



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**ESTIMACIÓN DE LOS BENEFICIOS DE REALIZAR  
UNA COORDINACIÓN DIGITAL DE PROYECTOS  
CON TECNOLOGÍAS BIM**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**RODOLFO OMAR LUIS SALDIAS SILVA**

**PROFESOR GUÍA:  
WILLIAM WRAGG LARCO**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
CARLOS AGUILERA GUTIERREZ  
MAURICIO TOLEDO VILLEGAS**

**SANTIAGO DE CHILE**  
**MAYO 2010**



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**ESTIMACIÓN DE LOS BENEFICIOS DE REALIZAR  
UNA COORDINACIÓN DIGITAL DE PROYECTOS  
CON TECNOLOGÍAS BIM**

**RODOLFO OMAR LUIS SALDIAS SILVA**

**CALIFICACIÓN**

**PROFESORES**

**NOTA**

**FIRMA**

**WILLIAM WRAGG LARCO**

\_\_\_\_\_

**CARLOS AGUILERA GUTIERREZ**

\_\_\_\_\_

**MAURICIO TOLEDO VILLEGAS**

\_\_\_\_\_

**SANTIAGO DE CHILE**  
**MAYO 2010**

## RESUMEN

Es indudable que el sector de la construcción es un componente significativo en la economía de un país, y a pesar de su importancia, los problemas que enfrenta el sector son bien conocidos: incumplimiento de los plazos y presupuestos, baja productividad, insuficiente calidad, altos índices de accidentes en comparación con otros sectores de la economía, entre otros. La mayoría de estos problemas atribuibles a una ineficiente gestión y a una inadecuada planificación y control de proyectos.

La planificación convencional de proyectos utiliza documentos tales como Cartas Gantt, Curvas “S”, planos en 2D, etc. para predecir, entender y comunicar el alcance y el desempeño del proyecto a los distintos actores que participan en este. La cantidad de información que el proyecto contiene y la forma en que esta es organizada y representada influye directamente en la dificultad e incertidumbre del proyecto, creando variabilidad durante el proceso de construcción y conduciendo a pérdidas durante la ejecución (retrasos, interferencias, etc.).

Nuevas tecnologías presentes en el mercado ofrecen algunas herramientas para mitigar estos problemas, disminuyendo los costos, los plazos y mejorando la calidad de los trabajos. BIM, acrónimo de Building Information Modeling, es una de estas.

BIM es una tecnología innovadora que permite diseñar tridimensionalmente desde el inicio del proyecto e incorpora en el modelo la información de cada uno de los elementos que componen este proyecto: cubicaciones, costos, tiempo, integración de los proyectos de especialidades y todo tipo de documentación que se considere relevante compartir y comunicar a los distintos actores que participan en las distintas etapas del proyecto.

El presente trabajo se basará en identificar los beneficios derivados de realizar una coordinación digital en etapas tempranas del proyecto utilizando tecnologías BIM. Para ello se desarrollará un análisis *ex post*, en el cual se identificarán las distintas pérdidas incurridas en la etapa de construcción, en proyectos que hayan sido realizados de la forma tradicional (planos y especificaciones en papel), y determinar cuáles de estas pérdidas podrían haberse evitado si en estos proyectos se hubiera utilizado la tecnología BIM. Al estimar los costos asociados a tales pérdidas se obtendrá una aproximación de los potenciales beneficios de utilizar esta tecnología.

El enfoque principal utilizado para analizar los beneficios de implementar BIM fue determinar la rentabilidad sobre la inversión (ROI). Del estudio realizado, en dos de los tres proyectos analizados BIM probó tener una rentabilidad bastante atractiva para el mandante, aun cuando los ahorros fueron considerados de forma conservadora.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis amigos de la Universidad, Roberto, Sebastián, Ronald, Cristian (Kiki), Álvaro, Felipe (Garganta), Israel, Nicolás y Felipe (Felespin) con quienes sin duda el periodo universitario fue un mejor pasar, de los cuales aprendí y viví momentos inolvidables. Les deseo lo mejor en su futuro como Ingenieros. A mis amigos de la vida, Gustavo (Farze), Javier (Bernales), Nicolás (Pelao), Leslie, Felipe (Coloro) y especialmente a Anita; quienes siempre fueron un pilar emocional fundamental en mi vida, estando siempre presente cuando los necesité y a los cuales siempre querré.

Al Profesor William Wragg, por apoyar y guiar este trabajo. Sin él no lo podría haber desarrollado.

Un especial agradecimiento al Profesor Claudio Mourgues y a Vivian Cardet, quienes apoyaron mi trabajo y siempre estuvieron dispuestos a responder mis dudas, asistiéndome con su conocimiento y experiencia en este tema.

Finalmente dedico este trabajo a mi familia, particularmente a mis padres, por todo el amor que me han entregado, los valores que me inculcaron y por su apoyo incondicional incluso en los momentos más difíciles. Estoy orgulloso de ser su hijo.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes Generales .....	1
1.1.1. El Concepto BIM .....	1
1.1.2. Tecnologías de la Información .....	2
1.1.3. Construcción sin Pérdidas o Lean Construction .....	2
1.2. Objetivos .....	3
1.2.1. Objetivo General .....	3
1.2.2. Objetivos Específicos .....	3
1.3. Metodología .....	3
1.4. Supuestos y Alcance del Trabajo .....	4
1.5. Contenido del Trabajo .....	5
<b>II. DIAGNOSTICO SITUACIÓN ACTUAL DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
2.1. Métodos de Entrega del Proyecto .....	8
2.2. Procesos y Flujos de Información Actuales .....	11
2.2.1. Flujos de Información en el ciclo de vida del Proyecto .....	11
2.2.2. Flujos de Información entre Actores del Proyecto .....	13
2.3. Oportunidades de la actual Gestión de Proyectos de Construcción .....	14
2.3.1. Problemas en Etapa de Diseño .....	14
2.3.2. Problemas en la Gestión de Materiales .....	15
2.3.3. Problemas en la Etapa de Construcción .....	16
2.3.3.1. Radiografía de la Industria de la Construcción Chilena .....	16
2.3.3.2. Problemas de Documentación, Información y Comunicación ...	18
2.4. Oportunidad de las TI para mejorar los problemas de la industria .....	24
<b>III. TECNOLOGÍA BIM: APLICACIONES, VENTAJAS Y DESAFÍOS .....</b>	<b>27</b>
3.1. Evolución de la Tecnología: Vectores a Objetos a Modelación Paramétrica...	27
3.2. ¿Qué es BIM? .....	29
3.3. BIM: Demandas de Cambio .....	33
3.4. Aplicaciones Tecnología BIM .....	35
3.4.1. Marketing .....	36
3.4.2. Comunicación .....	37
3.4.3. Documentación .....	39
3.4.4. Datos para Análisis .....	40
3.4.5. Simulación 4D .....	42
3.4.6. Chequeo de Interferencias y Chequeo de Conformidad .....	45

3.4.7. Cubicación y Estimación de Costos .....	48
3.4.8. Prefabricación .....	49
3.4.9. Ingeniería Concurrente / Diseño Colaborativo .....	50
3.5. Beneficios de la utilización de tecnologías BIM .....	52
3.6. Desafíos de Implementación y Operación .....	56
3.6.1. Cambios que pueden ser esperados .....	57
3.6.2. Desafíos y Recomendaciones de Implementación .....	58
3.6.3. Problemas de Interoperabilidad .....	59
<b>IV. PROCESAMIENTO DE DATOS .....</b>	<b>61</b>
4.1. Descripción de Proyectos a Analizar .....	61
4.2. Definición de criterios para análisis de Beneficios .....	61
4.2.1. Para Obras Extraordinarias .....	61
4.2.2. Para Requerimientos de Información .....	63
4.3. Consideraciones del Trabajo .....	65
4.4. Costos de Implementación .....	68
4.5. Beneficios de Implementación .....	71
<b>V. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>72</b>
5.1. Edificio Gran Santiago .....	72
5.1.1. Análisis para Obras Extraordinarias .....	72
5.1.2. Análisis para Requerimientos de Información .....	74
5.2. Mall Paseo Estación .....	79
5.2.1. Análisis para Obras Extraordinarias .....	79
5.3. Edificio Ángel Cruchaga .....	81
5.3.1. Análisis para Obras Extraordinarias .....	81
5.3.2. Análisis para Requerimientos de Información .....	82
5.4. Resumen de Resultados .....	85
5.4.1. Rentabilidad de la Inversión .....	85
5.4.2. Solicitudes de aclaración que se evitan .....	89
5.4.3. Comentarios Generales .....	90
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>92</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>98</b>
Anexo N° 1: Ejemplos de Aplicación BIM.....	98
Anexo N° 2: Documentación OOEE.....	105
Anexo N° 3: Documentación .....	121

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Distribución del tiempo y tiempos de espera en los procesos de diseño	15
Tabla 2.2: Oportunidades de mejora con Tecnologías de la Información	24
Tabla 2.3: Desafíos de implementación	26
Tabla 3.1: ROI en cuatro Proyectos de Investigación	52
Tabla 4.1: Costos de Implementación Proyecto Gran Santiago	68
Tabla 4.2: Costos de Implementación Proyecto Mall Paseo Estación	69
Tabla 4.3: Costos de Implementación Proyecto Ángel Cruchaga	70
Tabla 5.1: Cantidad del tipo de Obra Extraordinaria Proyecto Gran San	72
Tabla 5.2: N° Extraordinarios previsible o con costo evitable - GS	73
Tabla 5.3: ROI de una coordinación digital de especialidades - GS	74
Tabla 5.4: N° de RDI detectadas en etapas tempranas según tipo - GS	75
Tabla 5.5: N° de RDI detectadas según grado de urgencia - GS	76
Tabla 5.6: N° RDI que no fueron respondidas a tiempo detectadas con BIM - GS	78
Tabla 5.7: N° Extraordinarios previsible o con costo evitable - MPE	80
Tabla 5.8: ROI de una coordinación digital de especialidades - MPE	81
Tabla 5.9: N° Extraordinarios previsible o con costo evitable - AC	81
Tabla 5.10: ROI de una coordinación digital de especialidades - AC	82
Tabla 5.11: N° de RDI detectadas en etapas tempranas según tipo - AC	83
Tabla 5.12: N° de RDI detectadas que no fueron respondidas a tiempo - AC	84
Tabla 5.13: Información de Proyectos	85
Tabla 5.14: ROI de la aplicación de BIM en los tres proyectos analizados	86
Tabla 5.15: Resumen de las rentabilidades de utilizar BIM en distintos proyectos	88
Tabla 5.16: N° de RDI por Tipo de Proyecto	89
Tabla 5.17: Resumen de Tipos de RDI y cuáles de estas se evitan	89

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Problemas en General	8
Figura 2.2: Decisiones clave para establecer una estrategia contractual	8
Figura 2.3: Flujos de Información en el ciclo de vida de un proyecto	12
Figura 2.4: Flujos de Información entre actores.	13
Figura 2.5: Pérdidas más frecuentes - 2001	17
Figura 2.6: Fuentes de pérdidas más frecuentes - 2001	17
Figura 2.7: Causas de No Cumplimiento – Año 2001	18
Figura 2.8: Causas de los problemas más frecuentes en un Proyecto de Construcción	19
Figura 2.9: Típica Situación	20
Figura 2.10: Comunicación con actores No Técnicos	21
Figura 2.11: Distintas interpretaciones del producto a construir por parte de actores del Proyecto.	21
Figura 2.12: Potencial para influir en el costo final. Gráficos proporcionados por Patrick Maclearny, Presidente de HOK y IAI International	23
Figura 2.13: Flujo de información basado en esquema de trabajo tradicional	25
Figura 2.14: Flujo de información basado en esquema de trabajo integrado	25
Figura 2.15: Componentes de las TI	25
Figura 3.1: Plano en 2D, donde vectores (layers) representan en planta muros, ventanas, puertas, etc.	28
Figura 3.2: Elemento 3D que representa los muros de una habitación con los vanos de puertas y ventanas	28
Figura 3.3: Modelo en 3D integrado + información del proyecto	28
Figura 3.4: Elementos de un Modelo de Información de la Edificación	30
Figura 3.5: El usuario puede colocar el largo que quiera	32
Figura 3.6: Si muevo el muro 1, automáticamente se modifica el largo del muro 2	32
Figura 3.7: Jerarquía de los modelos. Fuente: Autodesk.	32
Figura 3.8: “Big Fish”, Villa Olímpica, Barcelona, España	33
Figura 3.9: Costanera Center, Santiago, Chile	33
Figura 3.10: Ventajas Método IPD integrado con BIM. Fuente Autodesk	34
Figura 3.11: Adaptada de Presentación de Leonardo Rischmoller – CDT, Agosto 2009	35

Figura 3.12: Render de habitaciones modeladas en Revit	36
Figura 3.13: 3D vs Plantas	36
Figura 3.14: Detalle de unión estructural de una instalación industrial. Presentación Leonardo R. – CDT, Agosto 2009	37
Figura 3.15: Detalle de unión utilizando un renderizado de imagen del modelo. Fuente: Autodesk	37
Figura 3.16: Comunicación con trabajadores	38
Figura 3.17: Instrucciones de trabajo	39
Figura 3.18 : Análisis Energético	40
Figura 3.19: Análisis de Insolación	41
Figura 3.20: Análisis de Viento	41
Figura 3.21: Simulación 4D	43
Figura 3.22: Secuencia constructiva de un edificio estudiantil	44
Figura 3.23: Chequeo manual de interferencias en 4D	46
Figura 3.24: Chequeo manual de interferencias en 3D	46
Figura 3.25: Ejemplo corredor sin cielo falso	47
Figura 3.26: Ejemplo receta de construcción para una columna de hormigón armado	48
Figura 3.27: Proceso de montaje de los muros de Hormigón Prefabricado. Fuente: Presentación Claudio Labarca - CDT, Agosto 2009	50
Figura 3.28: Sistemas de trabajo colaborativo	51
Figura 3.29: Ejemplo de herramientas de distintas especialidades	59
Figura 3.30: Ejemplo de distintas plataformas en una misma especialidad	59
Figura 3.31: IFC	60
Figura 5.1: Distribución del tipo de Obra Extraordinaria en Proyecto Gran Santiago	72
Figura 5.2: N° de Extraordinarios que se evitan con BIM - GS	73
Figura 5.3: Clasificación de RDI y su distribución para proyecto Gran Santiago	75
Figura 5.4: N° de RDI detectadas en etapas tempranas según tipo - GS	76
Figura 5.5: N° de RDI detectadas según grado de urgencia - GS	77
Figura 5.6: N° RDI detectadas con potencial de atrasos - GS	78
Figura 5.7: OOEE evitables con BIM - MPE	80
Figura 5.8: OOEE evitables con BIM - AC	81
Figura 5.9: Clasificación de RDI y su Distribución - AC	83

Figura 5.10: RDI detectadas según tipo de RDI - AC	84
Figura 5.11: N° de RDI que no fueron contestadas a tiempo que si se detectan para AC (III)	85

# I. INTRODUCCION

## 1.1. ANTECEDENTES GENERALES

### 1.1.1. El Concepto BIM

BIM es el acrónimo de “Building Information Modeling” o traducido al castellano como Modelo de Información de la Edificación. Como su nombre lo dice, BIM se basa en modelar la edificación incorporando toda la información necesaria para facilitar el diseño, la construcción y la operación de un proyecto de construcción.

