

## EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE MODELACIÓN Y COORDINACIÓN BIM EN PROYECTOS DE EDIFICACIÓN DE MEDIANA ENVERGADURA: UN CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO: Diciembre 2018  
REVISADO: Enero 2019  
PUBLICADO: Marzo 2019  
EDITORES: Francisco Villena y Carlos Lucena

*Vicente Alfredo Molina Pacheco*  
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.  
Email: [vicente.molina.p@mail.pucv.cl](mailto:vicente.molina.p@mail.pucv.cl)

*Rodrigo Fernando Herrera*  
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.  
Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.  
Universitat Politècnica de València, España.  
Email: [rodrigo.herrera@pucv.cl](mailto:rodrigo.herrera@pucv.cl)

*Felipe Cristóbal Muñoz La Rivera*  
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.  
Email: [felipe.munoz@pucv.cl](mailto:felipe.munoz@pucv.cl)

*Guillermo Cristóbal Cazaux Miranda*  
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.  
Email: [gcazaux@cygingeneria.cl](mailto:gcazaux@cygingeneria.cl)

### EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE MODELACIÓN Y COORDINACIÓN BIM EN PROYECTOS DE EDIFICACIÓN DE MEDIANA ENVERGADURA: UN CASO DE ESTUDIO

**Objetivo:** Proponer y posteriormente analizar métricas que permitan medir el impacto económico de la metodología BIM en un proyecto de edificación de mediana envergadura.

**Metodología:** Se realiza un análisis retrospectivo, donde se proponen balances monetarios entre los errores que se pudieron evitar al utilizar la metodología BIM y los costos asociados a su implementación, tanto en fases tempranas de la etapa diseño como posterior a la generación de la documentación CAD.

**Resultados:** La implementación de la metodología tanto en fases tempranas de la etapa de diseño como posterior al diseño por medio de la metodología tradicional tiene bajo impacto en los costos asociados al diseño y ejecución del caso de estudio. Además, se reportan disminución de tiempos y aumento de la calidad de la información en la etapa de diseño.

**Limitaciones:** Las métricas propuestas no incluyen el efecto de los cambios en los procesos, políticas y protocolos requeridos en la implementación de la metodología BIM en un proyecto u organización.

**Originalidad:** Enfoca el estudio de los efectos de la metodología BIM en pequeñas y medianas empresas de la industria de la AIC.

**Palabras clave:** Building information modeling, CAD, implementación BIM, Industria de la AIC.

**Derechos de autor:** Los autores conservan los derechos de autor de sus obras. Los artículos están licenciados bajo la licencia BY-NC-ND (Creative Commons Attribution 4.0 International Public License), que otorga derechos de acceso abierto a la sociedad. Específicamente, con la licencia BY-NC-ND no se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas.

### **TECHNICAL-ECONOMIC EVALUATION OF BIM MODELING AND COORDINATION IN MEDIUM-SIZED BUILDING PROJECTS: A CASE STUDY**

**Purpose:** To propose and subsequently analyze metrics that allow the economic impact of the BIM methodology to be measured in a medium-size building project.

**Methodology:** A retrospective analysis is carried out, where monetary balances are proposed between the errors that could have been avoided by using the BIM methodology and the costs associated with its implementation, both in the early phases of the design stage and after the generation of CAD documentation.

**Findings:** The implementation of the methodology both in the early stages of the design phase and after the design through the traditional methodology has a low impact on the costs associated with the design and execution of the case study. In addition, decrease in time and increase in the quality of the information in the design stage are reported.

**Research limitations:** The proposed metrics do not include the effect of changes in processes, policies and protocols required in the implementation of the BIM methodology in a project or organization.

**Originally:** Focuses on the study of the effects of the BIM methodology on small and medium enterprises in the AEC industry.

**Keywords:** Building information modeling, CAD, BIM implementation, AIC industry.

**Copyright:** © 2018 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## **1. INTRODUCCIÓN**

BIM es un acrónimo usado tanto para el concepto Building Information Model, referido a la representación digital del producto de construcción o infraestructura basada en objetos con características físicas tridimensionales e información paramétrica (Picó, 2008), como también para Building Information Modeling, usado para describir los procesos y protocolos de trabajo colaborativo de todos los agentes

interesados a lo largo del ciclo de vida del proyecto de construcción (conceptualización, diseño, construcción, operación y mantenimiento), de la mano de las tecnologías de información (TI) (Eastman, Teicholz, Sacks, & Liston, 2011). Por lo tanto, el modelo BIM está incluido implícitamente dentro de la metodología BIM (BIM Forum Chile & Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2017).

La implementación de BIM representa grandes desafíos en cuanto a la forma de cómo se estructuran y desarrollan los proyectos de construcción, requiriéndose un esfuerzo superior al tradicional en las fases iniciales de proyección, dado que se deben realizar una mayor cantidad de decisiones, teniendo que incluir en ellas a los distintos stakeholders involucrados en el ciclo de vida del proyecto (mandante, diseñadores, ingenieros, constructora, inmobiliaria, subcontratistas, facilities manager, etc.)(Young Jr., Jones, & Bernstein, 2007).

Una vez implementada la metodología BIM se obtienen beneficios en la gestión del cronograma, costos, materiales e información dentro del ciclo de vida del proyecto. Con los modelos tridimensionales es posible detectar colisiones entre especialidades, disminuyendo los errores de diseño que se traducen en disminución de pérdidas de materiales y malgasto de mano de obra. Además, al vincular la información 3D del modelo con la cuarta y la quinta dimensión (cronograma y costo respectivamente) se pueden detectar interferencias espacio-temporales, visualizar situaciones de riesgo, rastrear y controlar recursos para asegurar que sean aplicados efectivamente, logrando de esta forma una logística racional y un proceso de construcción más eficiente (Saldías, 2010).

