

02-028

QUANTIFICATION OF THE BIM CONTRIBUTION TO THE QUALITY OF A CONSTRUCTION PROJECT.

Moreno, Jorge ⁽¹⁾; Secchi, Jonathan ⁽²⁾; Moretti, Patricio ⁽³⁾; Cantú, Alejandro ⁽³⁾

⁽¹⁾ Facultad de Ingeniería Universidad Nacional de Cuyo, ⁽²⁾ ARCCUM, ⁽³⁾ Facultad de Ingeniería UNCUYO

This study considered the quantification of the real benefits of the incorporation of BIM (Building Information Modeling) techniques to the quality management of a construction project. It was developed on a project in progress, based on the contract documentation and technical documentation developed in vector mode (CAD). Critical parameters defined to compliance with the specifications and contract requirements were established, and the specific parameters of the project quality and the indicators to evaluate its performance were identified. Subsequently, a modeling of the building was carried out with Autodesk REVIT and the results were analyzed, focusing on the reference parameters already established to be able to make comparisons and evaluate the possible impact on the quality and other variables of the project. With the data and information obtained, results were evaluated and compared, and the quality and non-quality costs of the project were established and quantified for both situations. The results obtained justify the convenience of modeling with BIM, not only for the economic benefits that are obtained but also because of other differentiating contributions for professionals and organizations responsible for managing this type of project.

Keywords: BIM; quality; management; improvement.

CUANTIFICACIÓN DEL APOORTE BIM A LA CALIDAD DE UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN.

Este estudio consideró la cuantificación de los reales beneficios de la incorporación de técnicas BIM (Building Information Modeling) a la gestión de la calidad de un proyecto de construcción. El mismo se desarrolló sobre un proyecto en ejecución, tomando como base la documentación de contrato y la documentación técnica realizada en modo vectorial (CAD). Se definieron los parámetros críticos vinculados al cumplimiento de las especificaciones y requerimientos del contrato, y se identificaron los parámetros específicos de la calidad del proyecto y los indicadores para evaluar su desempeño. Posteriormente se realizó una modelación del edificio con Autodesk REVIT y se analizaron los resultados, haciendo foco en los parámetros referenciales ya establecidos para poder realizar comparaciones y evaluar el posible impacto sobre la calidad y otras variables del proyecto. Con los datos e información obtenida se evaluaron y compararon resultados, y se establecieron y cuantificaron los costos de calidad y no calidad del proyecto para ambas situaciones. Los resultados obtenidos justifican la conveniencia de modelar con BIM, no solo por los beneficios económicos que se obtienen sino por otros aportes diferenciadores para los profesionales y las organizaciones responsables de la gestión de este tipo de proyectos.

Palabras claves: BIM; calidad; gestión; mejora.

Correspondencia: Jorge Luis Moreno jorge.moreno@ingenieria.uncuyo.edu.ar



©2021 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1. Introducción

Los proyectos buscan alcanzar el éxito a través de lograr sus objetivos y satisfacer las necesidades de los involucrados acorde a las especificaciones y los requerimientos establecidos. Para ello es necesario que el proyecto entregue, en tiempo y forma, el producto comprometido, y que este se realice sustentado en una gestión eficiente que proteja las variables relevantes e integre todas las áreas de aplicación del mismo.

Estas premisas aplican a cualquier proyecto, independientemente de su tipología o ámbito de aplicación, reconociendo que según sean las particularidades del mismo, la industria donde se desarrolla y su situación de contexto, toman mayor importancia alguna de las áreas o variables, pudiendo ser el cumplimiento del plazo lo determinante, o los costos tomar un rol protagónico, o la calidad prevalecer sobre las demás variables.

Cuando la calidad se transforma en una variable relevante y determinante para el éxito del proyecto es cuando toma real relevancia entender su valor y la mejor manera de gestionarla, lo que justifica la realización de estudios y el desarrollo de aplicaciones.

Autores como Lavallo, Gadze y Wehbe (2006) establecen que “la calidad del proyecto significa que éste satisfaga todas las necesidades y expectativas por las cuáles fue iniciado”. Esto obliga a los responsables de los proyectos a considerar una visión integral de la calidad y aplicar verdadera calidad al producto (acorde a requerimientos) y a todos los procesos involucrados en su materialización, incluyendo los procesos de gestión.

En los proyectos de edificación, la mayoría de las empresas contratistas de la República Argentina consideran a la variable costo como la de mayor peso decisional, seguida por la variable plazo, y confinando a la calidad al cumplimiento de los requerimientos y las especificaciones contractuales por considerarla de bajo aporte de valor. Esta postura puede variar dependiendo del tipo de proyecto (público o privado), el perfil y el grado de madurez de la organización, pero en general solo buscan cumplir lo exigible a través:

- Revisar y analizar la documentación técnica y contractual para identificar necesidades y exigencias,
- Definir y realizar los necesarios controles de calidad del producto, los que algunas veces se traducen en Planes de Inspección y Ensayo (PIE),
- Establecer requisitos específicos a proveedores críticos (insumos, servicios),
- Seleccionar mano de obra calificada para subproductos complejos,

Estas acciones, entre otras posibles, son válidas y aceptables, pero son reactivas y generalmente no se realizan en forma planificada, estructurada o sistémica. Esto genera problemas que muchas veces se traducen en retrabajos, conflictos, retrasos, desperdicios, mayores costos y reclamos, entre otras situaciones.

