo en la operación [6].

En esta línea, la Fase 1 combina tres tipos de actividades:

1. Cartografía de agentes y procesos “as-is”

Se identifican los actores que intervienen en la gestión cotidiana del edificio (personal de mantenimiento, administración, dirección, responsables de laboratorios y usuarios clave) y se documentan los procesos actuales vinculados a actuaciones de mantenimiento ligero y reorganización de espacios. Este trabajo se apoya en entrevistas semiestructuradas y en la

elaboración de diagramas de flujo tipo “swimlane”, donde se representan las secuencias de actividades, los puntos de espera, los retornos y las posibles duplicidades de trabajo, siguiendo recomendaciones habituales en estudios de BIM-FM con foco en procesos organizativos [6], [7].

2. Inventario de soportes y canales de información

Paralelamente, se realiza un inventario de los medios que hoy soportan la gestión (formularios en papel, correos electrónicos, hojas de cálculo internas, aplicaciones corporativas, bases de datos aisladas, etc.), registrando para cada uno qué tipo de información recoge, quién lo rellena y quién lo consulta. Esta visión es clave porque la literatura muestra que la fragmentación de soportes y la baja estandarización son uno de los principales obstáculos para que el modelo BIM pueda convertirse en un verdadero modelo de información del activo (AIM) durante la fase de explotación [8], [9].

3. Análisis crítico del modelo BIM existente

Finalmente, se revisa el modelo BIM ya disponible de la ETSEM, evaluando su estructura de categorías, el nivel de detalle (LOD), los parámetros definidos para estancias y elementos relevantes, así como la coherencia entre modelo y realidad construida en una muestra de espacios. Este análisis toma como referencia marcos y casos de estudio de BIM aplicado a campus universitarios y edificios terciarios, donde se han señalado tanto el potencial del modelo para gestión de espacios y programación docente como las dificultades para alinearlo con las necesidades reales del FM [10].

El resultado de la Fase 1 es un “**mapa del sistema actual**” en el que se sintetizan:

- Diagrama(s) de procesos “as-is” para los tipos de actuación dentro del alcance.
- Tablas que relacionan tipos de actuación, agentes, documentos utilizados y uso (o no uso) efectivo del modelo BIM.
- Un resumen del estado del modelo (fortalezas, carencias y elementos críticos para la explotación).

Este mapa sirve de base para justificar por qué el protocolo BIM–Lean se concentra en determinados procesos y parámetros, y evidencia que se parte de una realidad concreta y documentada, alineándose con buenas prácticas descritas en revisiones recientes sobre BIM-FM en edificios existentes [6], [8].

3.2. Fase 2 – Requisitos de información y objetivos Lean

La Fase 2 traduce el diagnóstico anterior en requisitos de información y objetivos operativos, combinando el marco normativo de gestión de la información (ISO 19650) [2] con trabajos específicos sobre requisitos de información para integrar BIM con operaciones y mantenimiento (O&M) [10].

En primer lugar, se formulan unos Requisitos de Información del Empleador (EIR) simplificados, orientados a la fase de explotación del edificio. Mientras que las guías y normativas suelen proponer EIR extensos y asociados a fases de proyecto y obra, aquí se adopta un enfoque deliberadamente acotado: se parte de las necesidades identificadas en la Fase 1 y se seleccionan únicamente aquellos campos de información que son críticos para que:

- las actuaciones de mantenimiento y reorganización se puedan planificar con un mínimo de certidumbre,
- el modelo BIM pueda utilizarse de forma fiable como soporte de consulta, y
- los indicadores propuestos en el protocolo puedan calcularse sin añadir burocracia excesiva.

Para ello, se toma como referencia la clasificación de requisitos de información propuesta en estudios recientes sobre integración BIM-O&M, donde se agrupan las necesidades en categorías como generales, estratégicas, operativas, comerciales y de mejora continua [10].