BIM representa virtualmente lo que será construido y su entorno. Además, está asociado a las herramientas (software), métodos (procedimientos de operación) y análisis (estructural, constructabilidad, energético, chequeo de interferencias, etc.) relacionados con este modelo.

Se tiende a confundir los modelos BIM con modelos 3D, los cuales sólo incorporan la geometría. BIM, además de ser un modelo en tres dimensiones (información gráfica) se le puede incorporar información relevante del proyecto (información no gráfica), la cual queda guardada en la base de datos del modelo. La otra característica de un modelo BIM es que este posee un grado de inteligencia, dada por dos particularidades: El **Diseño Paramétrico**, con el que ahora los elementos (muros, vigas, ventanas, puertas, etc.), antes representados por propiedades fijas (ancho, alto, largo por ejemplo), son caracterizados por parámetros y reglas que determinan la geometría del edificio. Y lo que se conoce por **Bidireccionalidad Asociativa** con lo cual se pueden gestionar los cambios durante el diseño, por ejemplo, al hacer una modificación en el modelo, automáticamente todas las vistas (2D) generadas a partir de este se actualizan, eliminando posibles inconsistencias.

Es importante destacar que el concepto BIM está aún en discusión. Existen distintos estudios desarrollados por variados grupos de interés que han fomentado distintos nombres, que en teoría pueden tener enfoques distintos, pero que en la práctica apuntan a lo mismo: mejorar la gestión de los proyectos de construcción utilizando modelos virtuales inteligentes. Está **VDC** (Virtual Design and Construction) propuesto por el CIFE “Center for Integrated Facility Engineering” de la Universidad de Stanford en EEUU, **nD Modeling** por la Universidad de Salford del Reino Unido y **BIM** nombre fomentado principalmente por empresas de software.

De aquí en adelante, a estos modelos inteligentes que pretenden construir virtualmente la edificación, se les identificará como modelos BIM, sin ánimo de promover este nombre en particular, solo para una mayor facilidad de lectura del presente trabajo.

### **1.1.2. Tecnologías de la Información**

A las Tecnologías de la Información (TI) se les identifica como el conjunto de conocimientos referidos a la producción, distribución, almacenamiento, recuperación y utilización de la información. En general, las TI son asociadas al uso de computadores (Hardwares) y de programas computacionales (Software) que vendrían a ser sólo parte de las herramientas que componen a las TI.

Existen tres elementos importantes de las TI: Personas, Procesos y Herramientas. Al implementar una TI en una organización, el problema no radica en estos elementos, sino que en las relaciones, vínculos e interacciones existentes entre estos. Por ejemplo: ¿Existe aceptación por parte de las personas de las herramientas disponibles de esta tecnología?, ¿Se tiene el conocimiento de estas herramientas?, ¿Hubo un rediseño de los procesos?, ¿Se tiene el conocimiento de estos nuevos procesos de trabajo?, ¿Se adecuaron los aspectos organizacionales para tratar la inherente resistencia al cambio de las personas?, etc.

El principal objetivo corporativo que buscan las TI es mantener una posición competitiva de bajos costos y en el caso particular de la industria de la construcción, es acercar a cada uno de los actores que participan en el proyecto, integrando sus procesos y compartiendo información que mejorará las retroalimentaciones desarrolladas.

### **1.1.3. Construcción sin Pérdidas (Lean Construction)**

Nace como una necesidad de adoptar una serie de estándares (nuevas técnicas) emanadas desde la empresa manufacturera, que tuvieron su origen en el sistema de producción de Toyota, desarrollado por Ohno después de la segunda guerra mundial. Esta nueva filosofía de producción se denominó “Lean Production” o Producción sin Pérdidas.

La Construcción sin pérdidas se basa en principios que buscan agregar el máximo valor al producto final, mediante la eliminación de pérdidas (actividades que no agregan valor) y el mejoramiento continuo a lo largo de todo el proyecto. Una pérdida se refiere a cualquier actividad humana que absorbe recursos, pero que no crea valor. Por ejemplo: retrasos por secuencias incorrectas, trabajo rehecho o redundante, número de errores u omisiones de diseño, cantidad de ordenes de cambio, exceso de materiales, etc. En resumen, la Construcción sin Pérdidas se centra en:

- *Reducción o eliminación de pérdidas:* actividades que no agregan valor (esperas, controles, movimientos, etc.)
- *Optimización de procesos principales:* actividades que agregan valor (hormigonado, albañilería, enfierradura, etc.).

- *Logística*: tanto de recursos (Proveedores – cliente externo) como de terreno (Cuadrillas – cliente interno).

Por otro lado, la Construcción sin Pérdidas se ofrece como el marco teórico conveniente para dirigir la investigación y experimentación práctica de TI en los procesos de diseño, planificación, construcción y abastecimiento de proyectos (Rischmoller y Alarcón, 2005), y por ende para desarrollar los análisis que se realizarán en el presente trabajo: Estimar como la utilización de TI, en este caso de un modelo BIM, en etapas tempranas del proyecto puede reducir una serie de pérdidas que ocurren durante la ejecución de este, reduciendo los costos y aumentando la rentabilidad del proyecto.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo General**

- Valorizar los potenciales beneficios de aplicar BIM para coordinar digitalmente las especialidades en una obra de construcción.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Identificar las fallas producidas por un deficiente diseño que ocurren comúnmente en la etapa de construcción de las obras estudiadas y distinguir aquellas fallas que podrían haberse evitado aplicando BIM.
- Evaluar los costos acarreados por los errores identificados anteriormente y con estos determinar los potenciales ahorros de la aplicación de BIM.
- Cuantificar los costos provenientes del uso de estos programas y compararlos con los potenciales ahorros, determinando la rentabilidad de la utilización de BIM.

## **1.3. METODOLOGÍA**

Se identificarán las distintas fallas cometidas en un proyecto de construcción ya terminado, entregado de la forma tradicional (Diseño-Licitación-Construcción) y bajo un contrato a suma alzada (de tal forma de asegurar una mejor documentación de errores producidos en la etapa de construcción debido a problemas de diseño), y cuáles de estos errores podrían haberse evitado si en el proyecto se hubiera utilizado BIM para coordinar digitalmente las especialidades.

Para ello, se estudiarán tres obras de construcción, dos de ellas facilitadas por la Constructora Tecsa S.A. (Edificio Gran Santiago y Mall Paseo Estación), y la tercera por la Empresa Constructora Socovesa S.A. (Edificio Ángel Cruchaga). En cada una de estas obras, identificar las pérdidas que hayan sido documentadas (por ejemplo interferencias, incongruencias en los planos, esperas por falta de información, etc.), información disponible en el listado de Obras Extraordinarias y de Requerimientos de Información (RDI) emitidas durante la etapa de construcción. Del total de estas pérdidas, distinguir aquellas que podrían haberse evitado al realizar una coordinación digital en la etapa de diseño.

Finalmente, identificar los costos asociados a estas pérdidas (en el caso que apliquen) y compararlos con los costos de implementación, estimando así la rentabilidad de utilizar un modelo BIM para coordinar las especialidades de un proyecto de construcción.

#### **1.4. SUPUESTOS Y ALCANCE DEL TRABAJO**

El escenario contrafactual (supuesto) es el siguiente: “En los proyectos (ya ejecutados) a analizar se utilizó la tecnología BIM para coordinar digitalmente las especialidades y así detectar colisiones y otros problemas”. Al definir el nivel de implementación BIM de este escenario se obtienen los costos y beneficios en los cuales se concentrará este estudio. El escenario supuesto es el siguiente:

- Implementación en etapa de diseño y la construcción del modelo sería a partir de planos generados por especialidades.
- Mandante contrataría a un equipo coordinador que construiría el modelo de información de la Edificación.
- Periodo de coordinación y construcción del modelo: 2-3 meses.
- Alcance del modelo: detección de interferencias, de incongruencias, faltas de detalle y como herramienta de comunicación.
- Beneficios (directos<sup>1</sup>) asumidos por el mandante: Ahorro de obras extras que podrían haberse evitado con coordinación temprana (evitar trabajo rehecho, reparaciones y demoliciones), disminución y/o detección temprana de requerimientos de información (RDI) efectuadas en etapa de construcción.

---

<sup>1</sup> Existen beneficios y costos indirectos, muy difíciles de cuantificar, los cuales se nombrarán más adelante en el informe, pero no se incorporarán en la estimación de la rentabilidad de la implementación de BIM.

- Costos (directos) asumidos por el mandante: Licencia Software, Hardwares, Equipo de modelación, Capacitación y Coordinador BIM.
- Método de Entrega: Tradicional (Diseño-Licitación-Construcción).

***Alcance del Trabajo:*** La utilización de BIM tiene múltiples beneficios en las distintas fases del ciclo de vida del proyecto (Conceptualización, Diseño, Generación de Documentos, Construcción, Operación, Mantenimiento y Deconstrucción) y distintas aplicaciones en cada una de estas etapas. Pero para este trabajo se estimarán los beneficios de realizar una coordinación digital con tecnologías BIM previo a la etapa de construcción del proyecto, estimando los siguientes beneficios: obras extraordinarias (OOEE) que podrían ser evitadas y requerimientos de información (RDI) que podrían ser detectados tempranamente.

## **1.5. CONTENIDO DEL TRABAJO**

BIM al ser un tema relativamente nuevo en la industria, se optó por incorporar y explicar en detalle las aplicaciones/herramientas que tiene esta tecnología, las oportunidades, beneficios y desafíos que implica, además de una serie de aplicaciones reales en variados proyectos, tanto en Chile como en el extranjero. Se consideró necesario profundizar en el tema para un correcto entendimiento del contenido de la investigación y de los análisis desarrollados. El presente trabajo consta de 6 capítulos:

El capítulo I “Introducción” muestra los antecedentes generales, los objetivos, la metodología, los supuestos de trabajo y el alcance de la investigación.

El capítulo II “Diagnóstico de la situación actual de la industria de la Construcción” establece un diagnóstico de la industria para analizar en detalle las oportunidades que tienen las TI, en particular BIM, para mejorar la gestión de los proyectos de construcción.

El capítulo III “Tecnología BIM: aplicaciones, ventajas y desafíos” muestra las principales características de las aplicaciones de la tecnología BIM, cuales son las ventajas que poseen respecto a la forma tradicional de trabajo, los beneficios en las distintas etapas del proyecto y los desafíos de implementación que esta TI implica.

El capítulo IV “Procesamiento de Datos” describe los proyectos a analizar, se definen y explican los criterios utilizados en los análisis desarrollados, y se procesan los datos suministrados por las empresas constructoras en base a los supuestos definidos.

El capítulo V “Análisis de Resultados” muestra un resumen de los resultados obtenidos y se emiten comentarios respecto a los beneficios alcanzados en cada uno de los proyectos analizados.

Finalmente, en el capítulo VI “Conclusiones” se emiten comentarios generales y las conclusiones de la investigación.

## II. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

Dado que los proyectos de construcción son a menudo grandes y complejos, el planificar, diseñar, construir y operarlos requiere de muchas personas especializadas. La necesidad de eficiencia y productividad por parte de mandantes, diseñadores y contratistas es vital para obtener mejoras económicas en sus respectivos campos, eficiencia y productividad que cada vez están siendo más amenazadas a medida que las edificaciones y procesos de negocios se vuelven más complejos.

En general, la gran mayoría de las industrias se caracteriza por producir a una alta calidad, costos de servicio razonables y entregas en forma oportuna, mientras que la industria de la construcción se caracteriza por todo lo contrario. Lo anterior se debe principalmente a tres factores:

1. *La naturaleza de los proyectos:* Involucran muchos participantes, de distintas capacidades e intereses y muchas veces en conflicto. Están afectos a riesgos e incertidumbre. Muchas decisiones se basan solo en la experiencia.
2. *Las características de la industria:* Sumamente fragmentada con muchas especialidades participando. Poca inversión en Investigación y Desarrollo Tecnológico. Lenta para adoptar nuevas tecnologías.
3. *Los retos que afronta:* Normas cada vez más restrictivas (principalmente ambientales y en seguridad). Presencia constante de nuevos materiales, nuevas técnicas de trabajo y nuevas tecnologías. Presupuestos cada vez más limitados, tiempos más restringidos y con demandas de calidad mayores. Falta de recursos capacitados.

Con estos factores, en general, los problemas que enfrenta la industria son los siguientes: complejidad, incertidumbre, información poco confiable para la toma de decisiones, imprevistos difíciles de controlar, contingencias difíciles de predecir y poca precisión de la información emanada. Problemas que llevan a errores y pérdidas, generando un aumento de costos, de plazos y una disminución de la calidad del producto entregado. Por ejemplo, en EEUU pérdidas por ineficiencias, errores y atrasos representan alrededor de U\$200 mil millones de los U\$650 millones gastados en construcción cada año<sup>2</sup>. Y en Chile, proporcionalmente, no debiéramos estar mejor que los EEUU.

La idea de una buena gestión es simplificar los proyectos, aumentar los esfuerzos para darle mayor transparencia a los procesos, apoyarse en herramientas

---

<sup>2</sup> Según la NIST (National Institute of Standards and Technology).

computacionales para almacenar información confiable, precisa y oportuna de tal forma de dar cumplimiento a los requerimientos del cliente.