Por su parte, la metodología tradicional se enfoca en el proyecto de una manera unitaria en principio, pero de una manera completamente desconectada en cuanto a procesos, organización y manejo de la información (Alcántara, 2013). Más aun, dada la creciente diversificación de componentes de edificaciones, los proyectos cada vez resultan más complejos, y como consecuencia, la infinidad de detalles y la gran cantidad de información generada en el diseño no suele quedar plasmada completamente en la documentación 2D no integrada, lo que conlleva a la adopción de soluciones en la etapa de construcción donde los cambios son sumamente costosos (Sanguinetti et al., 2012). La metodología BIM fomenta la toma de decisiones en las etapas tempranas del proyecto, donde los costos por cambios en el diseño son menores (Bryde, Broquetas, & Volm, 2013; Young Jr. et al., 2007).

### 1.1. ESTADO DEL ARTE

Building Information Modeling (BIM) es un nuevo enfoque de la gestión del diseño, construcción, operación y mantenimiento de una obra de ingeniería, abarcando ampliamente una serie de tecnologías, herramientas, procesos y protocolos que están transformando la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción (AIC) (Choclán, Soler, & González, 2015). En esencia, esta metodología usa bases de datos de información centralizada para caracterizar potencialmente todos los aspectos relevantes de una estructura o instalación, lo que con apoyo de plataformas

tecnológicas promueve la integración de los involucrados del proyecto en un entorno simultáneo, sinérgico y colaborativo (Ashcraft, 2008).

En esta metodología, la representación digital de la estructura puede ser vista, testeada, diseñada, construida y deconstruida virtualmente. Esto fomenta la optimización interactiva del diseño, permitiendo, además, ensayar la construcción antes de que algún material, maquinaria o trabajador esté en terreno (Encalada, 2016). Esto difiere de la modelación tradicional CAD (Computer Aided Design), dado que el modelo BIM no es solo una representación gráfica del proyecto sino más bien una representación digital multidimensional conformada por objetos inteligentes y donde la representación gráfica es un producto derivado del modelo.

Por otra parte, la implementación de los protocolos, procesos y tecnologías que componen el BIM generan cambios profundos en la metodología tradicional de trabajo de la industria de la AIC en las etapas de conceptualización, diseño y documentación, dado que se requiere un intenso flujo de trabajo inicial (Figura 1) incorporando tempranamente a gran parte de los actores que se verán involucrados durante el desarrollo del proyecto, con el fin de establecer de manera concreta el alcance de lo proyectado, y junto a ello, los requerimientos y restricciones que dicho alcance genera en las distintas disciplinas que convoca cada proyecto (Oussouboure & Delgado, 2017). Un ejemplo claro de esto es el "Plan de ejecución BIM" (BEP, por sus siglas en inglés), el cual provee información contractual complementaria, formalizada y descriptiva para precisar cómo se aplicará el BIM durante el proyecto. Permite asegurar que todas las partes entienden las responsabilidades asociadas con la incorporación de BIM al flujo de trabajo (Ciribini, Mastrolembo Ventura, & Paneroni, 2016).

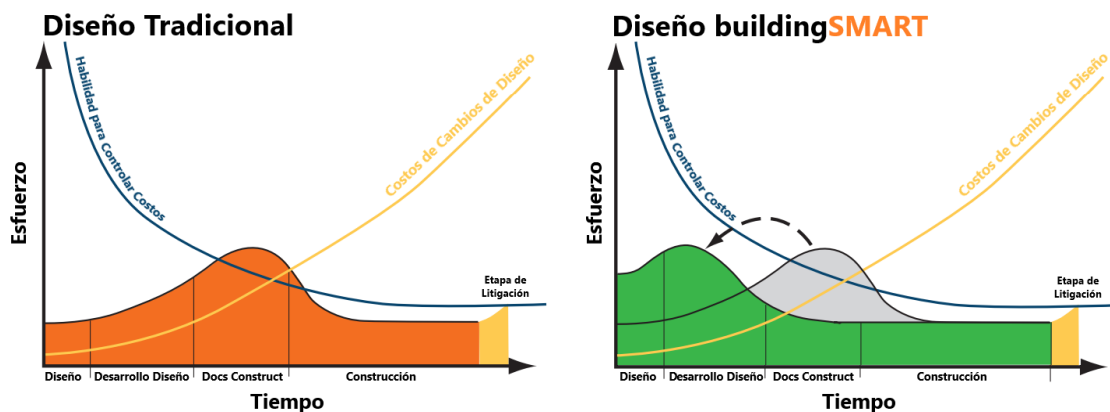


Figura 1. "La toma de decisiones anticipada mejora la capacidad de controlar los costes", traducido al español.

Fuente: (Young Jr. et al., 2007).

Además de contener información gráfica y paramétrica de los elementos virtuales que componen la edificación, el modelo BIM contiene información acerca de cómo estos elementos se relacionan con los demás, lo que se conoce por bidireccionalidad asociativa (González, 2014). Esta arquitectura paramétrica permite al modelo

ajustarse a cambios en el diseño sin tener que ajustar individualmente cada elemento (Pacheco, 2017). Inclusive, sin ninguna otra intervención, los cronogramas, tablas de cuantías, y otros datos relacionados reflejaran la información actualizada (Salazar, 2017). Esto incrementa la eficiencia en el diseño y hace virtualmente imposible que los planos y cuantificaciones estén internamente inconsistentes, reduciendo considerablemente potenciales errores humanos en la documentación, lo que genera grandes ahorros de tiempo y dinero, tanto en el proceso de diseño como su posterior ejecución (Murcio, 2013).

A pesar de las ventajas intrínsecas de los modelos BIM, su implementación en la industria de la construcción hoy en día se basa principalmente en una utilización parcial de los modelos, sin conocer los usos y beneficios más allá de la integración, coordinación y planificación de proyectos. La rápida producción de información libre inconsistencias y visualmente atractiva para las etapas de diseño y construcción, junto con la coordinación de especialidades previo al inicio de actividades de obra son los usos más frecuentes, seguido de las estimaciones de cuantías y programas de obra. Sin embargo, estas metodologías aún tienen mucho potencial por desarrollar, sobre todo para etapas post-construcción, tales como la administración de la infraestructura, administración de los activos, simulaciones de emergencia, monitoreo de funcionamiento, entre otros (Eastman et al., 2011), los cuales del punto de vista del mandante, tienen la capacidad de generar un gran impacto con respecto al costo total del proyecto a lo largo del ciclo de vida del mismo.