Adaptando estas categorías al contexto de la ETSEM, los EIR simplificados se organizan en tres bloques principales:

1. **Identificación y localización de espacios**

Incluye códigos únicos de estancia, tipo de uso (aula, laboratorio, despacho, zona de paso, etc.), planta, relaciones con otros espacios y restricciones básicas (accesibilidad, horarios especiales, requisitos de seguridad). Esta información es coherente con los conjuntos de datos mínimos identificados en literatura para la gestión de espacios y el mantenimiento en campus universitarios [7].

2. **Características relevantes para mantenimiento ligero**

Comprende parámetros sobre acabados principales, equipamiento crítico (p. ej., pizarra, proyector, mobiliario fijo), presencia de instalaciones singulares y condiciones que afecten a la intervención (altura libre, ocupación habitual, compatibilidad con actividad docente). Este bloque se alinea con trabajos que relacionan indicadores de condición y priorización del mantenimiento con estructuras de datos BIM-FM.

3. **Historial de intervenciones y trazabilidad**

Incluye fecha de última actuación, tipo de actuación realizada, responsable y observaciones clave (incidencias, limitaciones detectadas, acuerdos con usuarios). La importancia de los registros históricos de mantenimiento como requisito de información prioritario para la integración BIM-O&M ha sido subrayada en estudios recientes basados en métodos Delphi [10], así como en desarrollos orientados a requisitos de calidad de la información para BIM-FM.

En paralelo a la definición de EIR simplificados, la Fase 2 formula los **objetivos Lean** del protocolo. En lugar de mantener metas genéricas (“mejorar la eficiencia”, “reducir costes”), se realiza una traducción explícita a términos observables y medibles, en línea con las recomendaciones de Lean Construction y del Last Planner System en cuanto a control del flujo y reducción de desperdicios [11], [12].

Los objetivos se agrupan en cuatro familias:

- **Flujo y tiempos:** reducir el tiempo de ciclo de las actuaciones y el tiempo desde la solicitud hasta la planificación comprometida, estabilizando el flujo de trabajo y disminuyendo la variabilidad.
- **Calidad de la información:** disminuir el número de aclaraciones de información por actuación y los retrabajos de modelado BIM derivados de datos incompletos o incoherentes.

- **Confiabilidad del modelo:** aumentar el porcentaje de actuaciones que dejan el modelo actualizado al cierre, de forma que la información asociada a espacios y elementos mantenga su valor en el tiempo.
- **Adopción y usabilidad:** mejorar el cumplimiento de las checklists de información mínima y la percepción de utilidad del flujo BIM–Lean por parte de los agentes implicados.

Cada objetivo se vincula a uno o más KPI definidos en la sección correspondiente del protocolo, siguiendo la lógica de muchos trabajos que plantean indicadores específicos para mantenimiento y FM con soporte digital [13].

El resultado de la Fase 2 es, por tanto, doble: por un lado, un núcleo de requisitos de información alcanzable en el contexto de la ETSEM-UPM, alineado con los marcos normativos y con la evidencia reciente sobre qué datos son realmente críticos para la integración BIM–FM; por otro, un conjunto de objetivos Lean y KPIs que permiten que el protocolo no se quede en un simple rediseño de procesos, sino que pueda evaluarse y mejorarse de forma sistemática cuando se implemente.

3.3. Fase 3 – Diseño del flujo BIM–Lean y artefactos de soporte

La Fase 3 constituye el núcleo operativo del protocolo, ya que define cómo deben articularse en la práctica los principios Lean y el uso del modelo BIM en la gestión de actuaciones de mantenimiento ligero y reorganización de espacios. Desde la literatura, los trabajos sobre sistemas BIM-basados para control de producción (como KanBIM) y sobre integración BIM–Last Planner System (LPS) subrayan que el valor real aparece cuando se combinan visualización del producto (modelo) y visualización del proceso (flujo, compromisos, restricciones) en un mismo entorno de trabajo [8].