La gestión de la calidad empieza a tener protagonismo cuando se trata de proyectos públicos de edificación o proyectos donde la satisfacción o las exigencias contractuales son relevantes y directrices. Estas apreciaciones se potencian cuando se trata, por ejemplo, de proyectos vinculados a obras estratégicas o donde la seguridad es un componente no negociable. En este contexto la calidad del proyecto toma relevancia y se posiciona como una variable que se debe considerar seriamente y gestionarse adecuadamente

Si se logra una buena gestión de la calidad del proyecto, es factible aportar mucho valor y entregar beneficios tangibles y demostrables para las organizaciones. En cambio, al encontrarse con una calidad deficiente o una mala calidad, sea esta parcial o total, se generan

inconvenientes, sobrecostos o costos adicionales llegando a impactar en otras variables y afectando sensiblemente el desempeño del proyecto

Los efectos de la calidad deficiente o la mala calidad están ampliamente demostrados en el desempeño de las obras edilicias, como lo respaldan los conocidos “listados de defectos” con que se encuentran los responsables de este tipo de proyectos debido a las falencias detectados por el mandante en las distintas inspecciones parciales o finales realizadas al producto. Y como expresa Serpell Bley (2004), “esta situación no es beneficiosa para nadie, para el mandante porque no puede utilizar plenamente la obra (atrasos en la puesta en marcha, con pérdidas de producción y ventas), y para el contratista porque debe corregir defectos, rehacer trabajos, mantener infraestructura y personal en terreno, pérdida de credibilidad e insatisfacción del cliente”.

Estas pérdidas de oportunidades han llevado a que muchas contratistas dejen la actitud reactiva vinculada a la inspección (controles) e invierten en la verdadera calidad, asignando recursos a la forma de realizar los productos e invirtiendo fundamentalmente sobre los procesos que sustentan la materialización del producto y los procesos y herramientas asociadas a la gestión de la calidad del proyecto. Esta perspectiva es extrapolable a los mandantes, quienes deben replantear su posición y desarrollar reingenierías orientadas a gestionar su calidad de sus productos y servicios en forma proactiva e integral.

Es por ello que para propiciar que un proyecto logre el éxito y entregue un producto acorde en tiempo y forma, los responsables deben establecer acciones concretas orientadas a lograr la verdadera calidad del proyecto, las que actualmente la bibliografía especializada integra en el concepto de Gestión de la Calidad del proyecto.

Con ese objetivo se plantean acciones vinculadas a la identificación y validación de requerimientos y expectativas, procedimientos formalizados de realización de productos y subproductos, acciones vinculadas a los servicios asociados al producto, criterios en la asignación de recursos, capacitación de recursos críticos, provisión de equipamiento específico para la realización de controles, acciones planificadas de control de producto y subproductos, realización de auditorías, etc.

Como toda gestión que busca la eficiencia, la Gestión de la Calidad del proyecto también se sustenta en la adecuada selección y uso de indicadores, como son el índice de defectos, el porcentaje de retrabajos, etc. Pero la evaluación de los costos de calidad son los que muchas veces dirimen el desempeño de la calidad del proyecto en el logro del producto comprometido y sustentan decisiones directrices del proyecto.

La bibliografía que trata los costos de calidad es amplia y diversa, tomando muchas veces como referencia las definiciones y clasificaciones establecidas en el Manual de Calidad de Juran y Godfrey (2001) que han sido directrices en el tema. Por ejemplo, Serpell Bley (2004) considera a los costos de calidad compuestos por costos de prevención, costos de evaluación y costos de fallas o desviaciones de calidad. En cambio el Project Management Institute (2017) considera que los costos de calidad están conformados por los costos de conformidad, que incluye todos los costos vinculados a la prevención (de no conformidad con los requisitos) y los costos vinculados a la evaluación del producto o servicio (para la conformidad de los requisitos o por incumplimiento de requisitos que demanden re-trabajo), y los costos de fallas (internos, constatados por el equipo de proyecto, y externos, constatados por el cliente).

A los fines de la presente investigación, se adoptará la clasificación desarrollada en la Tabla 1, que compila recomendaciones de la bibliografía mencionada, y que entendemos es lo suficientemente abarcativa, clara y descriptiva a los fines propuestos.

En los proyectos, es reconocido que implementar metodología de gestión de proyectos es una excelente alternativa para eliminar y/o reducir las deficiencias mencionadas y promover oportunidades, ya que, entre otros aspectos, considera una gestión eficiente de la calidad del

proyecto. Esto traería como consecuencia un mejor desempeño de la calidad en el producto entregado, en los documentos utilizados y en los procesos aplicados.

Tabla 1 Clasificación Costos de Calidad (elaboración propia)

1. COSTOS DE CONFORMIDAD	2. COSTOS DE NO CONFORMIDAD
1.1 COSTOS DE PREVENCIÓN	2.1 COSTOS DE FALLA INTERNA
Instrucción y capacitación del personal	Desperdicios y retrabajos.
Desarrollo y Planificación	Falla de procesos Acciones correctivas y reparaciones
Documentación	Consultas por defectos o fallas
Control de procesos	Re-inspecciones (re-evaluaciones)
Sistemas de información y control	Re-diseño (producto y/o proceso)
1.2 COSTOS DE EVALUACIÓN	2.2 COSTOS DE FALLA EXTERNA
Pruebas y ensayos	Quejas y reclamos del cliente
Medición y control de procesos	Garantías Reparación y reemplazo (total o parcial)
Mantenimiento de instrumentos	Pérdidas (imagen, ventas)
Recursos. Disponibilidad de equipos e instrumentos	Costos por responsabilidad del producto (acciones y demandas jurídicas)
Costos de inspección	Devoluciones y bonificaciones

En la actualidad hay una tendencia de incorporar nuevas filosofías, técnicas y herramientas para mejorar el desempeño de los proyectos, capaces de aportar valor y generar información valiosa que sustente la toma de decisiones. Ejemplo de esto son el Lean Project, Lean Construction, Last Planner, Total Quality Management, BIM, etc., las cuales también tienen incidencia sobre la calidad del proyecto.