A continuación, se describen conceptos fundamentales para comprender los alcances, requerimientos, componentes, características y limitaciones del modelado de la información de la construcción por medio de la definición del concepto LOD, coordinación BIM y contexto nacional chileno en el cual se encuentra la industria de la AIC.

## 1.2. NIVEL DE DESARROLLO (LOD)

El concepto LOD tiene varias interpretaciones que dependen del estándar al cual se haga referencia para su interpretación (BIM Forum Chile & Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2017). Según el AIA (American Institute of Architects), el nivel de desarrollo o LOD (Level Of Development) es una forma de identificar los requisitos mínimos y de usos específicos asociados a cada elemento del modelo en seis niveles, los cuales incluyen la definición tanto de los aspectos gráficos como de la información no gráfica asociada al objeto (American Institute of Architects, 2013; BIM Forum Chile & Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2017). Básicamente, el LOD 100 permite representar simbólica o genéricamente el elemento con el fin de mostrar su existencia; el LOD 200 se alcanza al representar de manera aproximada la cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación del elemento; en el LOD 300 dicha información debe ser específica además de corresponderse con la información no gráfica del elemento, y en el LOD 350 se requiere añadir partes de conexión y soporte del elementos; el LOD 400 añade además detalles de fabricación, montaje e instalación del elemento; y finalmente el LOD 500 es una representación fiel del

elemento de construcción ya ejecutado en obra. En la Tabla 1 se presenta la representación de un elevador con los diferentes niveles de desarrollo.




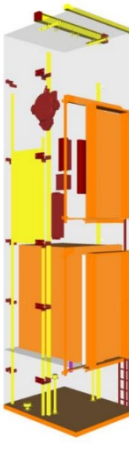
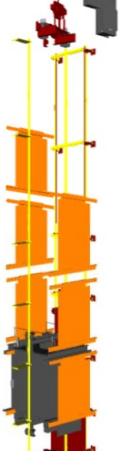
LOD 100	LOD 200	LOD 300	LOD 350	LOD 400
				

Tabla 1. Niveles de desarrollo BIM.  
Referencia: Elaboración propia con imágenes de (BIMForum, 2018)

En conclusión, estos niveles de detalle abarcan desde la etapa de conceptualización (LOD 100) del proyecto hasta la entrega del mismo (modelo as-built) y su posterior operación y mantenimiento (Latiffi, Brahim, Mohd, & Fathi, 2015).

### 1.3. COORDINACIÓN

Para optimizar la gestión de la gran cantidad de información que se genera a lo largo de la etapa de diseño, es necesario realizar la coordinación de las distintas disciplinas que componen un proyecto. En la metodología tradicional, esto generalmente es realizado por la oficina de arquitectura una vez terminados los diseños de cada especialidad, o de no ser así, se realiza la coordinación de arquitectura con estructura en terreno y la coordinación de especialidades es delegada a un contratista general o una empresa independiente (Saldias, 2010); y en ambos casos se utiliza para esta actividad la documentación bidimensional asociada. Esto cambia al implementar la metodología BIM, dado que el coordinador BIM es el encargado de llevar a cabo la revisión de las distintas interferencias por medio de pruebas de interferencias geométricas entre pares de especialidades, y, además, navegando dentro del modelo integrado para verificar la calidad de lo proyectado (Isikdag, Zlatanova, & Underwood, 2013).

Dentro de las diferentes tipologías de interferencias posibles de encontrar en el proceso de coordinación, varios autores (Korman, Fischer, & Tatum, 2003; Seo, Lee, Kim, & Kim, 2012) han categorizado las interferencias bajo criterios, los cuales se pueden resumir en tres grandes grupos presentados en la Tabla 2.

<b>I. DURA</b>	<b>I. BLANDA</b>	<b>I. ESPACIOTEMPORAL</b>
<p>Caracterizada por ser de índole geométrico, donde dos o más elementos pertenecientes a distintas disciplinas se superponen espacialmente en algún grado. Dentro de ellas, en el proceso de coordinación, se puede distinguir interferencias reales y no reales, donde esta última corresponde a un elemento que debe lógicamente contener otro o coincidir con otro.</p>	<p>Comprenden las interferencias de extensión, referida a tolerancias mínimas para cierto elemento; interferencias funcionales, referida a la interrupción parcial o total de la función que desempeña el componente por si solo o del sistema al cual forma parte; e interferencias futuras, relacionadas con objetos que obstruyen tareas de operación y mantenimiento rutinarias o no permiten futuras expansiones.</p>	<p>Hace referencia a las interferencias interdisciplinarias que ocurren producto de una secuencia constructiva inconsistente, con actividades superpuestas o en orden ilógico, inhabilitando la realización de actividades o reduciendo el rendimiento de las cuadrillas de trabajo, afectando el desarrollo de la ejecución de la construcción.</p>

Tabla 2. Tipos de interferencias del proceso de coordinación con modelos BIM.

#### 1.4. CONTEXTO DE CHILE

En Chile, la industria de la construcción contribuye aproximadamente con el 5,89% del Producto Interno Bruto, correspondiente a \$ 2.756 miles de millones de pesos en el primer trimestre del 2018 (Banco Central, 2018), y representa el 8.5% de la fuerza laboral activa en el territorio nacional (Instituto Nacional de Estadísticas, 2018) por lo que se le relaciona fuertemente al crecimiento y desarrollo de la economía nacional. No obstante, a pesar de la considerable influencia que representa, la productividad del sector históricamente se ha mantenido constante, en contraste con las demás actividades económicas que continuamente incrementan sus niveles productivos. Cabe destacar que esto no es un problema nivel país, sino más bien un problema a nivel de industria, como se muestra en la Figura 2.