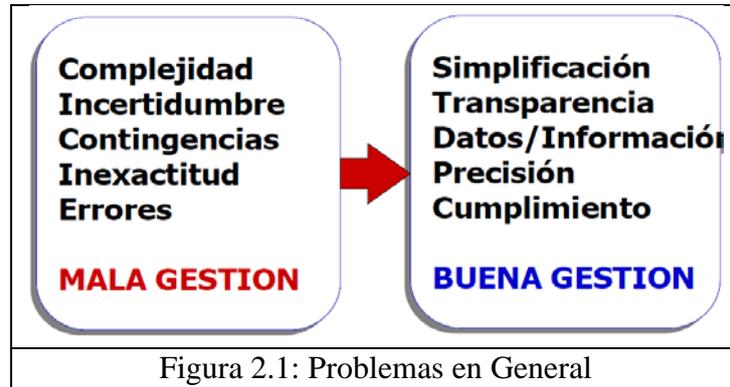


Figura 2.1: Problemas en General

## 2.1. MÉTODOS DE ENTREGA DEL PROYECTO

Durante la etapa inicial de un proyecto, un asunto vital que enfrenta el dueño del mismo es decidir la estrategia contractual que mejor se adecua a los objetivos del proyecto. El desarrollo de la estrategia contractual implica una evaluación completa de opciones disponibles para la administración del diseño y de la construcción del proyecto, para maximizar la probabilidad de lograr los objetivos definidos.

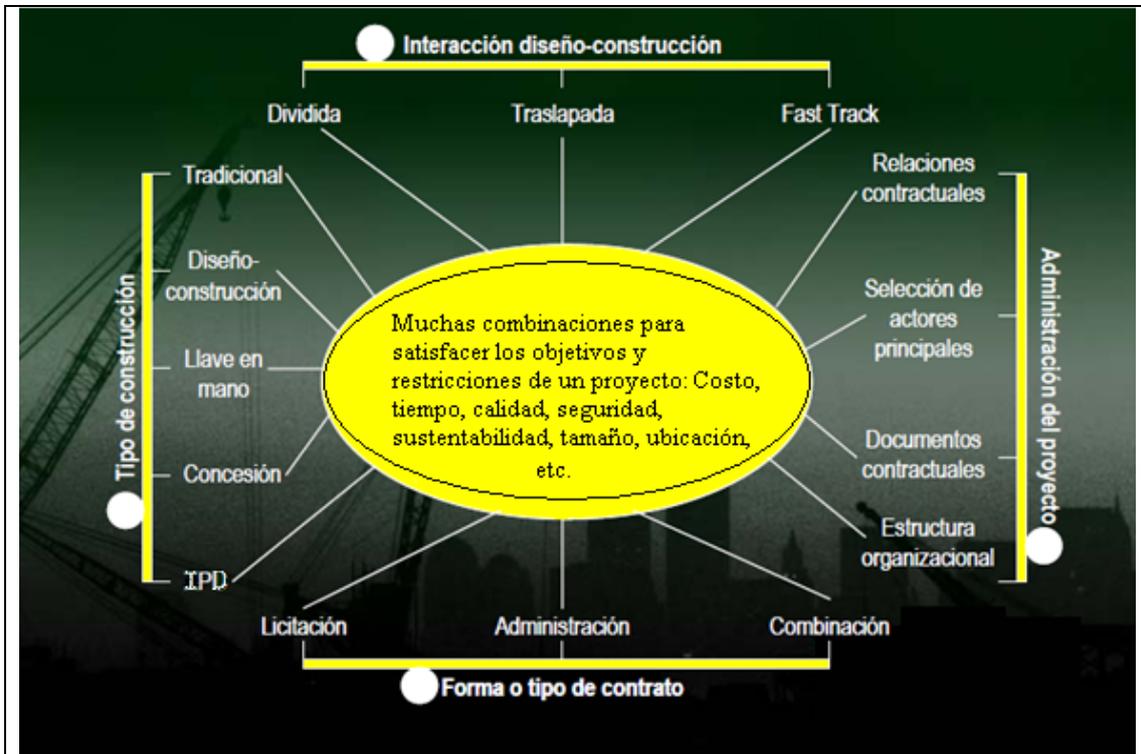


Figura 2.2: Decisiones clave para establecer una estrategia contractual

El Método de Entrega (“**Delivery Method**”) se refiere a la forma en que los distintos actores interactúan y se relacionan en cada una de las fases del proyecto. En general, hay cinco tipos, aunque existen variaciones de estos, dependiendo del contexto del proyecto (tipo, envergadura, riesgo, etc.) y de la cultura de trabajo donde se esté ejecutando este. Los principales métodos de entrega son Diseño-Licitación-Construcción, Diseño-Construcción, Llave en mano, Concesiones y Entrega Integrada del Proyecto.

**a. Diseño - Licitación - Construcción (Tradicional)**

En general, el cliente (mandante) contrata a un arquitecto, quien desarrolla una serie de requerimientos y establece los objetivos del diseño del proyecto a través de una serie de fases: diseño esquemático, desarrollo del diseño y documentos contractuales. Los documentos finales deben completar las especificaciones y satisfacer las normas gubernamentales. El arquitecto luego contrata a consultoras para apoyar el diseño estructural, mecánico, sanitario y de todas las especialidades necesarias. Estos diseños son plasmados en dibujos (plantas, elevaciones, visualizaciones 3D), los cuales deben ser **coordinados** para reflejar todos los cambios a medida que sean identificados. La serie final de dibujos/planos y especificaciones (técnicas, administrativas, etc.) debe contener suficiente detalle para facilitar la licitación de la construcción.

El siguiente paso es el de obtener propuestas de contratistas generales (empresa encargada de gestionar la construcción). A cada contratista se le debe enviar la serie de planos y especificaciones que luego son utilizados para estimar las cantidades, definir las partidas y realizar la serie de precios unitarios que determinarán el monto del contrato. El contratista “vencedor” es usualmente aquel que cumpla los requerimientos técnicos y ofrezca el menor precio (en general es así, pero pueden haber otros criterios que escoja el mandante). Antes de que el trabajo pueda comenzar, es necesario redibujar algunos planos para reflejar de mejor forma el proceso de construcción y las fases de trabajo. En proyectos industriales principalmente, los subcontratistas y fabricantes pueden producir sus propios dibujos para reflejar los detalles exactos de ciertos ítems (ej. unidades de hormigón prefabricado, conexiones de acero, trazado de tuberías, etc.).

Usualmente, durante la fase de construcción, numerosos cambios son hechos al diseño como resultado de errores y omisiones no conocidas, condiciones de terreno no anticipadas, cambios en la disponibilidad de materiales, preguntas respecto al diseño (RDI), nuevos requerimientos del cliente y nuevas tecnologías. Esta necesidad debe ser resuelta por el equipo del proyecto. Para cada cambio, un procedimiento es requerido para determinar la causa, asignar responsabilidades, evaluar el tiempo y la implicancia en los costos, y determinar cómo el problema será resuelto. Este procedimiento involucra generalmente un requerimiento de información (RDI), que debe ser respondido por el arquitecto u otra especialidad. Luego, una orden de cambio es establecida y todos los participantes que son impactados por el cambio son notificados acerca del cambio realizado, el cual es comunicado junto con lo que es necesario

modificar en los planos involucrados. Estos cambios y resoluciones frecuentemente conllevan a disputas legales, añaden costos y retrasos.

La fase final es poner en servicio la edificación, que toma lugar después de que la construcción es terminada. Esto involucra probar los sistemas (calefacción, aire acondicionado, electricidad, detectores de fuego, etc.) para asegurarse de que estos trabajen apropiadamente. Los planos que reflejen los cambios hechos y que representan en la realidad lo que se construyó (planos as-built) son entregados al mandante junto con todos los manuales del equipamiento instalado.

Dado que toda la información suministrada al mandante es transmitida en 2D (en papel), este debe poner un esfuerzo considerable para entregar toda la información necesaria al equipo que operará la infraestructura. El proceso toma bastante tiempo, es costoso, propenso a errores y se mantiene como una significativa barrera de operación.

Como resultado de estos problemas, el enfoque tradicional no es la forma más expedita y eficiente para diseñar y construir un proyecto.

## **b. Diseño - Construcción**

Este método de entrega fue desarrollado para consolidar la responsabilidad del diseño y la construcción en una entidad contractual singular y para simplificar las tareas administrativas del mandante (Beard et al, 2005). En este modelo, el mandante contrata directamente al equipo de diseño-construcción (DB en sus siglas al inglés) para desarrollar el diseño esquemático y un programa de construcción bien definido. El contratista “DB” luego estima el costo total y el tiempo necesario para construir la edificación. Después de que todas las modificaciones requeridas por el mandante son implementadas, el plan es aprobado y la estimación final del costo del proyecto es establecido. Este método permite hacer las modificaciones de diseño en etapas tempranas, lo que es importante destacar dado que los recursos y el tiempo necesario para gestionar cambios de diseño en etapas posteriores es reducido considerablemente.

El contratista DB establece relaciones contractuales con diseñadores especialistas y subcontratistas como este estime necesario. Luego de este punto, la construcción comienza y cualquier cambio en el diseño (bajo ciertos límites predefinidos) es responsabilidad del contratista DB. Lo mismo para el caso de errores y omisiones. No es necesario que los planos detallados de construcción estén completados para todas las partes del edificio antes del comienzo de la construcción (en general hay un traslape entre la etapa de diseño y construcción).

Como resultado de estas simplificaciones, la edificación es típicamente terminada en forma más rápida, con menos complicaciones legales y a un reducido costo total. Por otro lado, existe una menor flexibilidad para el mandante en hacer

cambios luego de que el diseño inicial es aprobado y el monto del contrato es establecido.

## **2.2. PROCESOS Y FLUJOS DE INFORMACIÓN ACTUALES**

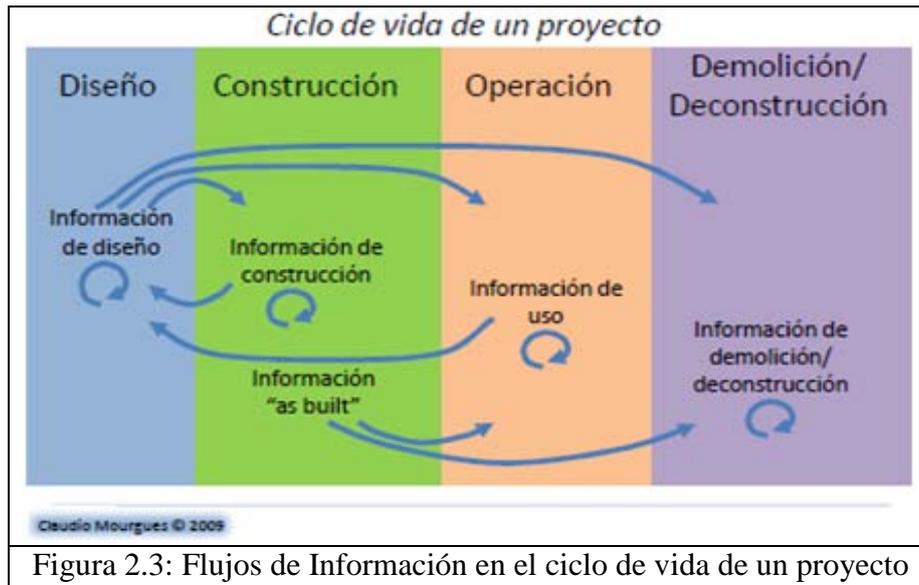
En un escenario cada vez más complejo, dinámico e interactivo, como viene siendo el de los proyectos de construcción, los administradores de obra y gerentes de proyecto están siendo obligados constantemente a acelerar la toma de decisiones. Por lo tanto, la información se observa como uno de los recursos más importantes para contribuir en la toma de decisiones administrativas y para mejorar la ventaja competitiva de las organizaciones que llevan a cabo proyectos de este tipo (Carrilo P., 2004).

La industria de la construcción es un lugar de trabajo que está dominado por la heurística. Empresas de construcción y su personal llevan a cabo sus tareas de gestión basados en experiencias pasadas, en lugar de establecer enfoques analíticos (Maqsood T., Finegan A., Walker D., 2006). No hay una estrategia única para manejar los problemas de gestión planteados. Una de las más eficaces y potentes herramientas para fortalecer la competitividad industrial es a través de la identificación sistemática de las mejores prácticas de utilización y distribución de la información.

La información es un recurso que normalmente está fluyendo de una etapa a otra y entre disciplinas. Una buena gestión de la información significa optimizar los procesos que ocurren entre los participantes del proyecto y entre las etapas de este. Normalmente los profesionales de la construcción dedican buena parte de su tiempo en la búsqueda de información, restando tiempo efectivo a labores dedicadas al trabajo productivo (más del 50% del tiempo de los ingenieros es gastado buscando documentos - Rischmoller, L.). Una buena gestión de la información ayuda a reducir este porcentaje de tiempo haciendo más productivo el trabajo de los profesionales.

### **2.2.1. Flujos de Información en el Ciclo de Vida del Proyecto**

En cada etapa del proyecto se produce y utiliza información, que a la vez se remite o trasmite a las otras etapas. Existen distintas formas en que la información es transferida, dependiendo del tipo, complejidad y envergadura del proyecto, del contexto en que esté (según riesgos y objetivos se definirá el tipo de entrega y el tipo de contrato), entre otras.



Por ejemplo para un proyecto de construcción de una instalación industrial/minera, la información que generalmente se transmite/remite durante el ciclo de vida del proyecto es la siguiente:

- En la etapa de diseño el ingeniero de procesos u otro especialista capacitado interpreta las necesidades y objetivos del cliente, plasmándolas en adecuados espacios y formas, definiendo los elementos que se utilizarán junto con la posición y forma de estos. Luego, las distintas especialidades se involucran para determinar el tipo de material estructural a utilizar, enfierradura, perfil de las vigas metálicas, el sistema de tuberías y ductos a utilizar, etc. (Información de Diseño) datos que se plasman en planos y especificaciones que luego se transmiten a la etapa de construcción, a la de operación (en el caso que se quiera hacer el mantenimiento de algún ducto por ejemplo) o a la de demolición.
- En la etapa de construcción al cliente le interesa información de la duración y del costo real de la obra, de la calidad de la infraestructura, de las especificaciones de los equipos instalados, etc. (Información de Construcción). Por otro lado, los planos "as-built" es información que se transmite a las etapas de operación y de demolición, los requerimientos o solicitudes de aclaración (RDI) es información que se trasmite a diseñadores, etc.
- En la etapa de operación se necesita información de, por ejemplo: modificaciones de diseño que se hayan hecho a la estructura en la etapa de construcción, instrumentación de la edificación definida en la etapa de diseño (muy importante por ejemplo en "edificios inteligentes"), etc. y se genera información de la operación y el mantenimiento de la instalación (Información de Uso).