El BIM (Building Information Modeling) aplica técnicas de modelado de información y es una excelente alternativa para mejorar la calidad y la gestión de calidad de los proyectos.

La British Standards Institution (2013) considera a BIM como el proceso de diseñar, construir y explotar un edificio o infraestructura usando información electrónica basada en objetos. En cambio, el Building Smart Spanish Chapter (2014), organización internacional que promueve la mejora del intercambio de información entre aplicaciones de software utilizadas en la industria de la construcción, considera que BIM es una forma de trabajo en el que mediante

herramientas informáticas se elabora un modelo de un edificio al que se incorpora información relevante para el diseño, construcción o mantenimiento del mismo.

Los beneficios de estas técnicas en la industria de la construcción y los proyectos de infraestructura son amplios y variados, destacándose los siguientes:

- Mejoran la calidad del diseño (BIM Forum Argentina, 2017), de la construcción, la planificación, la seguridad y la secuencia constructiva,
- Mejoran la calidad de los diseños, porque consideran a los elementos como objetos tridimensionales parametrizados, con las características físicas y lógicas reales,
- Optimizan la identificación y selección de las mejores técnicas constructivas,
- Mejoran sustancialmente la precisión de las cantidades (cómputo),
- Permiten identificar tempranamente los conflictos constructivos e interferencias
- Promueven una mejor constructabilidad a través de la coordinación proactiva de los distintos rubros intervinientes.

2. Objetivos

La investigación se realizó sobre un proyecto actualmente en ejecución, que es la construcción del Bloque 1 (Etapa 1) del edificio para las carreras de Arquitectura y Mecatrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.

Al ser un proyecto público, de carácter institucional, licitado por la Universidad, se pudo acceder a la documentación contractual, teniendo la posibilidad de acompañar en forma directa el proceso de ejecución, lo que nos permitirá evaluar y validar resultados.

A partir del estudio de toda la documentación y la realización de un análisis de la situación de contexto del proyecto, se pudieron determinar las siguientes restricciones y supuestos:

Supuestos

- Se toma como válida y suficiente toda la información que proporciona la documentación contractual.
- Se consideran válidos los conceptos y valoraciones proporcionados por los involucrados directos consultados (capataz, jefe de obra, inspector, director técnico).
- El desarrollo de la modelación en Revit, debidamente orientado a los objetivos del trabajo, proveen la información suficiente para poder identificar y cuantificar impactos sobre los parámetros de calidad establecidos para el proyecto

Restricciones

- La documentación técnica está desarrollada por el cliente a nivel de aprobación municipal. No hay ingeniería de detalle, salvo en el cálculo de estructura.
- La documentación gráfica se realizó en AutoCAD (concepción vectorial).
- No se dispone de un plan de calidad (no exigible por el comitente a la contratista).
- La planificación no tiene el nivel de detalle deseable para un mejor estudio y evaluación del impacto por acciones vinculadas a la calidad o no calidad.
- No se dispone de la plani-altimetría del sector de obra, por lo que se toma como válido el volumen de movimiento de suelos establecido en la planilla de cotización.

Con estos antecedentes y la situación de contexto descrita, se establecieron los siguientes objetivos generales para la investigación:

- Demostrar el aporte de una modelación BIM a la calidad del proyecto en la preparación de la oferta y posterior ejecución del mismo, que constituyen las etapas donde es factible intervenir desde la perspectiva del contratista
- Cuantificar los potenciales beneficios a través del análisis de los costos de calidad en un proyecto real que constituyan evidencia objetiva para la toma de decisiones
- Identificar fortalezas y debilidades de la metodología propuesta, así como alternativas de mejora y sugerencias para potenciales aplicaciones
- Promover que las organizaciones reconozcan e incorporen nuevas metodologías y técnicas asociadas al concepto BIM.
- Realizar verificaciones en obra para evaluar y validar los beneficios proyectados
- Aportar conocimientos, experiencias y resultados a la academia, a los profesionales vinculados a la gestión de proyectos y a las empresas del medio.

3. Metodología

Para llegar a resultados satisfactorios acorde a los objetivos de esta investigación, se plantea la situación de una empresa constructora competitiva de nivel medio, seleccionada para la

ejecución de la mencionada obra edilicia, que realiza sus proyectos con un enfoque tradicional respecto de la calidad y la metodología constructiva aplicada.