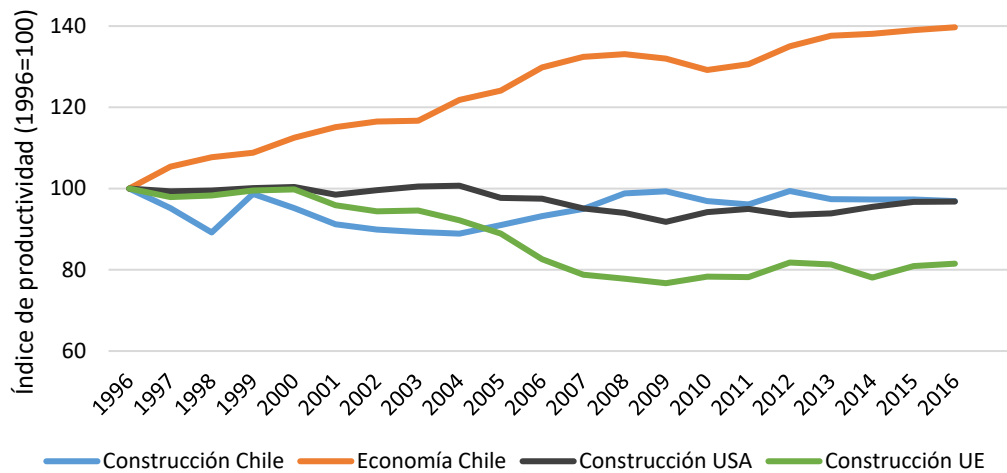


Figura 2. Productividad laboral media en la construcción.  
Referencia: Elaboración propia con datos OCDE al año 2016.

Esto resulta preocupante si se contrasta con la gran cantidad de inversión que recibe la industria anualmente, donde aproximadamente un tercio de los recursos invertidos en la construcción se pierden, y específicamente en el sector público la baja predictibilidad de costos y plazos provoca que más del 90% de los contratos se modifiquen y 30% de los proyectos terminen con retrasos, añadido a los tiempos excesivos para la tramitación de permisos de construcción. Esto se puede explicar debido a factores como la baja capacitación que reciben los trabajadores del sector, el bajo uso de componentes prefabricados, fragmentación entre etapas y actores críticos a lo largo de la cadena de valor de un proyecto, y la baja adopción de métodos avanzados de gestión de información (Planbim, 2017).

En relación al situación nacional actual, se tiene que hasta el 2016, aproximadamente la mitad de los integrantes de la industria de la AIC declaran ser usuarios de BIM, de los cuales tan solo la mitad son usuarios regulares (Loyola, 2016). Esta brecha se acrecienta aún más al evaluar individualmente al sector de ingeniería o construcción, lo que sumado a la actual falta de un estándar nacional de esta metodología y a factores socioculturales propios de la industria, ha ocasionado una marcada resiliencia en cuanto a la adopción de nuevas formas de trabajo, principalmente por desconocimiento de los beneficios que conlleva la implementación BIM.

Adicionalmente, considerando que el 73% de las empresas que prestan servicios a entidades públicas, se caracterizan por tener menos de 10 trabajadores y facturar no más de \$1.000.000 USD al año, la existencia de un marcado déficit de información en cuanto al impacto técnico y económico del modelado y coordinado BIM en proyectos de media o baja envergadura y la baja experiencia de las entidades del sector, junto con la falta de estudios asociados a la implementación de esta tecnología en este tipo de edificaciones retrasa la adopción generalizada de esta práctica por la



industria de la AIC, coartando el estudio y desarrollo de tecnologías y procesos a las grandes edificaciones, las cuales en cantidad son minoría (Briones, 2018).

El objetivo de este trabajo es evaluar técnica y económicamente la modelación BIM al ser incorporada en proyectos de edificación de mediana envergadura, en etapas tempranas de diseño. Al desarrollar los proyectos de arquitectura, estructura y especialidades mecánicas, eléctrica y de plomería (MEP) de un edificio habitacional en un software BIM, se busca detectar errores por cruces de especialidades que en la etapa de ejecución generaron algún nivel de sobre costo, además de estimar el valor de las actividades de implementación BIM, consultando a expertos que trabajan actualmente con esta metodología. Con lo anterior, realizar un balance entre los costos reales generados por los proyectos de diseño (utilizando la metodología tradicional de diseño), y los costos que se hubieran obtenido al implementar la modelación BIM.

## 2. METODOLOGIA

Para el presente trabajo, se realizó un análisis retrospectivo de un proyecto de edificación de mediana envergadura, considerando a estos como proyectos con superficie edificada menor a 5.000 m<sup>2</sup>, el cual se realizó en base a la metodología tradicional. Del caso de estudio, se tienen los planos de los proyectos de arquitectura, estructuras, ingeniería eléctrica y sanitaria (agua potable caliente y fría, alcantarillado, red húmeda y red seca), los cuales se generaron previo al comienzo de la ejecución de la obra. Además, se tiene registro de parte de las obras extraordinarias (OO.EE.) que se generaron durante la ejecución del edificio.

A partir de la documentación CAD del caso de estudio, se realizó el levantamiento de los modelos BIM de arquitectura, estructura y especialidades, utilizando el software Revit de Autodesk. Cada modelo se generó con un LOD 300 pudiendo llegar a LOD 350, aunque esto dependió de las especialidades y la calidad de información recibida, dado que se buscó producir representaciones específicas en cuanto a cantidades, dimensiones, forma y ubicación donde no fue imperante incorporar detalles de conexiones y soportes de los objetos de cada modelo.

Con la totalidad de las especialidades modeladas se realizan actividades de coordinación donde se busca verificar si los fallos documentados del proyecto pudieron ser resueltos de manera temprana utilizando la metodología BIM.

En base a datos estadísticos actualizados (estándar actual del mercado chileno) y a juicio de expertos de 24 oficinas proyectistas chilenas (arquitectura, cálculo estructural, ingeniería eléctrica y sanitaria) que realizan actividades de diseño, modelación y coordinación BIM, las cuales fueron consultadas por medio de encuestas y entrevistas presenciales y no presenciales, se propone la valorización del costo de dichas actividades en el proyecto, junto con las horas hombre (HH) que el autor utilizó para estos fines. Esto último permite evaluar el impacto económico que tiene la incorporación de esta metodología en un proyecto ya diseñado de la forma tradicional.