En coherencia con ello, el protocolo propone un flujo objetivo (“to-be”) que se estructura en cuatro momentos principales:

1. Captura y validación de la solicitud

Toda actuación dentro del alcance se inicia mediante una solicitud normalizada por parte del usuario (docente, PAS, responsable de laboratorio). Esta solicitud se canaliza a través del coordinador de edificio, que verifica la **información mínima** definida en las checklists (identificación inequívoca del espacio, descripción del problema o cambio requerido, prioridad, posibles restricciones de uso). El énfasis en la “calidad en la entrada” se alinea con experiencias de LPS donde se distingue claramente entre tareas “no ejecutables” y “listas para ser planificadas”, reduciendo variabilidad y desperdicio aguas abajo [7], [9].

2. Planificación colaborativa con soporte visual

Una vez verificada, la solicitud se transforma en una **tarjeta de actuación** en un tablero digital de planificación inspirado en el Last Planner System. En este tablero se registran responsable, espacio afectado, horizonte temporal, estado (pendiente, planificada, en curso, completada, bloqueada) y enlaces al modelo BIM y/o documentación asociada. La literatura sobre herramientas BIM-LPS muestra que este tipo de tableros, cuando se integran con modelos 3D o 4D, mejoran la transparencia, el compromiso y la coordinación entre agentes técnicos.

3. Interacciones con el modelo BIM: consulta y actualización

Para cada tipo de actuación, el flujo especifica en qué puntos el modelo debe ser consultado (p. ej., para comprobar geometría, interferencias, condiciones de acceso, restricciones de uso)

y en qué puntos debe ser actualizado (p. ej., cambio de uso de una estancia, sustitución de equipamiento relevante, cierre de incidencia con anotación en el historial). Se propone el uso de un modelo federado ligero, con vistas preconfiguradas por planta, tipo de espacio o estado de actuación, de modo que los agentes no especialistas puedan localizar y comprender la información sin necesidad de dominar todas las funcionalidades BIM. Esta idea de “modelo ligero para FM” es consistente con propuestas recientes que enfatizan la necesidad de adaptar la complejidad del modelo a las capacidades del personal de explotación [8].

4. Cierre y registro de la actuación

El flujo finaliza con un cierre coordinado: el responsable de mantenimiento valida la ejecución física y el modelador BIM confirma la actualización del modelo para los parámetros definidos en los EIR simplificados. El coordinador de edificio marca la actuación como cerrada en el tablero y se asegura de que se hayan completado las checklists correspondientes. La literatura sobre sistemas BIM-basados de soporte a mantenimiento subraya que este cierre disciplinado (registro + actualización modelo) es crítico para que los KPIs de mantenimiento tengan un soporte de datos fiable.

Para operacionalizar este flujo, la Fase 3 define un conjunto de **artefectos de soporte**:

- **Diagrama detallado del proceso “to-be”**, representado mediante notación de procesos (por ejemplo, BPMN simplificado o diagramas de flujo con carriles por rol), que permite comparar explícitamente el flujo objetivo con el “as-is” obtenido en la Fase 1.
- **Modelo federado ligero**, en el que se documentan de manera explícita las disciplinas incluidas (p. ej., arquitectura + ciertos elementos de instalaciones), los niveles de detalle aceptables y el listado de parámetros vinculados a los EIR simplificados.
- **Checklists de información mínima**, organizadas por fase (solicitud, planificación, cierre), que actúan como mecanismos de control de calidad de datos; su diseño sigue la lógica de “prerrequisitos de tarea” presentes en sistemas tipo KanBIM [14], [15].
- **Matriz RACI de roles**, donde cada actividad del flujo (recibir solicitud, verificar checklist, crear tarjeta, planificar, ejecutar, actualizar modelo, cerrar) tiene asignados claramente quién es Responsable, Aprobador, Consultado e Informado, reduciendo ambigüedad en la gobernanza de la información.
- **Plantillas de vistas del modelo**, que incluyen esquemas de colores por uso, por estado de actuación o por antigüedad de la última intervención, y tablas de planificación vinculadas a estancias y actuaciones.

El resultado de la Fase 3 es, por tanto, un diseño operacional completo del flujo BIM–Lean, suficientemente detallado como para ser implementado y, al mismo tiempo, suficientemente acotado como para ser factible en un entorno como la ETSEM-UPM.