- En la etapa de demolición/deconstrucción<sup>3</sup> se necesita información de los cambios hechos, si se construyo con material prefabricado (para una posible reutilización), de las cantidades de obra (para evaluar el costo en el transporte de los desechos), calidad del material utilizado y el diseño estructural de la infraestructura (para evaluar la necesidad de utilizar explosivos y de qué tipo), etc.

### 2.2.2. Flujos de Información entre Actores del Proyecto

Las relaciones y vínculos entre los distintos actores, y por ende los procesos y flujos de información entre estos, también dependerán del tipo de proyecto y de la estrategia contractual definida por el mandante. Los participantes (directos e indirectos) en un proyecto de construcción en general son el cliente, diseñadores: arquitecto, calculista y especialidades de eléctrica, mecánica, aguas, alcantarillado, climatización, gas, físico de la construcción y otras, fabricantes, proveedores, constructores (contratista general y subcontratistas), inspección, usuarios y entidades externas (instituciones financieras, reguladoras y normativas), y la comunidad en general.

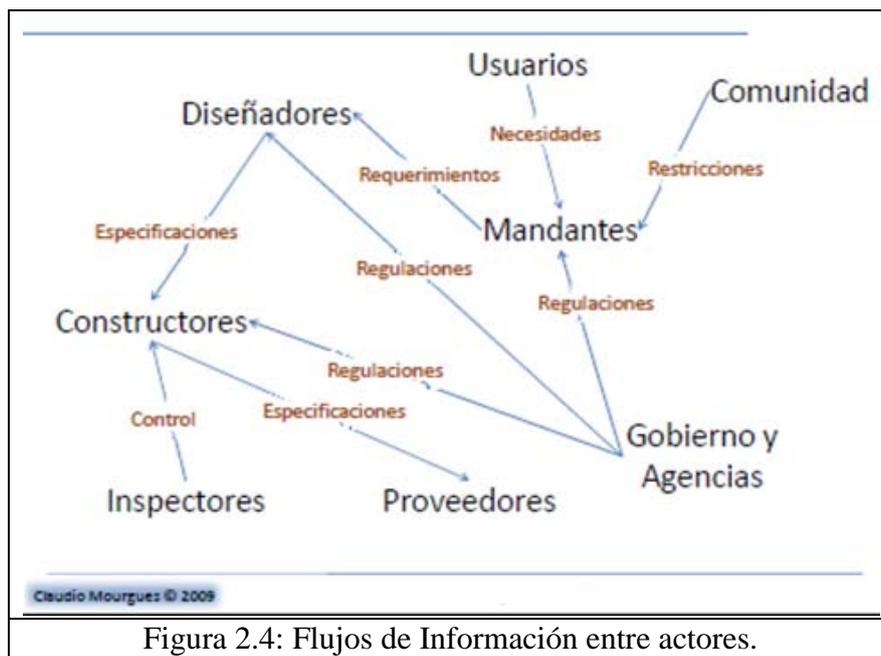


Figura 2.4: Flujos de Información entre actores.

El mandante crea y desarrolla un proyecto en función de las necesidades de los usuarios (información del mercado). Luego, le comunica estos requerimientos a los diseñadores (arquitectos, ingenieros) quienes elaboran planos y especificaciones que son transferidos al contratista general quien construye el proyecto en base a estas

<sup>3</sup> Deconstrucción es un concepto relativamente nuevo que tiene que ver con la reutilización de los materiales de la obra construida, en vez de demoler.

especificaciones, y el cual interactúa además con proveedores, fabricantes y subcontratistas.

Por otro lado, el mandante contrata a una ITO (Inspección Técnica de Obra) quien controla y supervisa la construcción de tal forma que cumplan los requerimientos de calidad establecidos por el mandante (apoyado por diseñadores).

El gobierno (o una agencia privada) define normativas (o estándares) que deben cumplir los distintos participantes. Por ejemplo para un Proyecto Habitacional:

- Mandante: altura y superficie máxima a construir, permisos municipales para el inicio de los trabajos, etc.
- Diseñadores: normas sísmicas, de aislación térmica, acústica, etc.
- Constructores: emisión de partículas y ruido generado (más del mínimo permitido implica multas), horarios de trabajo (trabajos nocturnos requiere de permisos), etc.

Por último, la comunidad puede establecer ciertas restricciones al mandante en un proyecto, en particular en aquellos de gran impacto ambiental y social (ej. construcción de las centrales hidroeléctricas en Aysén).

## **2.3. OPORTUNIDADES DE LA ACTUAL GESTIÓN DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN**

### **2.3.1. Problemas en etapa de Diseño**

El enfoque tradicional ha contribuido directa o indirectamente a la persistencia de los siguientes problemas en proyectos de ingeniería (Huovila et al, 97):

- No todos los requerimientos son identificados desde el comienzo.
- Los errores de diseño se detectan en fases posteriores, conduciendo a altos costos por trabajos rehechos.
- Gran consumo de tiempo o insuficientes y poco efectivas iteraciones para mejorar el diseño.
- Las esperas para aprobación, instrucciones o información, toman el mayor tiempo de los diseñadores.
- Las especificaciones no determinan las condiciones en que deben realizarse las actividades.

La ingeniería es un proceso, que ofrece mucha oportunidad de mejoramiento, en ella se captan los requerimientos del cliente, se genera valor al proyecto y se toman las decisiones más importantes que influyen directamente en el desarrollo de las

siguientes etapas. Freire y Alarcón (2002) diagnosticaron y evaluaron el proceso de diseño para tres proyectos en Chile. Las principales categorías de pérdidas en el proceso de diseño, según su estudio son:

- Ignorancia de los requerimientos del cliente.
- Burocracia y trabajos basados en el papel.
- Problemas de coordinación interdisciplinaria.
- Información no disponible.
- Trabajo rehecho.

Freire y Alarcón también estudiaron la distribución del tiempo en los procesos de diseño (desde el inicio a la obtención final de planos y especificaciones) y además calcularon el tiempo de espera en estos procesos (periodos de tiempo en que la actividad es detenida), para cada categoría. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 2.1: Distribución del tiempo y tiempos de espera en los procesos de diseño.

<b>Categorías</b>	<b>Duración (%)</b>	<b>Tiempo de Espera (%)</b>
<b>Diseño</b>	50,2	8,3
<b>Verificando Información</b>	8,2	4,0
<b>Recolectando Información</b>	28,1	21,0
<b>Corrigiendo Información</b>	12,2	7,1
<b>Emanando Información</b>	1,4	0,0

En esta tabla se puede observar que gran parte del tiempo es utilizado recolectando información (casi un 30% del tiempo), y de este tiempo, la quinta parte (21%) es perdido por esperas en el proceso.

### 2.3.2. Problemas en la Gestión de Materiales

En los procesos de gestión de materiales (cantidades de materiales, gestión de compras, despacho de materiales, medición de calidad de estos, etc.), en general, se presentan los siguientes problemas: exceso de material y atrasos en el programa de construcción originados por la falta de materiales o la no oportuna disponibilidad de estos. Las causas de estos problemas son muchas, pero entre las principales se mencionan:

- **Calidad de los materiales:** una mala estrategia de la calidad en etapas tempranas, origina que las fallas de los materiales sean detectados en forma tardía.
- **Ingeniería y cambios de diseño:** influyen directamente en la disponibilidad de los materiales, afectando todos los procesos de la gestión de estos. Es de suma

importancia notificar los cambios tan pronto como sea tomada la decisión a fin de minimizar sus impactos.

- **Deficiencias en el sistema de información de gestión de materiales:** origina descoordinación entre los participantes al no facilitar la información actualizada del proyecto. Un adecuado sistema de información permite monitorear el impacto de los cambios de diseño, permitiendo así la oportunidad para responder y minimizar los efectos de ese cambio. El sistema de información debe ser estructurado para trabajar en forma integrada con todos los participantes, y así permitir el control “on line” para proveer información actualizada e instantánea del estado del material.
- **Dificultades del control de materiales en el sitio:** en general no se cuenta con los medios necesarios para una adecuada administración de los procesos de gestión de materiales en terreno, al no existir un sistema que integre a los actores involucrados (proveedores, constructora en obra, oficina central de constructora, etc.).

La gestión de compras ofrece mucha oportunidad de mejoramiento. Un adecuado entendimiento de sus actividades y el apoyo de herramientas de integración de sus procesos pueden mejorar la productividad del proyecto en general.

### 2.3.3. Problemas en etapa de Construcción

#### 2.3.3.1. Diagnóstico de la Industria de la Construcción Chilena

Entre el año 2000 y 2002, el Centro de Excelencia en Gestión de la Producción de la Pontificia Universidad Católica de Chile (GEPUC) desarrolló un estudio para establecer un diagnóstico global de las pérdidas más frecuentes en la industria y analizar el grado de confiabilidad y cumplimiento de los programas de construcción.

En el resumen de este práctico diagnóstico (el cual se muestra en las figuras 2.5, 2.6 y 2.7), resaltaron como las pérdidas más frecuentes el **rehacer trabajos, detenciones, retraso de actividades y errores** (defectos de obra); y entre las fuentes más frecuentes de estas pérdidas se mencionaron los **cambios de diseño, información atrasada, mala planificación e información poco clara**.

Notar que a pesar de que estos estudios son hace 7 años atrás, como no ha habido avances sustanciales en la industria (a nivel general), estos problemas persisten en la actualidad, probablemente con similar incidencia.

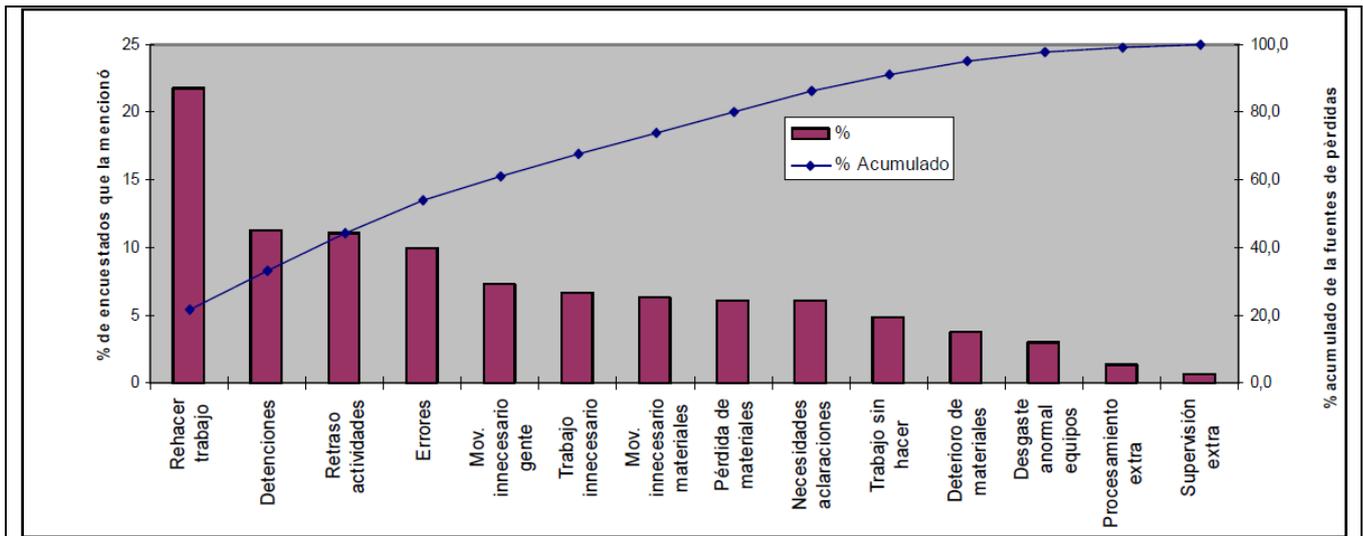


Figura 2.5: Pérdidas más frecuentes - 2001

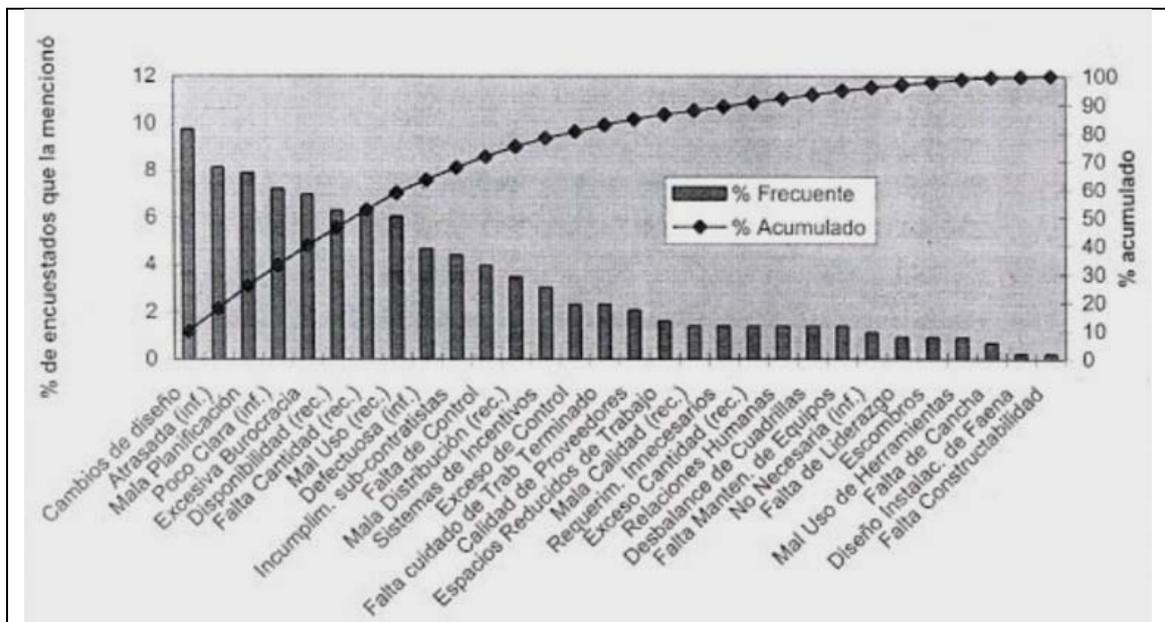
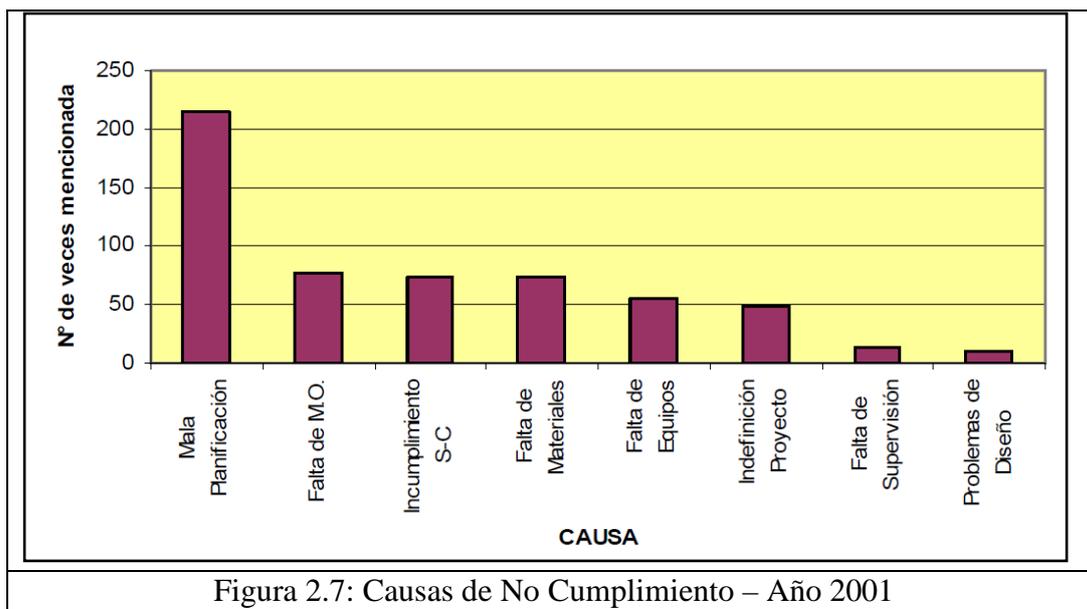