Por lo tanto, el balance monetario de la implementación de la modelación BIM ( $B_1$ ), definido en la Ecuación 1, cuantifica la diferencia entre, el costo asociado a toda actividad extraordinaria generada producto de fallos que se pueden evitar implementando BIM ( $\Delta 00.EE.$ ), y el costo adicional directo que implica dicha implementación en un proyecto a partir de la documentación CAD, teniéndose la modelación (M) y coordinación (COO) BIM como las principales actividades a considerar. Dicho esto,  $B_1$  tiene valor positivo cuando las actividades de modelación y coordinación BIM generan un ahorro en cuanto a los errores de diseño que impactan en la etapa de ejecución.

$B_1 = \sum \Delta 00.EE. - COO - M$	(1)
--------------------------------------	-----

No obstante, para apreciar el impacto generado, mirado desde un punto de vista global, la Ecuación 2 muestra la influencia porcentual de la implementación BIM posterior al diseño tradicional ( $I_{\$1}$ ) con respecto al costo del diseño y la construcción (CTP) del proyecto en cuestión.

$I_{\$1} = \frac{B_1}{CTP} \cdot 100\%$	(2)
---	-----

Sin embargo, el modelado BIM posterior al diseño con la metodología tradicional es una forma poco eficaz de explotar los beneficios que entrega esta metodología. Por ello, de forma similar a lo antes expuesto, y junto con la información de las HH del levantamiento del modelo virtual, apoyado en juicio de expertos y precios actuales del mercado, se propone una estimación del costo de los proyectos de arquitectura, estructura y MEP generados desde un comienzo en la plataforma BIM. Luego, con lo anterior es posible evaluar el impacto económico que tiene el diseño de proyectos de edificación utilizando la metodología BIM, y su posterior coordinación.

En la Ecuación 3, el balance monetario del diseño en BIM ( $B_2$ ), implementándolo desde la concepción del proyecto, contrapone el gasto generado producto de errores evitables en la metodología tradicional ( $\Delta 00.EE.$ ) con el costo del diseño, coordinación (COO) y posterior documentación en BIM. De lo anterior, se toma en cuenta la variación del costo que supone el reemplazo del diseño y documentación de la metodología CAD (DT), por el diseño con la metodología BIM (DBIM). En consecuencia,  $B_2$  será negativo cuando el ahorro asociado a los errores de la metodología tradicional no superen a los costos del diseño en BIM desde etapas iniciales de diseño. En este punto es necesario recalcar que, si bien la cuantificación propuesta de la variación que se produce al implementar BIM es poco refinada, entrega un orden de magnitud considerable para la evaluación del impacto que esta genera, haciendo énfasis principalmente en los efectos de la modelación más que en variables relacionadas con cambios de protocolos, procesos y políticas que afectan al desarrollo y ejecución del proyecto.

$B_2 = \sum \Delta 00. EE. - (DBIM - DT) - COO$	(3)
---	-----

Sin embargo, la variación cuantificada debe ser contrastada con el costo de diseño y ejecución original del proyecto (CTP) por lo que, con la Ecuación 4 se calcula el impacto porcentual de BIM implementado desde un inicio ( $I_{\$2}$ ), referido al gasto global que requiere el proyecto de mediana envergadura estudiado.

$I_{\$2} = \frac{B_2}{CTP} \cdot 100\%$	(4)
---	-----

En cuanto a las variables temporales que son incluidas en la presente metodología están los tiempos utilizados para la generación de los proyectos de arquitectura, estructura y especialidades por medio de la metodología 2D tradicional, el tiempo requerido para el levantamiento del modelo BIM y su posterior coordinación. Dada la acotada información temporal obtenida acerca de la etapa de ejecución del caso de estudio se analizarán solo las variables de las etapas de diseño de la edificación de forma particular.

### 3. DESARROLLO

#### 3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El caso de estudio utilizado fue un edificio habitacional ubicado en la ciudad de Angol de la Región de la Araucanía de Chile, el cual consta de seis pisos destinados a vivienda y un piso subterráneo destinado a estacionamientos y bodegas. El edificio considera 29 departamentos de entre 79 y 88 m<sup>2</sup> con dos o tres dormitorios y dos baños cada uno, además de 21 estacionamientos. También, el proyecto incluye el sistema de red húmeda y red seca, obras de agua potable, alcantarillado, aguas lluvias e instalaciones eléctricas, además de escaleras y un ascensor.

Además, como antecedente se tiene que la aprobación del permiso de edificación, por parte de la dirección de obras municipales, fue realizado el día 23 de mayo de 2017 con un presupuesto de \$650.585.467 (\$1.015.922,3 USD) y con una superficie edificada de 3.507,28m<sup>2</sup> compuesta por 3.338,12m<sup>2</sup> de superficie útil y 169,16m<sup>2</sup> de superficie de uso común, dentro del terreno de aproximadamente 1035m<sup>2</sup>.

De los antecedentes recibidos por parte de la inmobiliaria, se tiene que el costo total inicial del diseño del edificio fue de aproximadamente de \$158.971 USD (DT), monto referido a los proyectos de arquitectura, cálculo estructural, ingeniería eléctrica e ingeniería sanitaria, considerando en este último los proyectos de agua potable, alcantarillado, aguas lluvias, red húmeda y red seca, todos ellos documentados en planos CAD. Cabe destacar que, en la etapa de diseño de este edificio, si se realizó una coordinación de los distintos proyectos generados, tarea que fue llevada a cabo por la oficina de arquitectura, la cual está dentro de las labores asignadas por proyecto, por lo que la actividad de coordinación no tiene costo directo asociado. En la Tabla 3 se presenta el detalle de los valores considerados en la etapa de diseño.

Proyecto	Costo (USD)
Arquitectura	140,479,1
Estructural	12.568,5
Sanitario	2.879,7
Eléctrico	3.039,9
Total (DT)	158.971,3

Tabla 3. Resumen de costos de la etapa de diseño.

La fase constructiva del proyecto comenzó en los primeros días de abril del 2017 y se sabe que al mes de julio del año 2018 la construcción del inmueble ha generado un costo asociado aproximado de \$1.240.000 USD (incluyendo obras adicionales realizadas), con un total de 16 meses de construcción y un avance del 95% de la obra gruesa.