3.4. Fase 4 – Esquema de seguimiento y evaluación

Mientras que la Fase 3 se centra en el diseño del flujo y las herramientas, la Fase 4 define **cómo se evaluaría el desempeño del protocolo** en una futura implantación piloto. Esta fase es coherente con el énfasis de Lean en la mejora continua (ciclos PDCA) y con la creciente literatura sobre KPIs para FM

en entornos BIM, que insiste en la necesidad de vincular los indicadores a datos que puedan ser capturados de forma sistemática y sin una carga administrativa excesiva.

La propuesta de evaluación se articula en tres componentes:

1. Modelo de datos para el seguimiento cuantitativo

A partir de los KPIs definidos (tiempo de ciclo, tiempo hasta planificación, aclaraciones de información, retrabajos de modelado, porcentaje de checklists completos, porcentaje de actuaciones con modelo actualizado, incidencias de coordinación), se especifica qué campos deben registrarse para cada actuación y dónde se almacenan (tablero digital, hoja de seguimiento, campo específico en el modelo BIM, etc.). Esta estructuración responde a experiencias previas en las que los sistemas BIM-basados de soporte a mantenimiento se diseñan precisamente como “repositorios de datos para KPIs” técnicos, funcionales y económico-financieros [22]. Se propone una estructura mínima de tablas o vistas:

- **Tabla de actuaciones**, con identificador, espacio, tipo, fechas clave, estado y responsable.
- **Tabla de calidad de información**, con número de aclaraciones, cumplimiento de checklists, observaciones.
- **Tabla de coherencia BIM**, con marcas de actualización del modelo (sí/no), fecha de actualización y responsable.

2. Procedimientos de análisis y visualización

La Fase 4 sugiere procedimientos de análisis basados en **estadística descriptiva** (medias, medianas, distribuciones, evolución temporal) y **comparación con una línea base** histórica (p. ej., registros previos a la implantación). Este planteamiento es coherente con enfoques de control de producción BIM–Lean como KanBIM, donde el seguimiento de la fiabilidad de la planificación y la madurez de tareas se apoya en indicadores simples, pero sistemáticamente registrados [4], [5].

Asimismo, se recomienda utilizar gráficos de evolución de KPIs y paneles de control (dashboards) sencillos, alineados con propuestas de visualización de KPIs de FM durante el ciclo de vida de los activos [16].

3. Componente cualitativa de evaluación

Dado que el protocolo afecta a la forma de trabajar de varios perfiles, la Fase 4 incorpora una evaluación cualitativa basada en cuestionarios tipo Likert y entrevistas breves. Esta componente permite capturar aspectos como la percepción de utilidad del modelo BIM, la carga de trabajo adicional o reducida, la claridad de roles y la facilidad de uso de los artefactos (tablero, checklists, vistas del modelo). En la literatura sobre integración BIM–LPS, varios estudios destacan la importancia de entender el rol del planificador y de los usuarios finales para interpretar correctamente los resultados de los indicadores numéricos [17]. El producto final de la Fase 4 es un esquema de evaluación listo para su aplicación, que especifica: qué datos recoger, cómo estructurarlos, con qué frecuencia analizarlos y cómo complementar los resultados cuantitativos con evidencias cualitativas.

De este modo, cuando el protocolo se implemente, no solo existirá un flujo definido, sino también un marco explícito para valorar su eficacia y orientar ciclos sucesivos de ajuste y mejora.

3.5. Fase 5 – Paquete metodológico mínimo y transferibilidad

La Fase 5 tiene como objetivo empaquetar de forma coherente los resultados de las fases anteriores en un conjunto de elementos reutilizables, configurando lo que podríamos denominar un “paquete metodológico mínimo” para la integración BIM–Lean en edificios terciarios existentes. Esta idea de pasar de un caso de estudio a un marco reutilizable es coherente con enfoques recientes en BIM-FM que plantean marcos y “toolkits” a partir de experiencias concretas, con el fin de facilitar su adopción por organizaciones con recursos y contextos distintos [3], [6], [8], [10].