Sobre este contexto y para facilitar el desarrollo de la investigación, se realizaron las siguientes acciones:

1. Se estudia la documentación completa de la obra, y se desarrolla la documentación faltante para facilitar el estudio del caso propuesto.
2. Se estudia la calidad propia de la obra, identificando requerimientos formales (contractuales) e identificando los parámetros críticos vinculados a la calidad considerando objetivos y variables relevantes.
3. Se identifican las acciones propias y específicas en uso por la empresa respecto de la calidad destinadas a cumplir lo establecido en contrato.
4. Se estudian los distintos componentes del producto del proyecto y aspectos relevantes que hacen a su gestión, identificando las causas y los posibles efectos sobre la calidad del mismo. Se elabora la matriz Causa-Efecto.
5. Se incorpora a la matriz Causa-Efecto el posible impacto directo sobre las variables del proyecto: alcance, plazo, costo, calidad
6. Se identifican los posibles aportes del modelo BIM en el ciclo de vida del proyecto. Se confecciona cuadro resumen de aportes BIM.
7. Se identifican los posibles aportes BIM a la calidad del proyecto. Se incorporan en la matriz Causa-Efecto
8. Se estiman los costos de calidad y no calidad esperables para cada situación.
9. Se valorizan aportes y se evalúan resultados. Se obtienen conclusiones y recomendaciones
10. Se realizan mediciones en obra para validar los resultados previstos en la investigación (proyectados).

Las acciones propuestas se desarrollan sobre un esquema de dos situaciones. Una Situación 1 sin aporte BIM, y otra Situación 2 con el aporte BIM a la calidad del proyecto.

Situación 1 (sin BIM)

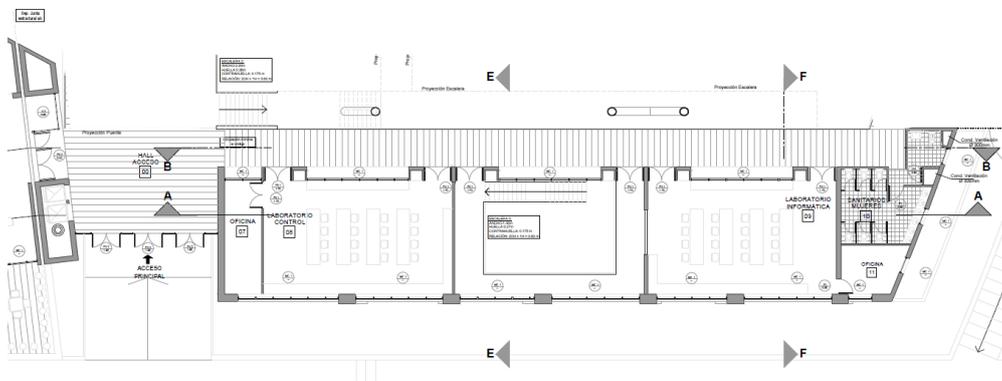
Como se expresó en párrafos anteriores, se accedió a toda la documentación contractual, incluyendo la documentación técnica desarrollada en base CAD (vectorizada) y aprobada por los organismos competentes para este proyecto. En la Figura 1 se muestra la planta del

Bloque 1 del proyecto, que comprende una superficie cubierta de 2690m², involucrando dos subsuelos, una planta baja, dos niveles superiores y una terraza accesible.

Para esta situación se estudia la documentación contractual, documentación técnica, memorias técnicas, planillas, plan de trabajos básico de contrato, planilla de cotización, etc., y se confeccionan documentos de soporte necesarios para la investigación, como son:

- Estructura de Desglose del Trabajo (EDT) con cuantificación del trabajo de acuerdo a la revisión de cómputos (de oferta, base del contrato)
- Planificación del proyecto en Project, respetando la modalidad constructiva, y la secuencia y duración de actividades prevista en el plan de trabajo básico aprobado.
- Conformación de la planilla completa de costos, en base a los análisis de precios y planilla de cotización.

Figura 1. Planta Bloque 1



Con respecto a la calidad y así cumplimentar las acciones proyectadas, se desarrollaron las siguientes acciones específicas complementarias:

- Se estudia en detalle la calidad del proyecto (sobre una perspectiva y modalidad tradicional para desarrollar y controlar la calidad por parte de la contratista), considerando la documentación disponible (contractual y técnica)
- Se determinan los parámetros de calidad a cumplimentar (contractuales).
- Se identifican las actividades específicas vinculadas a la calidad (mediciones, muestreo, ensayos, testigos, etc.) para que el producto cumpla las condiciones contractuales y la normativa vigente, aceptando que las mismas no constituyen un sistema y no están lo debidamente estructuradas e integradas (acorde a la modalidad de tratamiento de la calidad por parte de la contratista)

Sobre la base de esta información, y considerando los distintos componentes del producto del proyecto y aspectos relevantes que hacen a su gestión (objetivos y variables relevantes), se identifican los parámetros de calidad que pueden evaluarse y cuantificarse.

Se identifican las posibles causas que generen problemas en la calidad y se establece la/las posibles consecuencias (efectos) sobre las variables relevantes del proyecto (alcance, plazo, costo, calidad). Esto queda representado adecuadamente en la matriz Causa-Efecto, que considera aspectos vinculados al producto del proyecto (debidamente identificados en la EDT, y correlacionados con lo indicado en la carta Gantt y en la Planilla de Cotización), y con los

componentes de gestión, a través de documentos representativos para este caso de estudio (Alcance, EDT, Plan de Trabajos, Planilla de Cotización, etc.).

La matriz Causa-Efecto permitió seleccionar aquellas causas y efectos más representativos a los fines de lograr los objetivos de la investigación. En la Figura 2 se presenta un extracto de esta matriz para un componente del producto como es el hormigón armado (H°A°) (hormigón reforzado), de gran incidencia en este proyecto, y para un componente de gestión como es el plazo representado en el Plan de Trabajos.