### 3.2. RESULTADOS

De la información recibida y generada, en la Tabla 4 se presentan los precios totales netos obtenidos aproximados para el caso de estudio, calculados según la superficie construida proyectada, y los tiempos, en días hábiles (DH) de nueve horas, a partir de la modelación del edificio ejecutada por el autor.

Proyecto	Costo (USD)	Tiempo (DH)
Arquitectura	3.696,8	1,6
Estructural	1.700,5	1,6
Sanitario	1.478,7	3,1
Eléctrico	1.626,6	1,1
Total (M)	8.502,7	7,4

Tabla 4. Costo y plazos para el levantamiento de modelos BIM desde documentación CAD.

Adicionalmente, se tiene que el proceso de coordinación representa un costo aproximado de \$3.105,3 USD (C00), lo cual requiere un plazo de al menos 35 DH, pudiendo llegar a los 60 DH dependiendo del tipo y cantidad de interferencias encontradas (según la experiencia de algunos expertos consultados). Es importante mencionar que los valores anteriores corresponden a la modelación de las distintas especialidades componentes del proyecto, con foco principal en la geometría de los elementos (LOD 300) con fines de coordinación, tanto para hallar interferencias duras como interferencias blandas, y no así para usos de cálculo.

De la documentación recopilada del caso de estudio, se pudieron identificar diversos tipos de errores que afectaron en diferente grado al correcto desarrollo del proyecto

de edificación. A continuación, se presentan dichos errores ordenados según la influencia que tiene la metodología tradicional de diseño en su ocurrencia.

- En el límite exterior del edificio, un machón que va desde la planta baja al quinto piso se construyó como un elemento estructural, usando como referencia los planos de arquitectura. Esto es notado una vez terminado el tercer piso de la obra gruesa, y como consecuencia, se debió retirar dichos elementos estructurales y en su lugar utilizar hormigo celular, dado que no resistían con la armadura suministrada.
- Además, según el artículo segundo de la norma sobre eliminación de basuras en edificios elevados (4 o más pisos) "*los ductos en cada piso no deberán estar a la vista en los pasillos de distribución, sino en closets con puerta provista de mecanismo de cierre*" (Congreso nacional de Chile, 1976), lo cual no se habría cumplido en la planta baja del edificio dado que la arquitectura no lo consideró desde un principio. Dado lo anterior se propuso la solución de abrir un vano para añadir el correspondiente closet, teniendo que, a su vez realizar una revisión de cálculo estructural. Un punto importante para destacar es que ni el revisor externo ni el ayuntamiento se percataron de la falta. Debido a que ambos casos fueron encontrados en un lapso cercano, se realizaron ambas correcciones estructurales, junto a la respectiva generación de la nueva documentación CAD.
- Desde la primera entrega del proyecto de arquitectura, donde se ubicaba el estaque de agua potable en la porción central del subterráneo del edificio, contiguo a la sala de basuras, se consideró una separación entre ellas de un muro de tabiquería, por lo que no se consideró en el proyecto estructural, siendo que el muro debía ser parte de la obra gruesa del edificio, teniendo que realizar una modificación de la estructuración por parte de la oficina de cálculo. A pesar de que lo anterior se solucionó en la etapa movimiento de tierras, esta situación tuvo un costo asociado directo de modificación estructural sin contar la pérdida de tipo temporal de los profesionales en obra.

Al valorizar estas pérdidas durante el diseño y ejecución de la obra ( $\Delta 00.EE.$ ), se puede estimar que el costo generado alcanza las 4.863,8 USD. Con ello, se establece que el balance económico del levantamiento del proyecto en BIM ( $B_1$ ) es negativo, con un valor de -\$6.744,6 USD de gasto adicional para las condiciones de proyecto y estimaciones realizadas.

Luego, de acuerdo con el presupuesto inicial y los costos con respecto a los proyectos generados, se tiene que el costo total original de diseño y ejecución (CPT) del proyecto es de \$1.189.933 USD, por lo que se establece que el impacto porcentual ( $I_{\%1}$ ) es de -0,57%. Por otra parte, con el propósito de estudiar el impacto que tiene la implementación temprana de la metodología BIM, en base a juicio de expertos se reunió los valores que se manejan en el mercado acerca del diseño BIM desde la

etapa de prefactibilidad del proyecto, lo que se muestra en la Tabla 5, manteniendo como referencia el costo asociado a la coordinación de proyectos (C00) de \$3.105,3 USD para las condiciones de proyecto.

Proyecto	Costo (USD)
Arquitectura	140.479,8
Estructural	16.266,1
Sanitario	3.744,1
Eléctrico	3.192,3
Total (DBIM)	163.682,3

Tabla 5. Resumen de costos de la etapa de diseño en BIM.

Con lo anterior, se obtiene el balance monetario de la implementación del diseño en BIM ( $B_2$ ) desde etapas tempranas de proyecto equivalente a  $-\$2.954,5$  USD. Luego, el impacto porcentual generado por la implementación BIM en etapas iniciales de diseño ( $I_{\$2}$ ) es igual a  $-0.25\%$  del costo total de ejecución presupuestado para el caso de estudio.

Además de lo expuesto, existen otro tipo de antecedentes, que, si bien no son cuantificables, son relevantes a la hora de ampliar el espectro de variables a considerar. Es el caso que se dio tres meses antes de iniciar la fase de ejecución de la construcción, en la que el diseño y documentación de las distintas especialidades estaban en fases avanzadas y que habían tomado en cuenta la restricción espacial de un extremo del terreno, el cual era ocupado por una especie arbórea protegida por el SAG (Servicio Agrícola y Ganadero). Entonces, el mandate decide generar el plan de manejo respectivo para retirar dicha especie y aumentar la capacidad de estacionamientos del edificio, tanto en el nivel subterráneo como a nivel de terreno.