En primer lugar, se consolidan todos los artefactos definidos en el protocolo en un núcleo reducido de componentes, cada uno de ellos acompañado de una guía breve de adaptación:

- **Mapa de procesos “as-is / to-be”**
 - Diagrama de flujo actual (diagnosticado en la Fase 1) y diagrama objetivo (diseñado en la Fase 3).
 - Para cada actividad se indica el rol principal, los documentos implicados, las interacciones con el modelo BIM y los puntos de control.
 - Este par de diagramas proporciona a otras organizaciones un punto de partida claro para comparar su situación con la de la ETSEM y ajustar las fases del protocolo sin partir de cero, en línea con marcos de procesos propuestos en trabajos de BIM-FM para edificios existentes [8], [18].
- **Matriz de roles y responsabilidades (RACI)**
 - Tabla que recoge, para cada actividad clave (recibir solicitud, verificar checklist, crear tarjeta, planificar, ejecutar, actualizar modelo, cerrar actuación), quién es Responsable, Aprobador, Consultado e Informado.
 - Esta matriz traduce el diagrama de procesos en una estructura de gobernanza de la información explícita, elemento recurrente en las recomendaciones de ISO 19650 y guías de desarrollo de requisitos de información [2].
- **Conjunto mínimo de checklists de información**
 - Listas de comprobación para las fases de solicitud, planificación y cierre, ajustadas a los EIR simplificados definidos en la Fase 2.
 - Cada checklist se presenta como plantilla editable, de modo que otras instituciones puedan añadir o eliminar campos según su propio contexto.
 - Este enfoque de “prerrequisitos de información” como herramienta de control de calidad de datos es coherente con propuestas de sistemas BIM–Lean basados en la madurez de las tareas y en la reducción de variabilidad en la entrada del flujo.
- **Especificación del modelo federado ligero**
 - Documento que describe las disciplinas incluidas, el nivel de detalle aceptable, el listado de parámetros imprescindibles y ejemplos de vistas tipo del modelo (por planta, por uso, por estado de actuación).

- Se introducen también recomendaciones pragmáticas sobre cómo derivar un modelo de explotación (AIM ligero) a partir de modelos de proyecto más complejos, en línea con trabajos que abordan la simplificación y adaptación de modelos BIM para FM.
- **Catálogo básico de KPIs y esquema de evaluación**
 - Definición de cada KPI (unidades, fórmula de cálculo, fuente de datos, frecuencia de actualización, rol responsable de registrar y de revisar).
 - Esquema de tablas o vistas mínimas necesarias para soportar el cálculo de indicadores, inspirado en propuestas de sistemas de soporte a decisiones de mantenimiento en entornos BIM.
 - Guía breve para combinar estos indicadores con la información cualitativa recogida mediante cuestionarios y entrevistas (Fase 4).

En segundo lugar, la Fase 5 introduce un **marco de transferibilidad** que aclara qué elementos del protocolo pueden considerarse **estables** y cuáles son **específicos del contexto de la ETSEM-UPM**. Se proponen tres niveles:

- **Nivel 1 – Estructura general del protocolo**
(Fases 1–4, lógica diagnóstica → requisitos → diseño de flujo → evaluación).
Este nivel se considera ampliamente reutilizable en otros edificios terciarios o administrativos, dado que responde a una secuencia metodológica similar a la de otros marcos de implementación BIM-FM.
- **Nivel 2 – Artefactos genéricos**
(tipos de checklists, estructura de la matriz RACI, plantilla de KPIs, esquema de tablas de datos, formato de tablero de planificación).
Estos elementos pueden reutilizarse con ajustes menores, adaptando nombres de roles, tipologías de actuaciones o herramientas disponibles.
- **Nivel 3 – Parametrización específica**
(nomenclatura de espacios en la ETSEM, flujos internos de la UPM, herramientas corporativas concretas, condicionantes particulares del edificio).
Este nivel se reconoce explícitamente como dependiente del contexto, y se anima a que cada entidad documente sus propias adaptaciones, siguiendo el mismo esquema.