Posteriormente, se incorpora a la matriz el posible impacto directo sobre las variables analizadas (alcance, plazo, costo, calidad) y se identifican los posibles costos de calidad (prevención y evaluación), y los posibles costos de no calidad, más precisamente los costos asociados a las posibles fallas internas, que son las consideradas para este estudio, como son los costos vinculados a reparaciones, retrabajos, etc.

Situación 2 (con BIM)

En esta situación se realiza la modelación BIM del Bloque 1 del edificio con AUTODESK REVIT para estudiar en forma diferenciada el proyecto. En la Figura 3 se muestran vistas en 3D obtenidas de la modelación.

Esta modelación genera reconocidos aportes, como son un mayor entendimiento del proyecto, una mejor información asociada a la realización del producto y el desempeño de los procesos,

una mejor cuantificación de sus componentes y una mejor y mayor detección de posibles conflictos e interferencias.

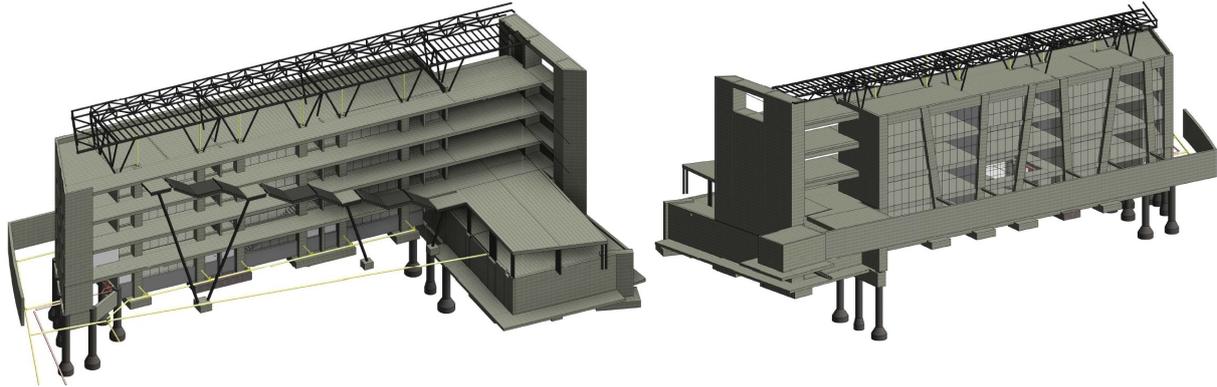
Partiendo de las acciones y resultados obtenidos en la Situación 1, en esta situación se realizaron las siguientes acciones:

- Se identifican los posibles aportes del modelo BIM en el ciclo de vida del proyecto, y se confecciona un cuadro resumen de Aportes BIM - Ciclo de Vida.
- Se identifican los posibles aportes BIM a la calidad del proyecto, los que se incorporan en la matriz Causa-Efecto (columna derecha de la Figura 2).
- Se estiman los costos de calidad y no calidad esperables bajo esta situación, pero únicamente sobre los parámetros de calidad que se hayan detectado que tendrían aporte por modelación BIM.

Figura 2. Extracto de matriz Causa-Efecto (hormigón reforzado, plan de trabajos)

Componentes	Causa	Efecto	impactos directos				Aporte BIM	Detalle
			A	P	C	Q		
Estructura H°A° (terminación vista)	Control de parámetros de calidad deficientes	Falla cumplimiento especificaciones				X		
	Mano de obra deficiente	Fallas en ejecución (desperdicios, conflictos, retrabajo)		X	X			
		Defectos terminación		X	X	X		
	Documentación técnica insuficiente o incompleta	Errores en la estimación de cantidades (cómputo)		X	X		Sí	Modelo Cómputo de trabajos y materiales
		Fallas en ejecución (desperdicios, conflictos, retrabajo)		X	X		Sí	Modelo Documentación detallada
	Deficiente capacidad computista	Errores en la estimación de cantidades (cómputo)		X	X		Sí	Modelo
	Ensayos (probetas de H°) fuera de especificación	Falla cumplimiento especificaciones técnicas		X	X	X	Sí	Modelo Ubic. espacial elementos estructurales
		Obligación de extracción de testigos		X	X			
	Ensayos (testigos de H°) fuera de especificación	Falla cumplimiento especificaciones	X	X	X	X	Sí	Modelo Ubicación espacial de muestras
	Recursos y equipamiento insuficientes	Defectos terminación		X	X			
Procedimiento de hormigonado deficiente	Baja vida útil				X			
Condiciones climáticas	Baja vida útil		X	X				
Plan de Trabajos	Determinación de secuencias erróneas	Planificación deficiente		X	X	X	Sí	Modelo Secuencia de modelado
	Error en la estimación de recursos necesarios	Planificación deficiente		X	X	X		
	Sobreasignación de recursos	Planificación deficiente		X	X			
	Método constructivo no definido o ineficiente	Planificación deficiente		X	X	X	Sí	Modelo Secuencia modelado Planif. espacial
	Seguimiento y control de avance deficiente	Demoras		X		X		
	Imponderables (caso fortuito o fuerza mayor)	Demoras		X				
	Baja eficiencia de herramientas	Demoras		X		X	Sí	Modelo Cant. trabajo e inf. de entrada p/planificar