Acto seguido, se realizan las modificaciones en los proyectos de arquitectura y calculo estructural, sin embargo, los proyectos tanto sanitario como eléctrico nunca recibieron modificaciones

### 3.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En un primer acercamiento, es claro que, dada las métricas establecidas, la implementación de la metodología BIM en un proyecto de mediana envergadura de estas características representa una operación con efectos negativos en los costos globales del proyecto, independientemente si se implementa la metodología BIM desde un inicio o se realiza el levantamiento de modelos a partir de la documentación bidimensional, donde este último supone un mayor perjuicio económico. Esto se ve influenciado principalmente debido a que la tarea de modelar los proyectos posterior a la entrega de la documentación bidimensional representa un costo adicional

completamente aparte de los costos propios de la etapa de diseño, conformando lo que en la filosofía de trabajo Lean se define como pérdidas por sobre procesamiento, producto de que la generación de los planos en formato CAD dentro de la etapa de diseño califica como un trabajo no contributivo, es decir, no agrega valor al proceso mismo de diseño.

Para los casos donde se construyen elementos estructurales que no están originalmente propuestos en el diseño estructural, factores como canales de información escasamente definidos en las políticas contractuales que rigen los proyectos, sumado a una pobre gestión de la información son preponderantes a la hora de medir su ocurrencia. En cuanto a ello, la implementación temprana de la metodología BIM, la cual requiere un BEP, puede condicionar a que en la etapa de ejecución no se generen fallos de este estilo o si se generan se puedan resolver de manera diligente.

En cuanto al proceso de revisión a los que se ven afectados los proyectos, con fines de cumplimiento de contrato y permisos, ser realizados utilizando modelos virtuales supone una disminución de errores humanos dado que la tarea es más interactiva al poder navegar dentro del modelo observando formas, colores y texturas, en contraposición a revisar planos y detallamiento de dibujos bidimensionales.

Adicionalmente, dentro de los factores más influyentes en la inapropiada definición de elementos proyectados necesarios para el soporte o aislamiento de las distintas instalaciones MEP (o partes de ellas), está la falta de coordinación e interacción de los involucrados desde fases tempranas del proyecto, quienes aterrizan y acotan el proyecto (y sus componentes) a la realidad.

Como es posible correctivas que son requeridas para aumentar su productividad.

Por otra parte, se debe señalar que la finalidad última de la industria de la AIC en el sector privado es generar el mayor beneficio (utilidad) posible para la inversión del mandante. En este contexto, y según lo comentado por varios profesionales, la definición de la arquitectura del inmueble se vuelve más un ejercicio financiero que un proceso creativo donde, si bien la estética es un punto importante para considerar, no es el principal. Esta es una de las razones principales por lo que los cambios realizados a proyectos bien definidos es una situación recurrente en la industria, donde el mandante privado ve una oportunidad de ampliar la utilidad esperada o equilibrar los sobrecostos generados por fallos en la ejecución del proyecto. En el caso particular del caso de estudio, algo semejante ocurrió producto del emplazamiento un proyecto vial importante en las cercanías del inmueble, lo que incentivó a la inmobiliaria a decidir ampliar la superficie efectiva a construir, pero además cambiar el enfoque de venta, orientándolo a un grupo socioeconómico más elevado, al realizar cambios estéticos en las terminaciones de la arquitectura proyectada.

En cuanto a los tiempos medidos y señalados por expertos en modelación BIM, existe una clara ventaja en cuanto a la calidad del entregable y los tiempos de producción de información utilizando las herramientas de modelado BIM. Adicionalmente, si bien



el levantamiento de los modelos BIM desde CAD representa un costo temporal adicional, para el caso de estudio, el impacto que genera esta diferencia se ve difuminada ante el hecho de que, en la etapa de ejecución de la construcción, solo las actividades de obra gruesa han demorado aproximadamente 16 meses, lo que contrasta de sobremanera con los plazos que regularmente se obtienen en la industria chilena los cuales se aproximan a 20 meses para el término global de la construcción, para esta tipología de edificios (Camara Chilena de la Construcción, 2017).

Finalmente, es correcto afirmar que el modelo de producto de la metodología BIM por sí mismo no genera un beneficio significativo en el desarrollo de un proyecto, lo que concuerda con las métricas analizadas, dado que el impacto generado al costo del proyecto es prácticamente nulo.

#### 4. CONCLUSIONES

A partir de la información obtenida y según las métricas analizadas, se afirma que el impacto que produce la implementación de BIM (basada principalmente en la modelación y coordinación) es relativamente bajo o nulo. Esto último se hace válido teniendo en cuenta que las variables incorporadas en el análisis están vinculadas principalmente a las herramientas necesarias (licencias de softwares a fines, hardware y capacitaciones) para el correcto uso de la tecnología asociada a BIM. Sin embargo, este estudio no permite evaluar cuantitativamente las variables relacionadas a los procesos que se deben definir de acuerdo con la experiencia, la actividad y tamaño de la empresa, y las políticas contractuales y normativas que son necesarias para guiar a la industria hacia el nuevo estándar común BIM. A pesar de ello, el bajo impacto económico que supone la utilización de modelos virtuales se ve sopesado con los beneficios colaterales que conlleva su uso, en cuanto a la mejora de la calidad con la que se genera la información a lo largo de la cadena de valor de los proyectos de edificación, además de la utilización de dicha información en la etapa de operación y mantenimiento, y la etapa de deconstrucción o posible renovación del activo. A ello se le suma el aumento de la eficiencia y disminución de plazos en la etapa de diseño, cosas que en su conjunto generan un valor agregado a los entregables que no alcanzan a ser cuantificados en la metodología propuesta.

Cabe destacar que el caso de estudio utilizado presenta condiciones particulares, dado que, si bien se sabe que los costos han superado el presupuesto total de construcción antes de terminar la obra gruesa del edificio y considerando la fuerte dilación de los plazos presentados en contraposición a los rendimientos medios presentes en la industria chilena, la información detallada que pudo clarificar la situación no estuvo disponible. No obstante, es posible afirmar que la implementación de la metodología BIM desde la etapa de conceptualización del proyecto tiene ventajas significativas frente al levantamiento de modelos virtuales posterior a la metodología tradicional de diseño, dentro de las cuales destaca definición de los canales de distribución de la información, además de la inclusión temprana de los

involucrados en la creación y definición del alcance del proyecto (diseño y ejecución) junto con sus respectivas responsabilidades.