Figura 2.6: Fuentes de pérdidas más frecuentes - 2001

En el segundo estudio, sobre las causas de no cumplimiento de las actividades (ver figura 2.7) se observa la mala planificación como la principal causa de no cumplimiento del programa de construcción. Luego se mencionan la falta de mano de obra, incumplimiento de subcontratistas y la falta de materiales.



En resumen, se puede afirmar que los principales problemas en la industria de la construcción tienen su origen o están relacionados con el **diseño (cambios), la gestión de información y la planificación de recursos.**

### 2.3.3.2. Problemas de Documentación, Información y Comunicación

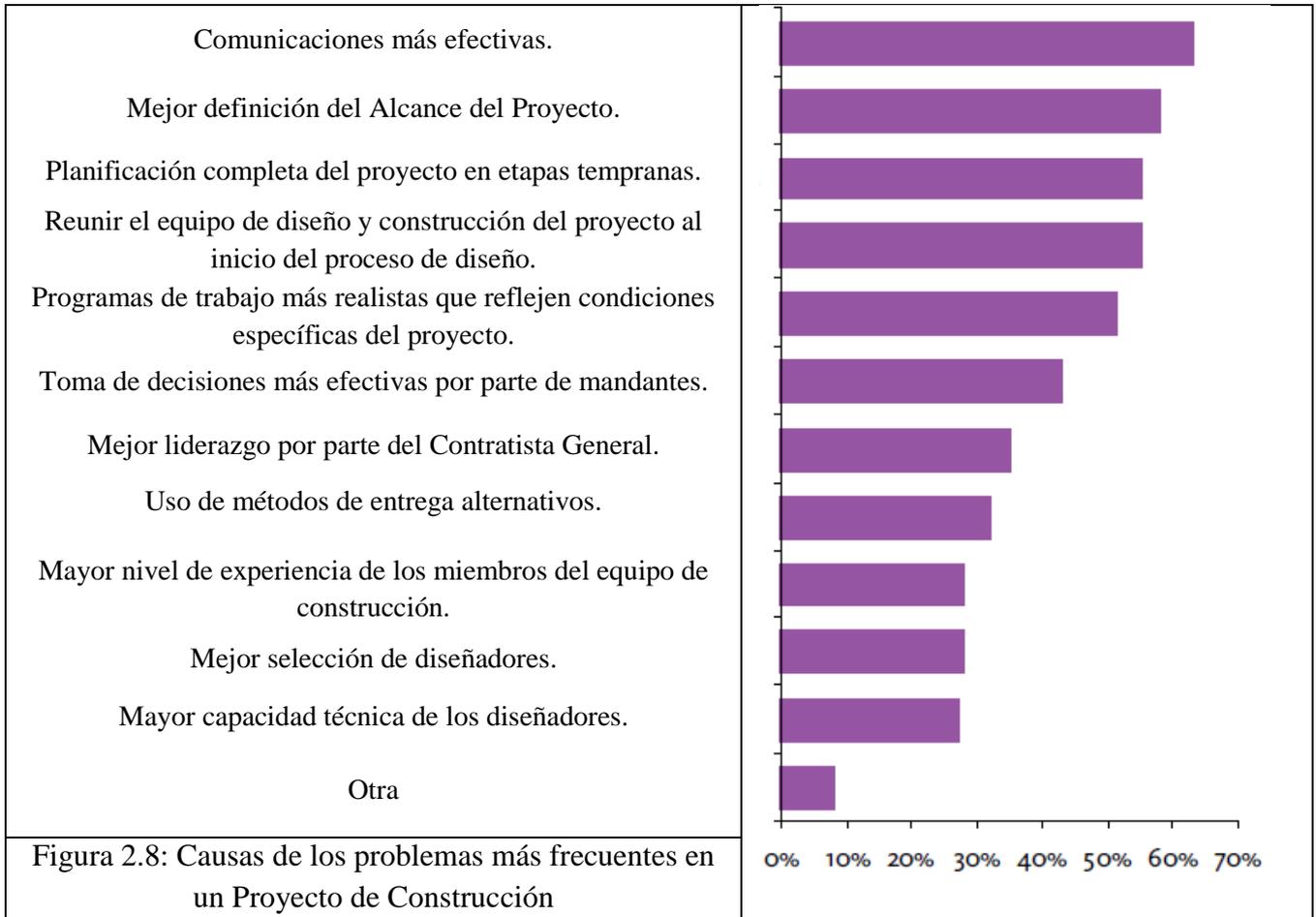
#### a. Comunicación y Coordinación

Dada la complejidad y magnitud de los proyectos, la información generada en torno a ellos es cada vez más abundante. La información producida por muchas fuentes y por distintos niveles de abstracción y detalle, contribuyen a la fragmentación de la industria. Por lo tanto, la comunicación y la cooperación entre estos fragmentos son clave para hacer posible la construcción.

Las organizaciones que emprenden múltiples proyectos de construcción o incluso sólo un proyecto de alta complejidad, pueden enfrentar ineficiencias en la comunicación que crean innecesarios y costosos retrasos. Aunque algunas organizaciones racionalizan exitosamente la comunicación de la información del proyecto en forma interna, todavía luchan para comunicar la información eficazmente con el equipo externo del proyecto. Flujos de información inadecuados, descentralizados y basados en el papel contribuyen a los múltiples desafíos que a menudo afligen a los proyectos de construcción. Una encuesta realizada el año 2007 por la FMI/CMAA<sup>4</sup> concluyó que la pobre comunicación entre organizaciones es la principal causa de los múltiples problemas ocurridos durante el ciclo de vida del

<sup>4</sup> Estudio anual realizado por la Asociación Americana de Gestión de la Construcción (CMAA) en asociación con la Corporación FMI que se ocupa de las tendencias en la construcción desde la perspectiva de los propietarios.

proyecto y tiene el mayor impacto en el costo, la duración, el alcance y la calidad de este.



La complejidad del problema de la comunicación no sólo reside en el tipo de proyecto, sino que en la inherente naturaleza de estos. Incluso el proyecto de construcción más básico requiere que la información fluya dentro y entre las organizaciones. Internamente, ejecutivos, gerentes de proyecto, financistas y el departamento legal crean, revisan, administran y aprueban documentos relacionados con el proyecto. Una vez que el proyecto está completado, estas organizaciones también deben administrar, operar y mantener las instalaciones, donde necesitan información que incluye planos as-built, plantas de espacios, especificaciones de equipos, garantías, etc. Por otro lado, gestionar la información del proyecto en forma interna es sólo la mitad de la batalla, usualmente la mitad fácil. Muchas organizaciones encuentran más difícil asegurar una comunicación efectiva entre las compañías involucradas en el proyecto. Un proyecto demanda comunicaciones externas con clientes, agencias de gobierno, ingenieros, consultoras, constructores, subcontratistas, abogados, inversionistas, proveedores, y muchos más.

**Comunicación interna - problemas de interpretación:** En la foto, el Administrador de Obra (1) está explicando a los integrantes de la oficina técnica el programa de trabajo semanal y cada receptor interpreta la información en forma distinta, al estar cada uno preocupado de lo que debe hacer: (2) del Control de Costos; (3) de las Cantidades de obra; (4) de los Contratos con subcontratistas; (5) de la Logística e Información Geoespacial.

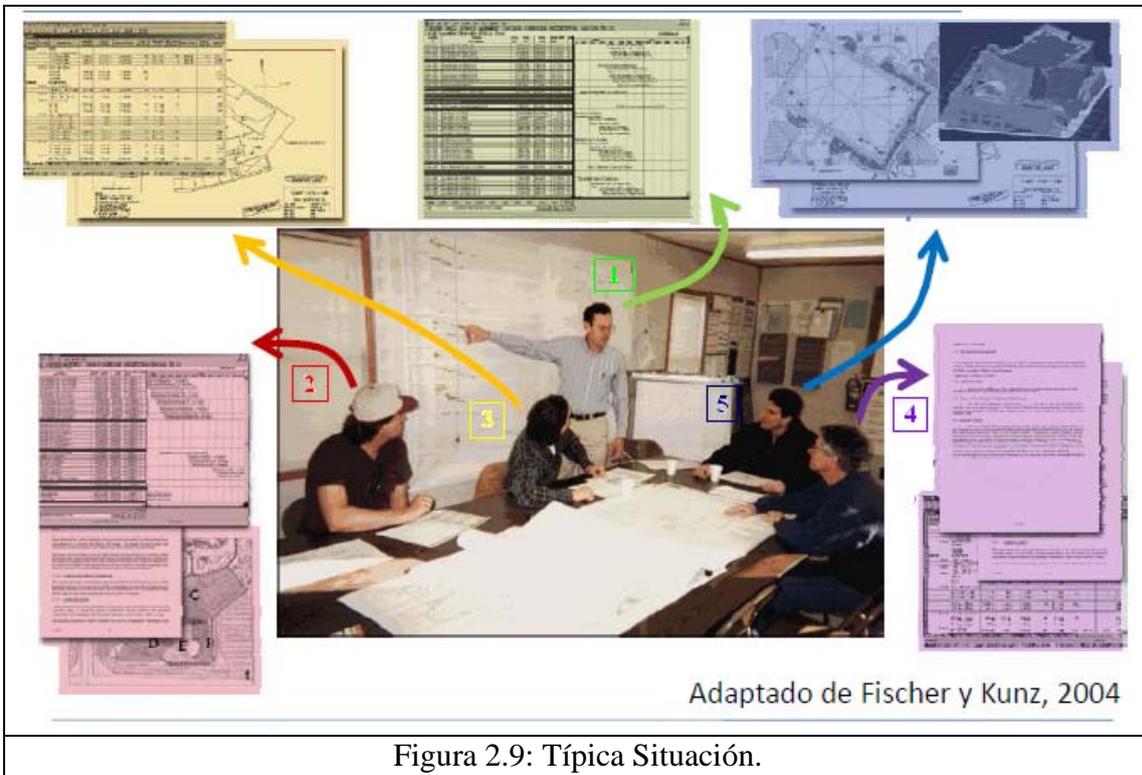


Figura 2.9: Típica Situación.

Cabe destacar en la figura, la utilización de papel para comunicar y la presencia “física” de las personas (probablemente en no muchos años esta reunión será distinta y en algunos proyectos actuales ya lo es: reuniones virtuales utilizando modelos 3D y 4D para comunicarse).

**Comunicación externa – problemas de entendimiento entre los participantes del proyecto:** Los profesionales de la construcción utilizan planos, especificaciones en papel, diagramas Gantt, etc. para predecir, entender y comunicar el alcance y el desempeño de sus proyectos. Esta forma de trabajo no es la más eficaz para planificar, controlar y coordinar las actividades, en particular en proyectos de gran envergadura que contienen mucha información y proyectos complejos, donde existen muchas iteraciones y modificaciones en su diseño, cambios que se desarrollan incluso en la etapa de construcción causando costos cuantiosos para el mandante.

Con estas herramientas (planos, especificaciones en papel, etc.), existe un difícil entendimiento entre el Mandante con los demás actores, quien aprueba el diseño. Esto produce incertidumbre en todas las fases siguientes del proyecto.

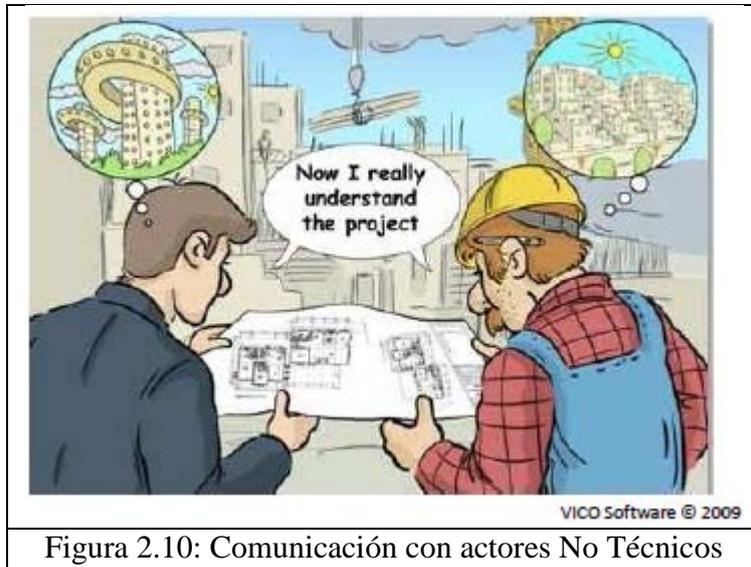


Figura 2.10: Comunicación con actores No Técnicos

**b. Incertidumbre de los profesionales respecto al alcance y desempeño del proyecto durante su ejecución**

La cantidad de información con la que cuenta un proyecto y la forma en la que se encuentra representada y organizada influye directamente en la incertidumbre existente en el proyecto. En la actualidad, el conocimiento del alcance del proyecto se basa en la interpretación de planos y especificaciones técnicas. Ambos tipos de documentos pueden presentar incongruencias entre si y llevar a cometer errores, por ejemplo, en las cubicaciones. El arquitecto crea en su mente una imagen del proyecto que quiere desarrollar y de esa imagen extrae los planos y especificaciones. El constructor recibe estos documentos y construye en su mente una nueva imagen del proyecto que generalmente no coincide con la imagen pensada por el arquitecto.