Figura 3. Vista Norte y Sur obtenidas de la modelación BIM



Los aportes del modelo BIM sobre los componentes principales y áreas referenciales del proyecto se han identificado y compilado en una extensa matriz, que comprende, para cada etapa estudiada del proyecto, los aportes a través del modelado, cuantificación, detección de interferencias y actualización del modelo en el tiempo. A modo de ejemplo, se destacan los siguientes aportes:

Sobre la Ingeniería Básica:

- Se logra un mejor diseño y definición de los parámetros de calidad (materiales, terminaciones y variaciones) para cada componente del producto.
- Se logra un feedback proactivo entre disciplinas en etapas tempranas que se traduce en mejora en la definición del alcance y claridad en la identificación de interferencias,
- Se optimiza la constructabilidad a través de un desarrollo colaborativo en un entorno visual que permite definir evaluar y simular métodos y soluciones constructivas.
- Se facilita la integración del proyecto porque se trabaja sobre un modelo único, parametrizado, simultáneo y sincronizada

Sobre las Comunicaciones:

- Se facilitan las comunicaciones, ya que se trabaja sobre un modelo único (sin versionado), que hace que los actores trabajen con información única y actualizada.
- Se mejora la calidad y velocidad de las comunicaciones, porque al tratarse de modelos digitales, los datos pueden almacenarse y transferirse fácilmente, pudiendo ordenarlos y filtrarlos según sea necesario.

El análisis completo de la matriz permite identificar que los mayores aportes se presentan en documentos vinculados a la revisión del diseño del producto y documentos de gestión, reduciéndose en la construcción y volviéndose a detectar aportes en la etapa de cierre.

Esta matriz excluye el mantenimiento durante la operación, por estar fuera del alcance de este estudio, y concentra el análisis a las etapas de desarrollo, ejecución y puesta en marcha. Se entiende que los aportes se deberían potenciar en esta etapa.

Resultados obtenidos

Como se expresó en párrafos precedentes, una excelente manera de evaluar y demostrar el posible aporte de una modelación BIM a la calidad de un proyecto es realizar una evaluación de sus costos de calidad que permita a los responsables sustentar decisiones y justificar inversiones en pos de una mejora en el desempeño y la satisfacción de los involucrados.

La comparación de los costos de calidad entre las dos situaciones propuestas se hace sobre la base de considerar solamente los componentes diferenciales respecto de la calidad y sus costos (es decir sobre los componentes que cambian su desempeño respecto de la calidad al

cambiar de situación), entendiendo que los demás costos de calidad se mantendrán sin modificaciones (o con modificaciones mínimas) entre ambas situaciones. De esta manera se facilita el análisis y la obtención de resultados valederos para esta investigación.

Respecto de los costos de prevención, al pasar de la Situación 1 a la Situación 2, lo relevante en este tipo de costos es la incorporación del costo asociado al desarrollo del modelo BIM y el soporte al modelo en el periodo de duración del proyecto. Se acepta que los demás costos de prevención deberían mantenerse o en algunos casos reducirse como consecuencia de los otros aportes de la modelación BIM que ya mencionamos, pero que desde el punto de vista de costos de prevención no son representativos. El costo del desarrollo y soporte del modelo BIM se ha considerado como una provisión externa a la organización (proveedor especializado), cuyo monto se ha incluido en el cuadro de costos.

Respecto de los costos de evaluación vinculados a la realización del producto y subproductos del proyecto, se entiende que éstos no deberían tener modificaciones significativas si no hubiera cambios significativos en las cantidades de cada componente, ya que muchas de las evaluaciones responden a requerimientos normativos o contractuales.

La determinación de los costos unitarios de los ensayos se ha efectuado considerando los precios de mercado para este tipo de servicios por parte de laboratorios certificados, incluyendo insumos, mano de obra y equipos para su realización (muestras y ensayos).

Para el caso de los costos asociados a la evaluación de desempeño de los componentes de gestión, los costos esperables para ambas situaciones no deberían tener diferencias relevantes, salvo cambios sustanciales en el alcance.

En nuestra investigación, la modelación BIM arrojó diferencias importantes en las cantidades de algunos componentes (cómputo) como en la cantidad de m³ del H^oA^o y en los kilos de acero de la estructura metálica. Esto impactó directamente sobre los costos netos y demás costos asociados como pueden ser los de evaluación (costos de ensayos, etc.). Esto tuvo incidencia directa sobre el cronograma, prolongando la duración del proyecto. Este efecto se cuantificó como costo de falla.

Para el análisis de los costos de falla (interna) se tuvieron en cuenta todos los posibles costos asociados a fallas en el producto y en la gestión del mismo, dentro de los cuales se encuentran desperdicios, retrasos y mayores costos por efecto de errores en la determinación de las cantidades, demoliciones y reparaciones, retrasos, etc.

Para poder evaluar y comparar adecuadamente los costos de calidad para ambas situaciones se tomó como referencia la desagregación propuesta por Juran y Godfrey (2001), con adecuaciones parciales teniendo en cuenta las particularidades del proyecto de estudio. Esta conformación se visualiza en la Figura 4.

El presupuesto total del proyecto en estudio es de USD 1.994.844. Para la obtención de los costos directos se desagregaron los costos correspondientes a impuestos, costo financiero, beneficios y gastos generales e indirectos, respetando la estructura prevista en los pliegos y acorde a lo establecido en el contrato.

A los fines de lograr mayor claridad y poder realizar un adecuado análisis, en nuestra investigación hemos desagregado los costos directos considerando los que no tienen aporte BIM y los que si reciben aporte por la implementación del BIM.