No obstante, un punto importante a considerar es que existen imprevistos de carácter externo a la organización que dirige y ejecuta el proyecto que no pueden ser evitados por la diligente programación y estimación de presupuesto, dado que se trabaja en un escenario en teoría desconocido, en donde, si bien las actividades suelen tener un grado de semejanza entre proyectos, el producto de la construcción es único y por ello la variabilidad siempre podrá estar presente.

Además, a modo de recomendación, para las empresas que estén interesadas o en proceso de implementación BIM, destacar el hecho que esta metodología se basa en el trabajo colaborativo por lo que se debe poner especial énfasis en la gestión de las comunicaciones y la información dentro y fuera de la organización, seguido de los procesos y alcances de esta metodología en los proyectos de edificación, especialmente en la etapa de ejecución de la construcción donde la utilización de modelos BIM puede representar una ventaja para las empresas contratistas y subcontratistas, y la adopción de un compromiso en todos los niveles jerárquicos de la entidad en cuestión.

Finalmente, para futuras investigaciones en esta línea se recomienda el uso de este trabajo aplicado a un mayor número de proyectos de edificación, la adición de métricas que puedan cuantificar el impacto de protocolos y políticas que deben ser consideradas al medir el impacto de la metodología BIM; y posiblemente a la aplicación de análisis a otros tipos de proyectos de ingeniería con mayores singularidades y diferentes especialidades trabajando de forma simultánea.

## 5. REFERENCIAS

- Alcántara, P. V. (2013). *Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción virtual usando tecnologías BIM*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- American Institute of Architects. (2013). G202-2013, BIM Protocol Form, 1–33. Retrieved from <http://www.aia.org/groups/aia/documents/pdf/aia095711.pdf>
- Ashcraft, H. W. (2008). Building information modeling: A framework for collaboration. *Construction Lawyer*, 28(3), 1–14.
- Banco Central. (2018). Producto interno bruto por actividad económica.
- BIM Forum Chile, & Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2017). Guía inicial para implementar BIM en las organizaciones.
- BIMForum. (2018). *The LOD Specification Part I & Commentary*.
- Briones, C. (2018). *Beneficios e indicadores de la implementación de BIM*.
- Bryde, D., Broquetas, M., & Volm, J. M. (2013). The project benefits of building

- information modelling (BIM). *International Journal of Project Management*, 31(7). <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.12.001>
- Camara Chilena de la Construcción. (2017). *Informe Macroeconomía y Construcción 47*.
- Choclán, F., Soler, M., & González, R. (2015). Introducción a la metodología BIM. *Spanish Journal of BIM*, 14, 19–25. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=258352>
- Ciribini, A. L. C., Mastrolembro Ventura, S., & Paneroni, M. (2016). Implementation of an interoperable process to optimise design and construction phases of a residential building: A BIM Pilot Project. *Automation in Construction*, 71, 62–73. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.005>
- Congreso nacional de Chile. (1976). normas sobre eliminación de basuras en edificios elevados. *Biblioteca Del Congreso Nacional de Chile*.
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2011). *BIM Handbook: A guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*.
- Encalada, S. (2016). *Aplicación de la tecnología BIM en la gestión de la construcción y análisis de los beneficios del modelamiento 4D-5D (tiempo-coste) en un edificio de 9 pisos en la ciudad de arequipa*.
- González, F. P. (2014). *Beneficios de la coordinación de proyectos BIM en edificios habitacionales*. UNIVERSIDAD DE CHILE. Retrieved from <http://www.repositorio.uchile.cl/handle/2250/116294>
- Instituto Nacional de Estadísticas. (2018). *Empleo trimestral. Boletín informativo del Instituto Nacional de Estadísticas* (Vol. 237).
- Isikdag, U., Zlatanova, S., & Underwood, J. (2013). A BIM-Oriented Model for supporting indoor navigation requirements. *Computers, Environment and Urban Systems*, 41, 112–123. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2013.05.001>
- Korman, T. M., Fischer, M. A., & Tatum, C. B. (2003). Knowledge and Reasoning for MEP Coordination. *Journal of Construction Engineering and Management*, 129(6), 627–634. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2003\)129:6\(627\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2003)129:6(627))
- Latiffi, A. A., Brahim, J., Mohd, S., & Fathi, M. S. (2015). Building Information Modeling (BIM): Exploring Level of Development (LOD) in Construction Projects. *Applied Mechanics and Materials*, 773–774, 933–937. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.773-774.933>
- Loyola, M. (2016). Encuesta Nacional BIM 2016: Informe de Resultados, 1–13. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14590.79687>
- Murcio, M. (2013). *Análisis y diseño estructural utilizando modelo BIM*.

- Oussouboure, G., & Delgado, R. (2017). La asignación de recursos en la Gestión de Proyectos orientada a la metodología BIM. *Revista de Arquitectura e Ingeniería, 11*(1).
- Pacheco, R. (2017). *Comparación del sistema tradicional vs la implementación del BIM (Building Information Management) en la etapa de diseño y seguimiento en ejecución. Análisis de un caso de estudio.*
- Picó, E. C. (2008). *Introducción a la tecnología BIM*. Retrieved from <http://www.practicaintegrada.com/storage/tecnologiabim/>
- Planbim. (2017). *La Revolución del BIM en la coordinación de proyectos.*
- Salazar, M. (2017). *Impacto económico del uso de BIM en el desarrollo de proyectos de construcción en la ciudad de Manizales.* Retrieved from <http://www.bdigital.unal.edu.co/56964/>
- Saldias, R. O. L. (2010). *Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM.* Universidad de Chile.
- Sanguinetti, P., Abdelmohsen, S., Lee, J., Lee, J., Sheward, H., & Eastman, C. (2012). General system architecture for BIM: An integrated approach for design and analysis. *Advanced Engineering Informatics, 26*(2), 317–333. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2011.12.001>
- Seo, J.-H., Lee, B.-R., Kim, J.-H., & Kim, J.-J. (2012). Collaborative Process to Facilitate BIM-based Clash Detection Tasks for Enhancing Constructability. *Journal of the Korea Institute of Building Construction, 12*(3), 299–314. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2012.12.3.299>
- Young Jr., N. W., Jones, S. A., & Bernstein, H. M. (2007). Interoperability in the construction industry. *SmartMarket Report, (Interoperability)*, 36.