Adicionalmente, se sugiere que el paquete metodológico se entienda como un punto de partida para iteraciones sucesivas, más que como una solución cerrada. En coherencia con el enfoque de mejora continua de Lean y con el carácter evolutivo de los modelos de información del activo, el protocolo está pensado para ser refinado tras cada ciclo de implantación (por ejemplo, tras un curso académico), reajustando roles, parámetros y KPIs según la experiencia acumulada.

Desde la perspectiva de la ETSEM-UPM, la Fase 5 marca la transición entre un proyecto centrado en un edificio concreto y un marco potencialmente aplicable al conjunto del campus e incluso a otros centros de enseñanza con características similares. De cara a trabajos futuros, este paquete metodológico puede servir como base para:

- Diseñar pilotos comparativos en otros edificios terciarios (por ejemplo, otros centros de la UPM o universidades con estructuras organizativas análogas).
- Explorar la integración progresiva del protocolo en sistemas de información más amplios (CDE institucionales, plataformas corporativas de mantenimiento), en línea con las recomendaciones sobre interoperabilidad BIM–FM.
- Enmarcar futuras evoluciones hacia enfoques de gemelo digital, donde el flujo BIM–Lean y las estructuras de datos consolidadas se conviertan en el “esqueleto” informativo sobre el que conectar sensores, analítica avanzada u otros servicios digitales.

Tabla 1. Cuadro resumen de KPI (Key performance indicators)

KPI	Descripción / objetivo	Cálculo orientativo	Fuente de datos	Responsable de registrar	Responsable de revisar / usar
KPI-1: Tiempo de ciclo de actuación	Tiempo total desde la solicitud hasta el cierre de la actuación	Fecha_cierre – Fecha_solicitud (días)	Tablero de actuaciones / hoja de seguimiento	Coordinador de edificio / administración	Dirección / responsable de mantenimiento
KPI-2: Tiempo hasta planificación	Tiempo desde la solicitud hasta la primera planificación comprometida	Fecha_planificación – Fecha_solicitud (días)	Tablero tipo Last Planner	Coordinador de edificio	Responsable de mantenimiento
KPI-3: Nº aclaraciones de información por actuación	Mide la calidad de la información inicial	Nº de intercambios adicionales para completar datos	Registro de incidencias / comentarios tablero	Coordinador de edificio	Equipo BIM / responsable de información
KPI-4: Retrabajos de modelado BIM	Nº de ediciones extra en el modelo por errores o datos incompletos	Nº de modificaciones no previstas por actuación	Historial de cambios del modelo / log interno	Modelador BIM	Responsable de información / dirección
KPI-5: % actuaciones con checklist completo	Grado de cumplimiento de la información mínima requerida	(Actuaciones con checklist completo / Total actuaciones)×100	Checklists de solicitud/planificación/cierre	Coordinador de edificio	Dirección / comité de mejora
KPI-6: % actuaciones con modelo actualizado al cierre	Coherencia entre realidad ejecutada y BIM	(Actuaciones con modelo actualizado / Total actuaciones)×100	Modelo BIM (marcas de actualización)	Modelador BIM	Dirección / responsable de mantenimiento
KPI-7: Nº incidencias de coordinación	Casos en que la actuación se ve afectada por falta de coordinación	Conteo de incidencias registradas por actuación	Registro de incidencias / actas internas	Responsable de mantenimiento	Dirección / coordinación de centro

4. CONCLUSIONES

El trabajo presentado plantea un protocolo teórico para la integración de BIM y principios Lean en la gestión cotidiana de un edificio docente existente, tomando como referencia la sede de la ETSEM-UPM. Más que proponer una solución tecnológica cerrada o dependiente de herramientas específicas, la aportación se centra en estructurar de forma explícita los roles, flujos de información, artefactos de soporte e indicadores necesarios para que un piloto BIM–Lean pueda ser implantado con un esfuerzo razonable en un contexto real de recursos limitados.