Sobre esta división, consideramos que los costos con aporte BIM se conforman por los costos netos (asociados a los principales componentes del producto) y los costos de calidad. Para su desglose, se ha tomado de referencia lo sugerido por Villar y Dzul López, (2007) y se ha asignado al costo neto del producto el 85% de los costos directos (acorde al promedio asignado a proyectos en Latinoamérica), y el 15% restante a los costos de calidad. En

particular, dentro de los costos de calidad, se asigna 5% a los costos de prevención, 17% a los costos de evaluación y 78% a los costos de falla.

Con las premisas mencionadas, se conforma el cuadro representado en la Figura 4 que permite, no solo visualizar la composición de los costos directos sino determinar las variaciones e identificar incidencias. Asimismo permitió identificar desvíos y causales de los mismos, algunos importantes, como se menciona en los párrafos siguientes.

Figura 4. Conformación de Costos Directos para la Situación 1 y Situación 2

Desglose del presupuesto	Situación 1	Situación 2	Variación	Diferencia
COSTOS DIRECTOS	USD 1.290.159	USD 1.252.010	-3,0%	-USD 38.149
Costos directos donde no hay aporte BIM	USD 338.037	USD 338.433	0,1%	USD 395
Costos directos donde se estima aporte BIM	USD 952.122	USD 913.577	-4,0%	-USD 38.544
Costo neto	USD 809.303	USD 835.581	3,2%	USD 26.278
Estructura de H ^o A ^o	USD 643.973	USD 662.567	2,9%	USD 18.594
Estructura metálica	USD 113.112	USD 120.796	6,8%	USD 7.684
Cubierta de techos	USD 5.876	USD 5.876	0,0%	USD 0
Instalaciones sanitarias	USD 15.991	USD 15.991	0,0%	USD 0
Instalaciones eléctricas	USD 24.620	USD 24.620	0,0%	USD 0
Sistema contra incendio	USD 5.732	USD 5.732	0,0%	USD 0
Costos de calidad	USD 142.818	USD 77.996	-45,4%	-USD 64.822
Costos de prevención	USD 7.141	USD 9.548	33,7%	USD 2.407
Costos de evaluación	USD 24.279	USD 24.384	0,4%	USD 105
Costos de falla	USD 111.398	USD 44.064	-60,4%	-USD 67.334

El análisis del cuadro de la Figura 4 nos permite detectar lo siguiente:

- El costo del proyecto se reduce en un 3%. Esta reducción representa el 57% de los beneficios esperados en la Situación 1
- El costo neto se incrementa un 3,2% principalmente por el incremento del 2,9% en la estructura de H^oA^o y del 6,8% en la estructura metálica. Esto se debe a que se detectaron importantes diferencias en las cantidades (incrementos en el volumen H^oA^o y kg de acero) no detectables o difícilmente detectables sin el aporte BIM.
- Los costos de calidad se reducen un más del 45% originado principalmente por la reducción de los costos de fallas.
- Los costos de prevención se incrementan casi un 34% debido a que se incorpora principalmente el costo del modelo y su actualización. Este incremento es insignificante (USD 2.407) respecto del total del proyecto y los beneficios analizados.
- Los costos de evaluación sufren un leve e insignificante incremento (0,4%) debido principalmente al incremento en el número de ensayos originados por la diferencia detectada en las cantidades de componentes significativos.
- Los costos de falla interna se reducen en más del 60% debido al aporte sobre la calidad de la modelación BIM

En la Figura 5 se presenta un esquema de costos del proyecto considerando la Situación 1 (sin BIM) y la Situación 2 (con BIM), que incluye las variaciones y las diferencias detectadas, y que permite visualizar rápidamente los aportes de la implementación BIM

En la Figura 6 se presenta un esquema de la composición de Costos de Calidad del proyecto al pasar de la Situación 1 a la Situación 2. En la misma se visualiza donde se producen los

mayores cambios y aportes en los costos de calidad, los que sustentan el potencial beneficio que genera la implementación de técnicas BIM en los proyectos.