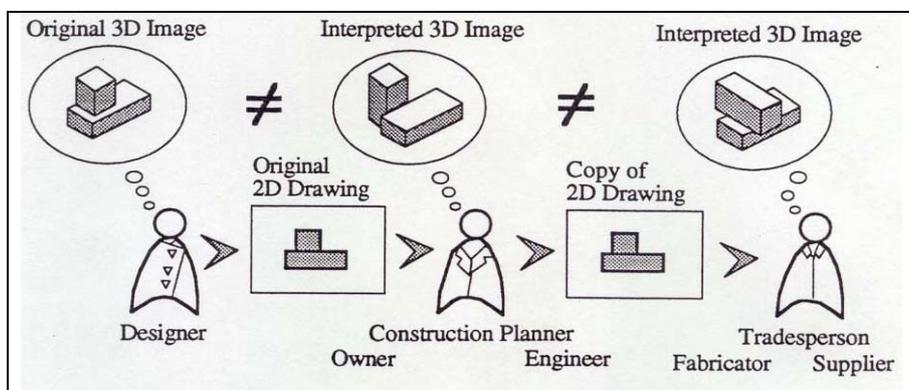


Figura 2.11: Distintas interpretaciones del producto a construir por parte de actores del proyecto

Este es un riesgo que es preferible evitar para reducir el número de imprevistos que se generan durante la ejecución de la obra. Generalmente, la incertidumbre implica una variabilidad en los procesos de construcción, lo cual, según la filosofía “Lean Construction”, una aparición de pérdidas en el proyecto. Información de calidad (disponible, confiable, transparente, exacta, etc.) más el uso de herramientas predictivas de análisis son importantes para reducir estos riesgos.

#### **c. Disponibilidad y Confiabilidad de la Información del proyecto**

Gran parte de los proyectos no cuentan con un almacén central de datos donde se organice y ordene la información de tal forma que cualquier profesional pueda acceder en forma rápida a información confiable. La información no está concentrada en un solo lugar sino que aparece en distintos sitios y generalmente con inconsistencias, causando por ejemplo retrasos para gestionar los pedidos: no saber que pedir, cuanto pedir, ni cuando hacerlo o hacer juicios apresurados y erróneos. Todo esto se refleja en demoras, baja calidad y costos extras.

La poca precisión de la información le resta confiabilidad a los procesos que ocurren en la construcción, principalmente en materias relativas a las cantidades y costos reales de la obra. Por ejemplo, la mayoría de las veces se utiliza el escalímetro, la calculadora, el lápiz y papel, para la obtención de las cubicaciones del proyecto, proceso lento y de poca precisión. Además hay un doble trabajo, ya que una vez ganada la licitación, el contratista cubica nuevamente la obra (no confía en la precisión de las cubicaciones calculadas durante la licitación).

#### **d. Consistencia en la Documentación**

Como se ha comentado anteriormente, en un proyecto de construcción, particularmente en los complejos y de gran envergadura, se producen cambios constantes, que generan inconsistencias en la documentación. Actualmente se utiliza el papel como medio para capturar e intercambiar información entre los participantes del proyecto. Este proceso es engorroso y contribuye a que aumente la probabilidad de error en la transmisión de información. Ante cambios, la información del proyecto no se actualiza rápida y eficazmente en todos los documentos involucrados, además los profesionales involucrados pierden confianza en la información brindada.

Para mejorar la consistencia en la documentación es necesario estandarizar los procesos constructivos y administrativos. Según estudios relacionados con la filosofía “Lean Construction”, con procesos consistentes se tiene una menor variabilidad y con esto una mayor productividad en los trabajos y mejores planificaciones con lo que se controlarán mejor los riesgos y se reducirán los costos del proyecto.

e. **Calidad del proceso de Toma de Decisiones**

En la actualidad los profesionales de la construcción toman la mayoría de sus decisiones durante la etapa de construcción del proyecto. Existe poca cultura para desarrollar un trabajo multidisciplinario anterior a la ejecución del proyecto donde se converse de los posibles problemas, se hagan análisis de constructabilidad y donde se puedan desarrollar escenarios “que pasaría si”, previo a la construcción, necesario para tomar decisiones eficientes en el futuro.

Por otro lado, muchas veces los profesionales no cuentan con la cantidad y calidad de información necesaria para tomar decisiones correctas y rápidas, los administradores de proyectos tienen muchas interrupciones y a menudo deben atender requerimientos urgentes (tiempo dedicado a “apagar incendios”) que les impide terminar su propio trabajo (Alarcón y Pavez, 2006).

Un interesante análisis es el que se muestra en la figura 2.12, acá se observa que la toma de decisiones en etapas tempranas del proyecto mejora la habilidad de controlar costos, es decir, en un diseño “inteligente” la idea es trasladar el esfuerzo a la etapa de diseño donde los costos por cambios del diseño de la edificación no son tan cuantiosos. Actualmente, la toma de decisiones más importantes del proyecto se hace en la etapa de construcción, dónde los cambios son sumamente costosos.

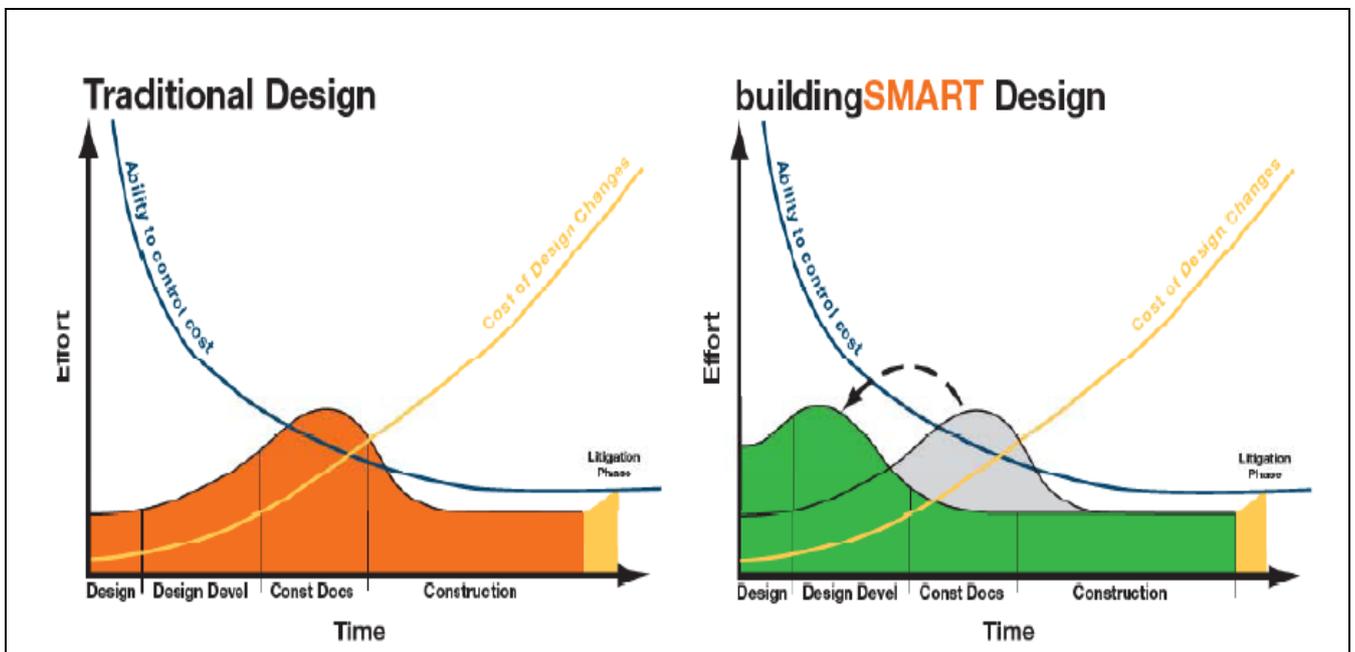


Figura 2.12: Potencial para influir en el costo final. Gráficos proporcionados por Patrick Maclearny, Presidente de HOK y IAI International

## 2.4. OPORTUNIDAD DE LAS TI PARA MEJORAR LOS PROBLEMAS DE LA INDUSTRIA

Las oportunidades para elevar los niveles de productividad en la industria AEC<sup>5</sup>, en particular en el área de construcción, aun no han sido aprovechadas. El diagnóstico elaborado muestra los grandes problemas que padecen los proyectos de construcción. En ese sentido, la explosión de las TI se presenta como una poderosa herramienta, que puede contribuir de manera decisiva al despegue de la industria. Sin embargo, este aprovechamiento tiene que ir acompañado de una estrategia de implementación que permita aprovechar al máximo su verdadero potencial. Actividades clave como el diseño y la planificación, que tienen una incidencia directa y decisiva sobre la construcción, pueden ser ampliamente mejoradas con la incorporación de nuevas herramientas de TI como los modelos BIM.

La aplicación de TI se muestra como el paso natural a seguir en las industrias y sectores que desean obtener competitividades de clase mundial. Las oportunidades de mejorar los procesos en la industria de la construcción mediante la implementación de TI se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 2.2: Oportunidades de mejora con Tecnologías de la Información

Dimensión	Valor		
	Eficiencia	Efectividad	Estratégico
<b>Tiempo</b>	Acelera tareas del usuario	Elimina flotamiento de información	Establece servicio al cliente en forma oportuna
<b>Distancia</b>	Mejora escala para mirar con perspectiva.	Presenta puerta única de acceso	Alcanza presencia global
<b>Relaciones</b>	Altera rol de intermediarios	Permite hacer micro marketing para mirar detalles	Crea dependencia de los usuarios
<b>Interacción</b>	Hace uso de retroalimentación del usuario	El usuario controla el nivel de detalle.	Comunidad en línea
<b>Producto</b>	Automatiza tareas usando agentes de software	Proporciona herramientas de apoyo a decisiones en línea	Combina información, productos y servicios
<b>Información</b>	Almacenamiento y manejo de grandes volúmenes	Identificaciones de patrones "ocultos"	Prever situaciones y necesidades

El objetivo principal de la mayoría de las aplicaciones de TI es acercar a cada uno de los integrantes de las diversas etapas del proyecto, colaborando y compartiendo información. Un modelo central de información puede reducir considerablemente los flujos de información entre actores del proyecto. En la figura 2.13 la misma información es ingresada en promedio 7 veces en diferentes sistemas (Rischmoller, L.).

<sup>5</sup> AEC es el acrónimo de Architecture, Engineering and Construction que traducido al castellano significa Arquitectura, Ingeniería y Construcción.

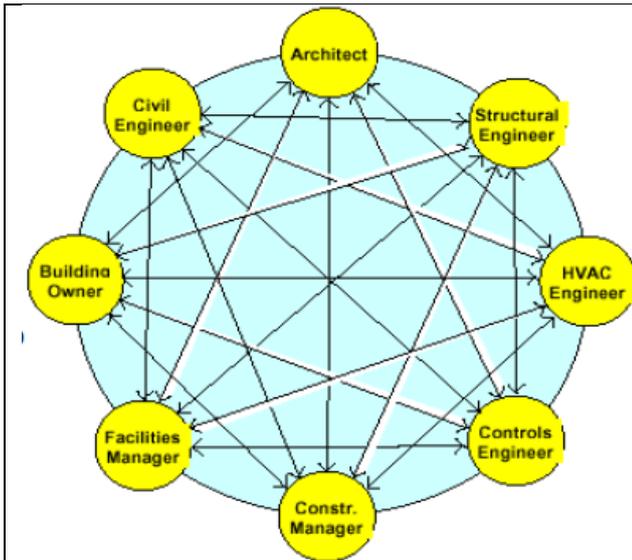


Figura 2.13: Flujo de información basado en esquema de trabajo tradicional

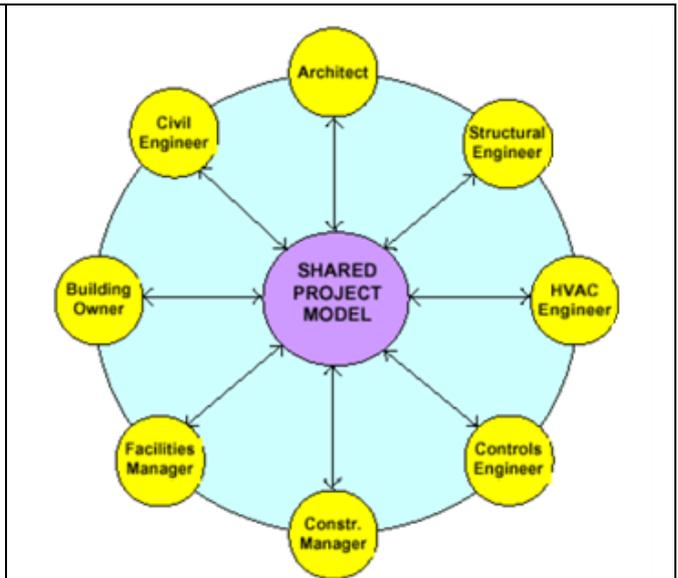


Figura 2.14: Flujo de información basado en esquema de trabajo integrado

Las TI no han sido adoptadas masivamente por la industria de la construcción y el problema no radica en los componentes (personas, procesos y herramientas) si no que en los vínculos, interacción e integración de estos.