En primer lugar, el protocolo contribuye a reducir la brecha entre el modelo BIM y la operativa diaria de explotación y mantenimiento, proponiendo un conjunto acotado de requisitos de información (EIR simplificados) orientados a actuaciones frecuentes de mantenimiento ligero y reorganización de espacios. Esta focalización en procesos concretos permite escapar de planteamientos excesivamente genéricos y facilita que el modelo federado ligero propuesto pueda ser entendido y utilizado por agentes no especialistas en BIM.

En segundo lugar, la definición de un esquema de roles mínimos y de un flujo BIM–Lean articulado mediante tableros colaborativos, checklists y matrices de responsabilidad ofrece una guía práctica para que organizaciones similares puedan estructurar su propia gobernanza de la información. La incorporación de un panel básico de KPIs y de un esquema de seguimiento y evaluación convierte el protocolo en algo verificable y medible, proporcionando una base sólida para futuras fases de validación empírica.

La principal limitación del trabajo radica en su carácter propositivo: el protocolo no ha sido todavía implementado ni contrastado mediante datos de funcionamiento real. No obstante, esta misma condición teórica ha permitido explicitar con claridad los supuestos, decisiones de diseño y compromisos adoptados, algo que a menudo queda implícito en experiencias de implantación reportadas a posteriori. En este sentido, el protocolo puede entenderse como un “diseño de experimento organizativo” listo para ser ejecutado y ajustado.

Como línea de trabajo futura inmediata, se plantea la puesta en marcha de un piloto controlado en la propia ETSEM-UPM, siguiendo las fases y artefactos descritos, con una recogida sistemática de indicadores y percepciones de los agentes implicados. A medio plazo, resultará de especial interés comparar los resultados obtenidos con otros edificios terciarios o administrativos, identificar patrones de adaptación del protocolo y explorar su integración progresiva en enfoques más amplios de gemelo digital del edificio. De este modo, el trabajo se posiciona como un paso intermedio necesario entre el discurso sobre BIM y Lean y su incorporación efectiva a la gestión diaria de activos educativos existentes.

5. ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

BIM (Building Information Modelling)	Metodología de trabajo colaborativa basada en modelos digitales que integran geometría y datos a lo largo del ciclo de vida del edificio, soporte de coordinación y gestión de la información.
Lean / Lean Construction	Enfoque de gestión orientado a maximizar el valor y minimizar el desperdicio (retrabajos, esperas, información duplicada, etc.), mediante planificación colaborativa y mejora continua.
ETSEM-UPM	Escuela Técnica Superior de Edificación de la Universidad Politécnica de Madrid. Edificio docente existente que se toma como caso de referencia para el protocolo propuesto.
FM (Facility Management)	Gestión de activos y servicios durante la fase de explotación del edificio (mantenimiento, gestión de espacios, equipamiento, soporte a usuarios, etc.).

EIR (Employer's Information Requirements)	Requisitos de información del propietario o gestor. En el trabajo se definen como EIR simplificados centrados en los datos mínimos necesarios para explotación y mantenimiento.
KPI (Key Performance Indicator)	Indicador clave de desempeño utilizado para evaluar el funcionamiento del protocolo (tiempos de ciclo, retrabajos, porcentaje de actuaciones documentadas, etc.).
CDE (Common Data Environment)	Entorno común de datos donde se centralizan y gestionan de forma controlada la documentación y los modelos (planos, incidencias, registros, etc.).
Last Planner System (LPS)	Sistema de planificación colaborativa propio de Lean Construction, basado en compromisos realistas de quienes ejecutan el trabajo y visualización del flujo mediante tableros.
Matriz RACI	Matriz de responsabilidades que asigna, para cada actividad del flujo, quién es Responsable (R), Aprobador (A), Consultado (C) e Informado (I).