Figura 5. Esquema de costos del proyecto Situación 1 - Situación 2

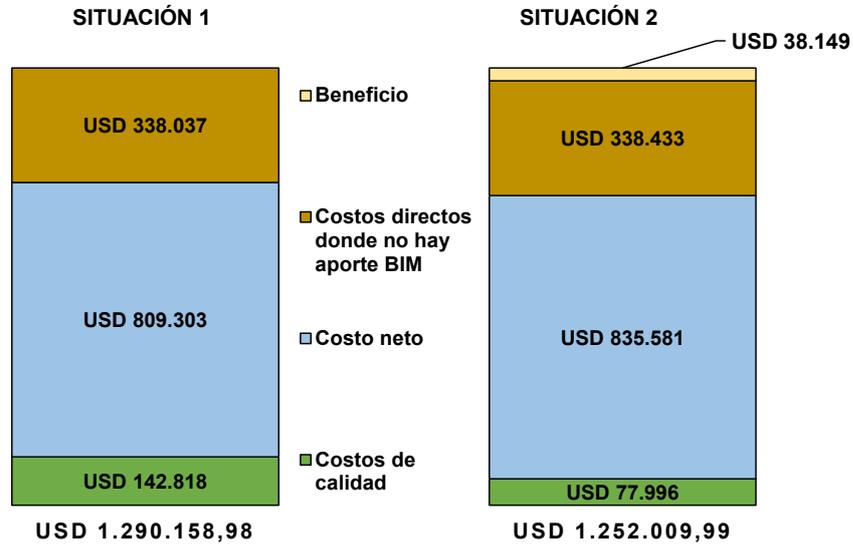
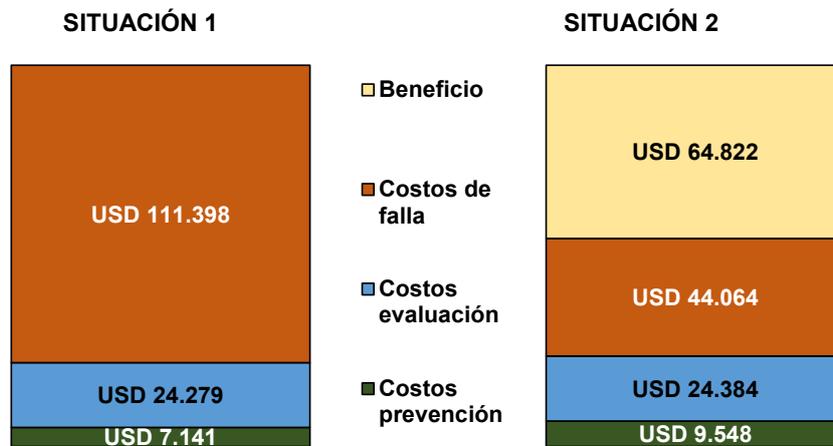


Figura 6. Composición de Costos de Calidad del proyecto



4. Conclusiones y recomendaciones

Identificar y cuantificar los costos de calidad en cualquier proyecto de edificación constituye una forma de evaluar el desempeño y promover la mejora continua. Este proceso debe ser sistémico y consistente en el tiempo para sustentar su aplicabilidad y la obtención de resultados fiables.

El aporte BIM sobre el producto y sub productos del proyecto está probado y puede llegar a ser significativo si se desarrollan adecuadamente los procesos vinculados a la realización de las distintas partes del proyecto a lo largo de todo el ciclo de vida. Esto queda de manifiesto

en el desempeño de las variables relevantes, siendo la calidad una de las que posibilita identificar y cuantificar esos aportes.

Teniendo en cuenta los resultados de la investigación, el aporte de una modelación BIM al proyecto y a su calidad es real y conveniente, a pesar de las restricciones que nos encontramos a la hora de seleccionar los parámetros de calidad más relevantes y factibles de cuantificación. Esto deja abierta la posibilidad de estudiar más parámetros y determinar más beneficios, lo que representa una potencialidad mayor a la detectada y demostrada.

Los beneficios de la implementación BIM se ven reflejados en la reducción de los costos. Y como expresan Juran-Blanton (2001), si “el lenguaje del dinero es el lenguaje fundamental de los altos directivos”, beneficios monetarios como los obtenidos sustentan decisiones y justifican la inversión, que resulta ser baja en términos relativos.

El aporte de valor de estas modelaciones se incrementa si se implementan en fases tempranas del ciclo de vida del proyecto. Por ejemplo, el disponer de una detección temprana del cambio en las cantidades de los distintos componentes posibilitaría la adecuación de costos, o la reprogramación o una compresión del cronograma, alternativas que de desconocerse o conocerse tardíamente no serían posibles o no aportarían valor o impactarían negativamente sobre los objetivos, el desempeño y la calidad del proyecto.

Este estudio demuestra que la implementación de modelaciones BIM constituyen una alternativa de valor, con una gran potencialidad, con posibilidades de crecer en alcance y en el uso con la combinación y complementación con otras herramientas, o la aplicación de simulaciones probabilísticas, entre otras alternativas. Esto se traduce en una potencialidad enorme, muy prometedora, y difícil de estimar.

Es importante destacar que el proyecto actualmente se encuentra con un avance del 47% pero paralizado por razones de falta de disponibilidad de fondos por parte del cliente. Esta

situación no fue impedimento para la realización de la investigación y el logro de casi todos los objetivos, pero ha retrasado la validación en obra de los resultados previstos.

5. Referencias

- BIM Forum Argentina, (2017. Noviembre). Estándares Argentina Versión 1.0. Obtenido en <http://www.bimforum.org.ar/documentos/2>
- British Standards Institution, (2013). PAS 1192-2: Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling. Obtenido https://issuu.com/constructionalliance/docs/bsi_pas_2013_1
- Building Smart Spanish Chapter, (2014). Guía de usuarios BIM Documento 1 Parte General. Obtenido en [https:// www.buildingsmart.es/bim/guías-ubim/](https://www.buildingsmart.es/bim/guías-ubim/)
- Juran, J., & Godfrey B., (2001). *Manual de Calidad*. 5ta Edición Madrid. España
- Kerzner, H., (2009). *Project Management a Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (10° ed). United States
- Lavalle, G., Gadze, J., & Wehbe R., (2006). *Fundamentos de la dirección de proyectos*, (1° ed.). Buenos Aires.
- Project Management Institute, (2017). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge PMBOK®* (6° ed.). Pensilvania, Project Management Institute.
- Serpell Bley, A., (2004). *Administración de Operaciones de Construcción*. (2° ed.). Santiago de Chile. Chile
- Villar, S. G., & Dzul López, L. A., (2007). Modelo PEF de costes de la calidad como herramienta de gestión en empresas constructoras: una visión actual. *Revista Ingeniería de Construcción Vol. 22, No1*, 43-56. Obtenido en www.ing.puc.cl/ric