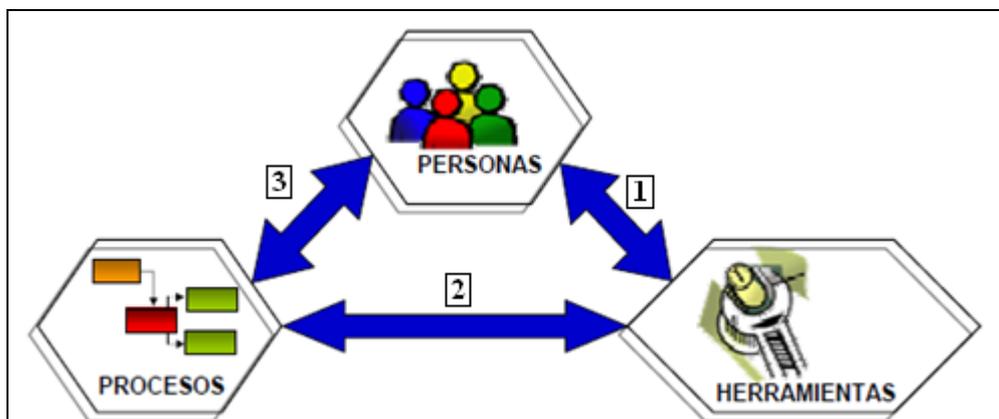


Figura 2.15: Componentes de las TI

Los temas a tratar son los siguientes:

- (1) **Interacción Herramientas – Personas:** Conocimiento. Capacitación. Disponibilidad de la Información. Aceptación de las personas. Evaluación e incorporación de costos.
- (2) **Interacción Herramientas – Procesos:** Rediseño de Procesos ¿Se tiene el conocimiento?. Integración de ingeniería de computación y construcción. Manejo de la información (flujos, documentos).
- (3) **Interacción Procesos – Personas:** Integración. Diseño colaborativo. Gestión. Estructura organizacional. Resistencia al cambio.

La idea es identificar estos desafíos y gestionarlos de tal forma de implementar correctamente la tecnología en la Empresa.

Tabla 2.3: Desafíos de implementación

<b>Desafíos de Implementación</b>	<b>Elementos de una buena implementación</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de procesos de trabajo.</li> <li>• Cambio cultural y regulatorio.</li> <li>• Falta de mano de obra capacitada.</li> <li>• Interoperabilidad.</li> <li>• Rigidez de los sistemas.</li> <li>• Beneficios/Costos poco claros.</li> <li>• Poca disposición a compartir información.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apoyo de la administración superior.</li> <li>• Objetivos claros.</li> <li>• Plan del proceso de implementación incorporando los 3 elementos de las TI.</li> <li>• Identificación y organización de la información.</li> <li>• Indicadores de proceso y resultado.</li> <li>• Clara identificación y manejo de roles: costos, beneficios, riesgos, derechos y responsabilidades.</li> </ul>

### **III. TECNOLOGÍA BIM: APLICACIONES, VENTAJAS Y DESAFÍOS**

#### **3.1. EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA: DE VECTORES A OBJETOS A MODELACIÓN PARAMÉTRICA**

En su momento, la inclusión de las tecnologías CAD fue un avance sustancial y positivo para la industria. Pasar de dibujar planos “a mano” a generarlos con herramientas computacionales tenían variadas ventajas: permitir dibujar y actualizar planos en forma digital y más rápida, programar y hacer rutinas de automatización para acelerar los procesos, entre otras. Sin embargo, estas herramientas no están a la altura de los proyectos de hoy en día, de mayor complejidad y envergadura.

Las herramientas originales CAD utilizaban una geometría basada en coordenadas explícitas para crear entidades gráficas (líneas, círculos, etc.). Aunque editar estos gráficos “tontos” era una actividad relativamente fácil de manejar, requería de mucho tiempo y estaba muy propensa a cometer errores. A medida que estas herramientas gráficas maduraron, las entidades se combinaron para representar un elemento de diseño u objeto (un muro, un hoyo, una puerta, etc.). Dependiendo del software utilizado, los modelos se convirtieron más “inteligentes” y fueron más fáciles de editar. Modeladores de superficies y de sólidos añadieron más inteligencia a los elementos y permitieron la creación de formas más complejas. Pero el resultado aun era un modelo geométrico basado en coordenadas, difícil de editar, actualizar y de extraer dibujos/vistas desde el mismo.

Luego vinieron las herramientas paramétricas de modelación que utilizan, valga la redundancia, parámetros (números, características o vínculos) para determinar el comportamiento de una entidad gráfica y definir relaciones entre elementos del modelo. Por ejemplo “El diámetro de este hoyo es de 1 metro” o “la puerta estará en el punto medio con respecto a los bordes del muro”. Eso significó que los criterios de diseño podrían ser incorporados durante el proceso de modelamiento y editar el modelo se convirtió en un proceso más rápido y fácil de realizar.

En las figuras 3.1, 3.2 y 3.3 se puede apreciar visualmente la evolución de esta tecnología y sus diferencias. En la figura 3.3: 1. Vista en 3D del edificio; 2. Vista en planta de algún piso del edificio; 3. Detalle de un elemento para su construcción; 4. Tabla de ubicaciones del elemento; 5. Browser para acceder a la base de datos del proyecto.

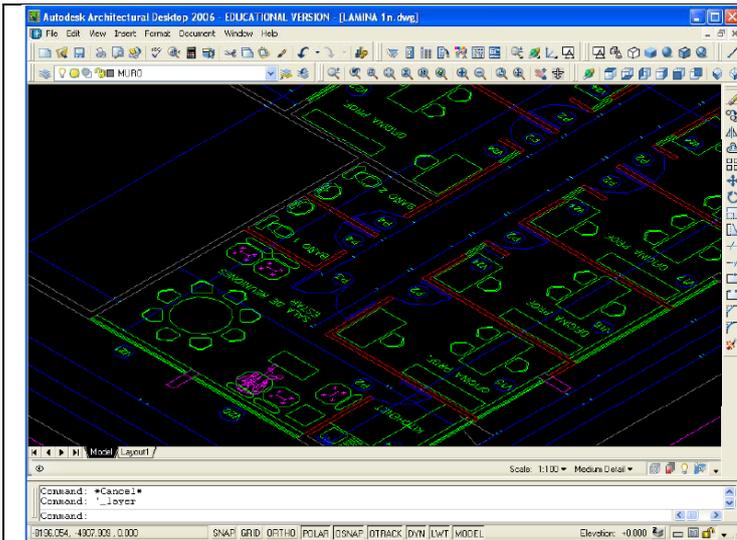


Figura 3.1: Plano en 2D, donde vectores (layers) representan en planta muros, ventanas, puertas, etc.

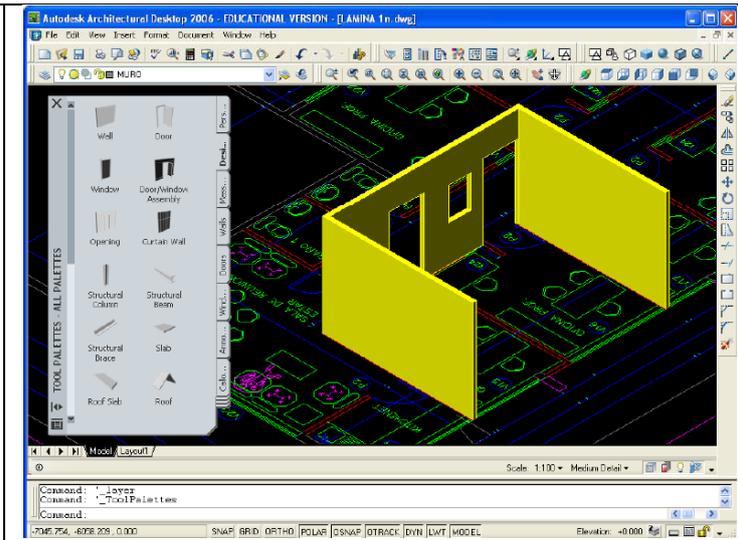


Figura 3.2: Elemento 3D que representa los muros de una habitación con los vanos de puertas y ventanas

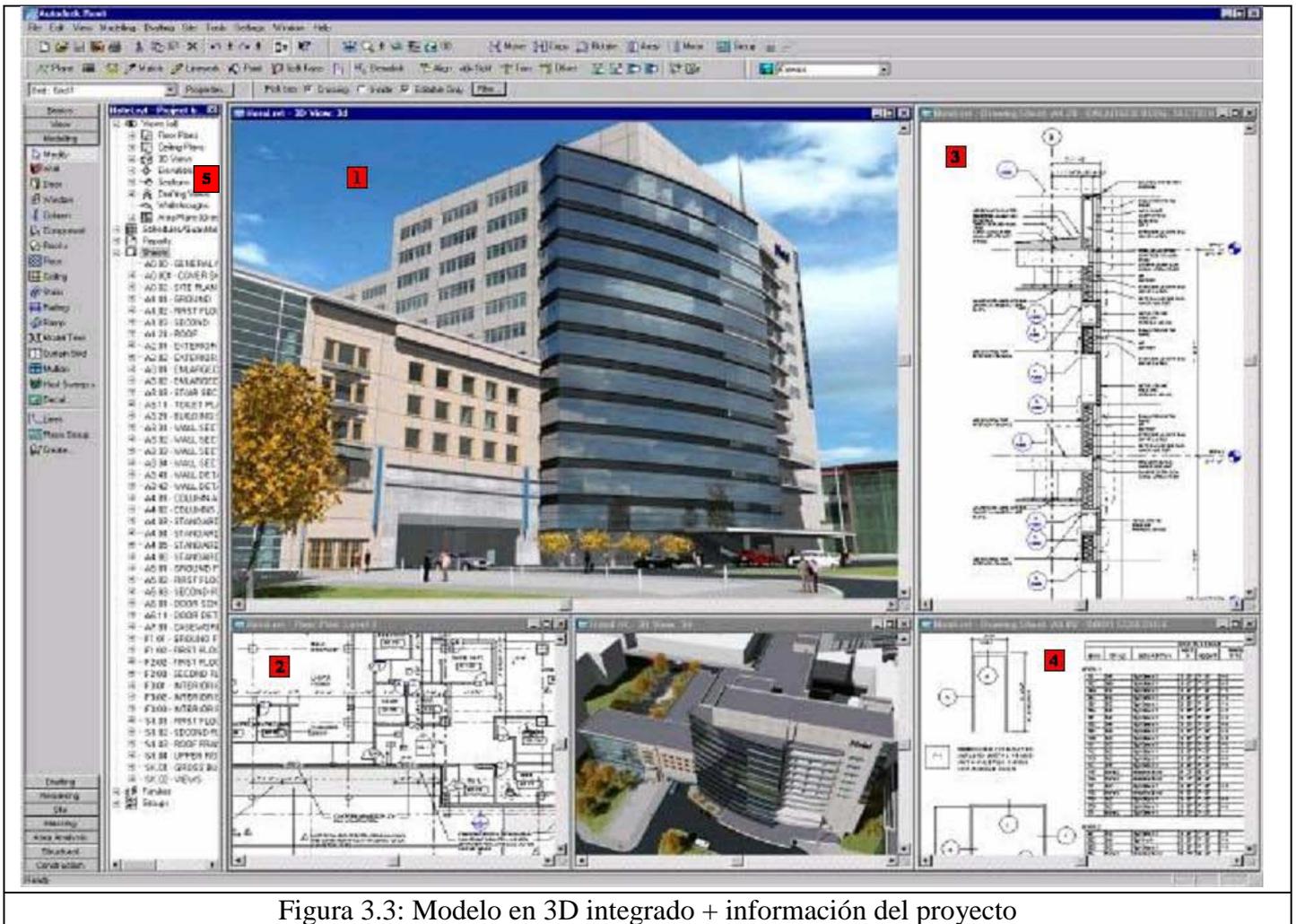


Figura 3.3: Modelo en 3D integrado + información del proyecto

### 3.2. ¿QUÉ ES BIM?

La exposición al público, el entendimiento y la adopción de tecnologías BIM está evolucionando y expandiéndose. En este proceso, la industria y organizaciones académicas están usando diferentes definiciones para el concepto BIM.

La **NIBS** (National Institute of Building Standards) define: *“BIM es una representación digital de las características físicas y funcionales de una instalación. Sirve como fuente de conocimiento para compartir información acerca de una instalación formando una base confiable para tomar decisiones durante su ciclo de vida, desde el inicio hacia adelante”*.

La **AGC** (Associated General Contractors of America) ve a BIM con una tecnología que *“permite la construcción virtual de estructuras a través del desarrollo y uso de software computacionales inteligentes que ayudan a simular la construcción”*.

La **GSA** (U.S. General Service Administration) separa a BIM entre el proceso de modelamiento (Building Information Modeling) y el modelo (Building Information Model) y los define como sigue: *“Modelamiento de Información de la Edificación es el uso de software multifacéticos para no sólo documentar y desarrollar el diseño de una edificación, sino que simular la construcción y la operación de esta. El resultante Modelo de Información es una representación digital, basada en objetos, paramétrica y rica en datos de la edificación, desde donde vistas apropiadas para varios usuarios pueden ser extraídas del modelo y analizadas para generar retroalimentaciones y un mejoramiento del diseño de la obra que se quiere ejecutar”*.

El **SCRI** (Salford Centre for Research and Innovation, de la Universidad de Salford, Inglaterra), define a la Modelación Multidimensional como *“la representación digital y visual, utilizando software comercialmente disponibles o una herramienta computacional única, de las dimensiones de un proyecto; cuyo objetivo es mejorar la planificación, coordinación y control de los proyectos de construcción”*.

El **CIFE** (Center for Integrated Facility Engineering de la Universidad de Stanford) a desarrollado el concepto de VDC (Virtual Design and Construction) y lo define como *“el uso de modelos virtuales, multidisciplinarios de proyectos de diseño y construcción, incluyendo modelos de productos, procesos y organizaciones, para apoyar objetivos de negocios explícitos y públicos”*. Aunque este concepto es un poco más amplio que el que se emplea para BIM, como se explico en el punto 1.1.1, son desarrollos tecnológicos que apuntan a lo mismo: mejorar y facilitar la gestión de los procesos involucrados en un proyecto de construcción.

Como se especificó anteriormente, BIM es un concepto aún en evolución, el cual continuará cambiando a medida que las capacidades tecnológicas y las habilidades humanas para manipular estas tecnologías mejoren. En este trabajo, más que buscar “la

mejor” definición de BIM, el autor expondrá las principales características de estos modelos, sus aplicaciones y los desafíos que implica, para así formar una idea clara del concepto.