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Azhar, "Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry," *Leadership and Management in Engineering*, vol. 11, no. 3, pp. 241–252, Jul. 2011, doi: 10.1061/(ASCE)LM.1943-5630.0000127.
- [2] UNE-EN ISO 19650-1, *Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil que utilizan BIM*. 2019.
- [3] J. Patacas, N. Dawood, and M. Kassem, "BIM for facilities management: A framework and a common data environment using open standards," *Autom. Constr.*, vol. 120, no. 3, p. 103366, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.autcon.2020.103366.
- [4] R. Sacks, L. Koskela, B. A. Dave, and R. Owen, "Interaction of lean and building information modeling in construction," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 136, no. 9, pp. 968–980, Sep. 2010, doi: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0000203.
- [5] R. Sacks, M. Radosavljevic, and R. Barak, "Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction," *Autom. Constr.*, vol. 19, no. 5, pp. 641–655, Aug. 2010, doi: 10.1016/j.autcon.2010.02.010.
- [6] G. Kelly, M. Serginson, S. Lockley, N. Dawood, and M. Kassem, "BIM FOR FACILITY MANAGEMENT: A REVIEW AND A CASE STUDY INVESTIGATING THE VALUE AND CHALLENGES 2," in *Proceedings of the 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, London, UK, 2013.
- [7] R. M. Pavón, A. A. Arcos Alvarez, and M. G. Alberti, "BIM-Based Educational and Facility Management of Large University Venues," *Applied Sciences 2020, Vol. 10*, vol. 10, no. 22, pp. 1–28, Nov. 2020, doi: 10.3390/app10227976.
- [8] A. P. Kern, F. P. Rosa, and L. Bragança, "BIM-FM in existing buildings: a case study on educational and high-rise residential buildings," *Journal of Facilities Management*, vol. 22, no. 5, pp. 776–791, Nov. 2024, doi: 10.1108/JFM-04-2022-0038.
- [9] K. Soliman, K. Najj, M. Gunduz, O. B. Tokdemir, F. Faqih, and T. Zayed, "BIM-based facility management models for existing buildings," *Journal of Engineering Research*, vol. 10, no. 1, pp. 21–37, Mar. 2022, doi: 10.36909/jer.11433.
- [10] K. Kensek, "Key information requirements for integrating building information modelling with operations and maintenance: A Delphi approach," *Journal of Building Engineering*, vol. 98, no. 3, p. 111445, Dec. 2024, doi: 10.3390/buildings5030899.

- [11] “Last Planner System® | Lean Construction Institute.” Accessed: Feb. 16, 2026. [Online]. Available: https://leanconstruction.org/lean-topics/last-planner-system/?utm_source=chatgpt.com
- [12] J. Emblemståg, “Lean project planning – Bridging last planner system and earned value management,” *Heliyon*, vol. 10, no. 18, p. e37810, Sep. 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e37810.
- [13] “How to control Informal Work Packages with the Last Planner System?” Accessed: Feb. 16, 2026. [Online]. Available: https://leanconstructionblog.com/Control-Informal-Work-Packages-With-Last-Planner.html?utm_source=chatgpt.com
- [14] R. Sacks, R. Barak, B. Belaciano, U. Gurevich, and E. Pikas, “KanBIM Workflow Management System: Prototype implementation and field testing,” *Lean Construction Journal*, pp. 19–35, 2012, Accessed: Feb. 16, 2026. [Online]. Available: www.leanconstructionjournal.org
- [15] U. Gurevich and R. Sacks, “Examination of the effects of a KanBIM production control system on subcontractors’ task selections in interior works,” *Autom. Constr.*, vol. 37, no. 12, pp. 81–87, Jan. 2014, doi: 10.1016/j.autcon.2013.10.003.
- [16] A. Bhatla and F. Leite, “INTEGRATION FRAMEWORK OF BIM WITH THE LAST PLANNER SYSTEM TM,” in *Proceedings for the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 2012.
- [17] S. Ortenburger and T. Hartmann, “Supporting the Last Planner System with 4D BIM”, doi: 10.14279/depositononce-11729.
- [18] F. R. Cecconi, N. Moretti, S. Maltese, and L. C. Tagliabue, “A BIM-Based Decision Support System for Building Maintenance,” *Advances in Informatics and Computing in Civil and Construction Engineering*, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-00220-6_44.