BIM es una representación digital rica en datos que describe las características físicas y funcionales del diseño y la construcción de una instalación. Sirve como una base compartida de conocimiento, la cual proviene de un intercambio abierto de información a través de una plataforma operada por las distintas especialidades que manipulan el modelo. BIM sirve como una base confiable para la toma de decisiones y provee de una plataforma para análisis automatizados que pueden asistir la planificación, los procesos de diseño, la gestión en la construcción y las actividades de operación y mantenimiento.

El propósito de BIM es hacer de la información del diseño explícita, de tal forma que el diseño intentado y programado puede ser inmediatamente entendido y evaluado. Un enfoque basado en BIM apoya la generación de documentos (dibujos 2D y 3D, listas, tablas, etc.) en forma simultánea y desde un modelo consistente. Un modelo BIM contribuye a la eficiencia de los procesos y provee de una mayor precisión en comparación a los tradicionales dibujos CAD en 2D.

Se suele confundir modelos 3D (maquetas electrónicas) con un modelo de información. BIM, además de ser un modelo en tres dimensiones (información gráfica) se le puede incorporar información relevante del proyecto (información no gráfica), la cual queda guardada en la base de datos del modelo. La otra característica de un modelo de información es que este posee un grado de inteligencia, dada por dos particularidades: **Diseño Paramétrico**, con el que ahora los elementos (muros, vigas, ventanas, puertas, etc.), antes representados por propiedades fijas (ancho, alto, largo por ejemplo), son caracterizados por parámetros y reglas que determinan la geometría del edificio. Y lo que se conoce por **Bidireccionalidad Asociativa** con lo cual se pueden gestionar los cambios durante el diseño, por ejemplo al hacer una modificación en el modelo, automáticamente todas las vistas (2D) generadas a partir de este se actualizan, eliminando posibles inconsistencias.

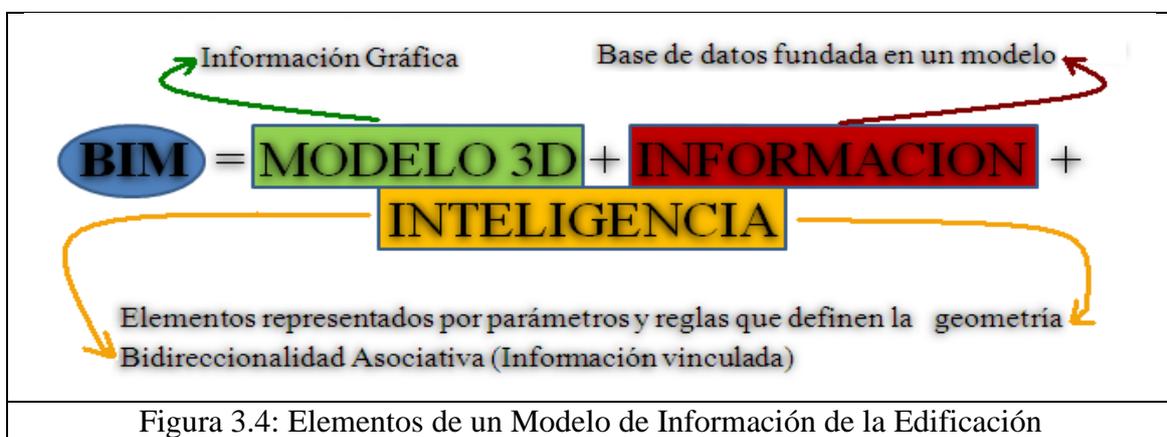


Figura 3.4: Elementos de un Modelo de Información de la Edificación

## **a. Información**

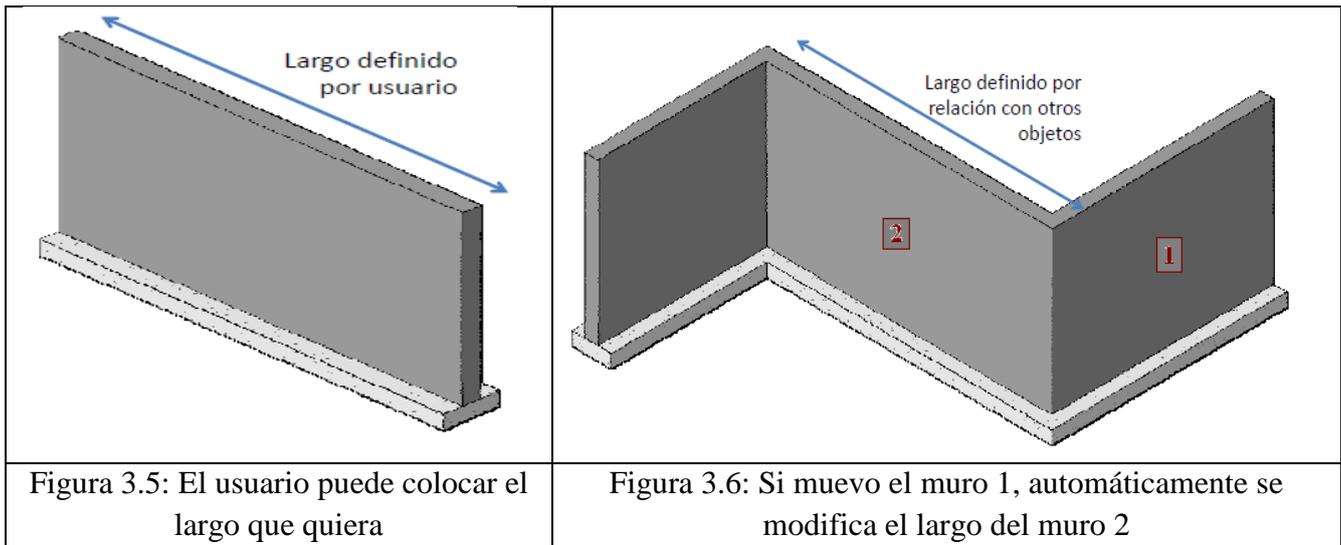
Antes de implementar un enfoque BIM en un proyecto en particular, la organización debe definir los objetivos de negocios que se esperan obtener de este (ej. reducir costos, mayor control de la información, mejorar la eficiencia en los procesos, etc.). Dependiendo estos objetivos, se especificará la clase (que aplicaciones utilizar) y la profundidad de la implementación (por ejemplo una constructora, puede escoger aplicar BIM en un proyecto en particular o tener un “departamento BIM”, donde todas las propuestas pasen por este departamento). Con los objetivos definidos, se determina el nivel de detalle (NDD) de los modelos y la cantidad de información a incluir y compartir.

La información que contiene el modelo se puede almacenar en forma automática (ej. cubicación de los materiales) o incorporar en forma manual (ej. programa de actividades de construcción) y la cantidad de información debe ser la adecuada para cumplir las necesidades del proyecto. Un mayor esfuerzo en incluir más información (irrelevante para los objetivos definidos) no producirá nada más que mayores costos. El tipo de información que se puede incluir y la forma de procesarla se explicará de mejor forma en capítulos posteriores.

## **b. Modelación Paramétrica:**

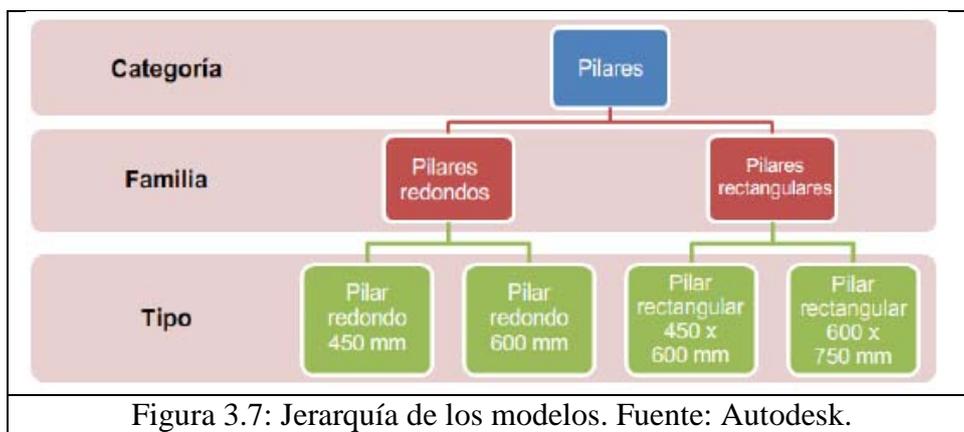
Se refiere a que los elementos son representados por parámetros y reglas que determinan la geometría y algunas propiedades no geométricas. Ejemplos:

- Se puede restringir el nivel superior de la columna al nivel inferior de la losa donde ambos elementos se unen. Así si cambio el nivel de la losa a una cota superior la columna automáticamente aumentará su altura.
- Si se coloca una ventana o una puerta en un muro, no es necesario hacer previamente un hoyo en el muro de las dimensiones de la ventana o puerta, estos elementos inteligentes se dan cuenta del vínculo que existe entre estos. Luego, cuando se extraigan las cubicaciones, del hormigón utilizado por ejemplo, el modelo por si solo se da cuenta de que hay una ventana en el muro y por ende, no sumará los cubos de hormigón correspondientes a la parte donde existe el vano de la ventana.
- Existen códigos y regulaciones que pueden ser embebidas para definir el comportamiento de los objetos. Por ejemplo se podría definir la armadura mínima del muro, al introducir restricciones de la norma sísmica.



Es importante destacar que el modelamiento paramétrico tiene una jerarquía que se debe respetar: Las herramientas BIM definen **familias** de objetos de edificación (muros, columnas, vigas, losas, ventanas, etc.) y permiten al usuario crear nuevas. Estas familias permiten crear **instancias** (tipos) de cada uno de estos elementos. La forma de estas instancias depende de parámetros (largo, alto, espesor, tipo, etc.) y vínculos con otros objetos (ventana-muro, etc.). Los **atributos** de los objetos (información adicional), definidos automáticamente o por el usuario, son usados en distintos análisis de los modelos, análisis energéticos (necesario conocer el material con el que está hecho), de iluminación (altura y posición del elemento), de costos (tener la cubicación y el análisis de Precios Unitarios), etc.

Algunos ejemplos de atributos de elementos pueden ser el código del elemento, material con el que está hecho, proveedor que fabrica este, costo, fecha en que debe estar terminado, etc.



### 3.3. BIM: DEMANDAS DE CAMBIO

En general, el mayor potencial de la aplicación de BIM se da en proyectos donde la coordinación y comunicación es clave para el éxito de este, particularmente en proyectos de gran envergadura, proyectos con actores dispuestos en distintos lugares del globo y proyectos complejos en donde intervienen muchos actores.

Por un lado, en proyectos de gran envergadura se genera una cantidad masiva de documentos e información que debe ser comunicada, revisada y archivada efectivamente.

En proyectos “distribuidos”, el mandante puede estar en Londres, el terreno donde se construirá en Dubái, el contratista general en Nueva York, el arquitecto en San Francisco, los ingenieros en Chicago y el proveedor de acero en China. En este tipo de proyectos, la información debe atravesar el globo de una forma racional, efectiva y estandarizada.

En proyectos de alta complejidad, como puede ser la construcción de hospitales y sus instalaciones, se extienden por largos periodos de tiempo e involucran múltiples participantes que deben proveer retroalimentaciones oportunas de planificaciones, presupuestos y tomar decisiones apoyadas, idealmente, con información actualizada y precisa.



Para poder construir estos proyectos y desarrollarlos en forma eficiente y efectiva, cumpliendo además las restricciones de tiempo, costo y calidad, es necesario apoyarse en Tecnologías de Información para gestionar los procesos, particularmente en

sistemas centralizados de información (BIM por ejemplo). Estos sistemas computacionales, como cualquier otra TI, sólo proveen de las herramientas, el verdadero cambio viene en los procesos y en la cultura de trabajo de la organización, que deben modificarse, de tal forma de aprovechar al máximo las herramientas de modelación e integración de los software BIM, y así cumplir los requerimientos cada vez más restrictivos en proyectos de gran complejidad. Se requiere de cambios en la forma en que se relacionan los actores actualmente, que fomenten una mayor integración y colaboración entre estos. El **Método de Entrega Integrada del Proyecto (IPD)** promueve esta colaboración desde etapas tempranas del proyecto y en el cual BIM es la base para las operaciones y procesos involucrados.

El Instituto Norteamericano de Arquitectos define el Método de Entrega Integrada del Proyecto como “un método de entrega que integra personas, sistemas, estructuras de negocio y prácticas en un proceso que colaborativamente aprovecha los talentos y perspectivas de todos los participantes para reducir las pérdidas y optimizar la eficiencia en los trabajos en cada una de las fases de diseño, fabricación y construcción”.

Incorporando un modelo BIM en un proceso IPD le permite al equipo del proyecto utilizar la información en un ambiente integrado, aumentando la eficiencia y permitiendo nuevas formas de trabajo que inspiran mayor creatividad y diseños más sustentables. Además, se generan mejores resultados en términos de predicción y precisión del proyecto de construcción.



Conceptualización	Diseño	Creación e Implementación de Documentos	Construcción	Operación y Mantenimiento
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proceso Colaborativo.</li> <li>- Actores clave contribuyen experiencia.</li> <li>- Mejora la toma y calidad de decisiones.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Controlado por uso de modelo de diseño preciso.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cumpliendo plazos y costos.</li> <li>- Planeamiento Temprano = eficiencia en el uso de material, menos pérdidas.</li> <li>- Ordenes de Cambio son minimizados.</li> </ul>	
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo Digital de la edificación para ayudar la gestión de las instalaciones.</li> </ul>	

Figura 3.10: Ventajas Método IPD integrado con BIM. Fuente Autodesk

### Claves para una Entrega Integrada del Proyecto:

- Involucrar a todos los miembros del equipo en reuniones de diseño, incluyendo a constructores.
- Modelo BIM como instrumento base para la comunicación y la vinculación entre disciplinas y sus diseños.
- Establecer mecanismos contractuales que permitan la colaboración. Crear una cultura de confianza.
- Minimizar procesos basados en el uso de papel. Colaborar digitalmente.
- Chequear y gestionar interferencias (no solo espaciales) entre disciplinas, digitalmente.
- Comunicar ideas de diseño usando visualizaciones en 3D para mantener a todos presentes y alineados.

### 3.4. APLICACIONES DE LA TECNOLOGÍA BIM

Las aplicaciones de los sistemas BIM son múltiples, y su utilización en un proyecto, dependerá de los objetivos de negocios definidos al implementar esta tecnología. Las principales aplicaciones son las siguientes:

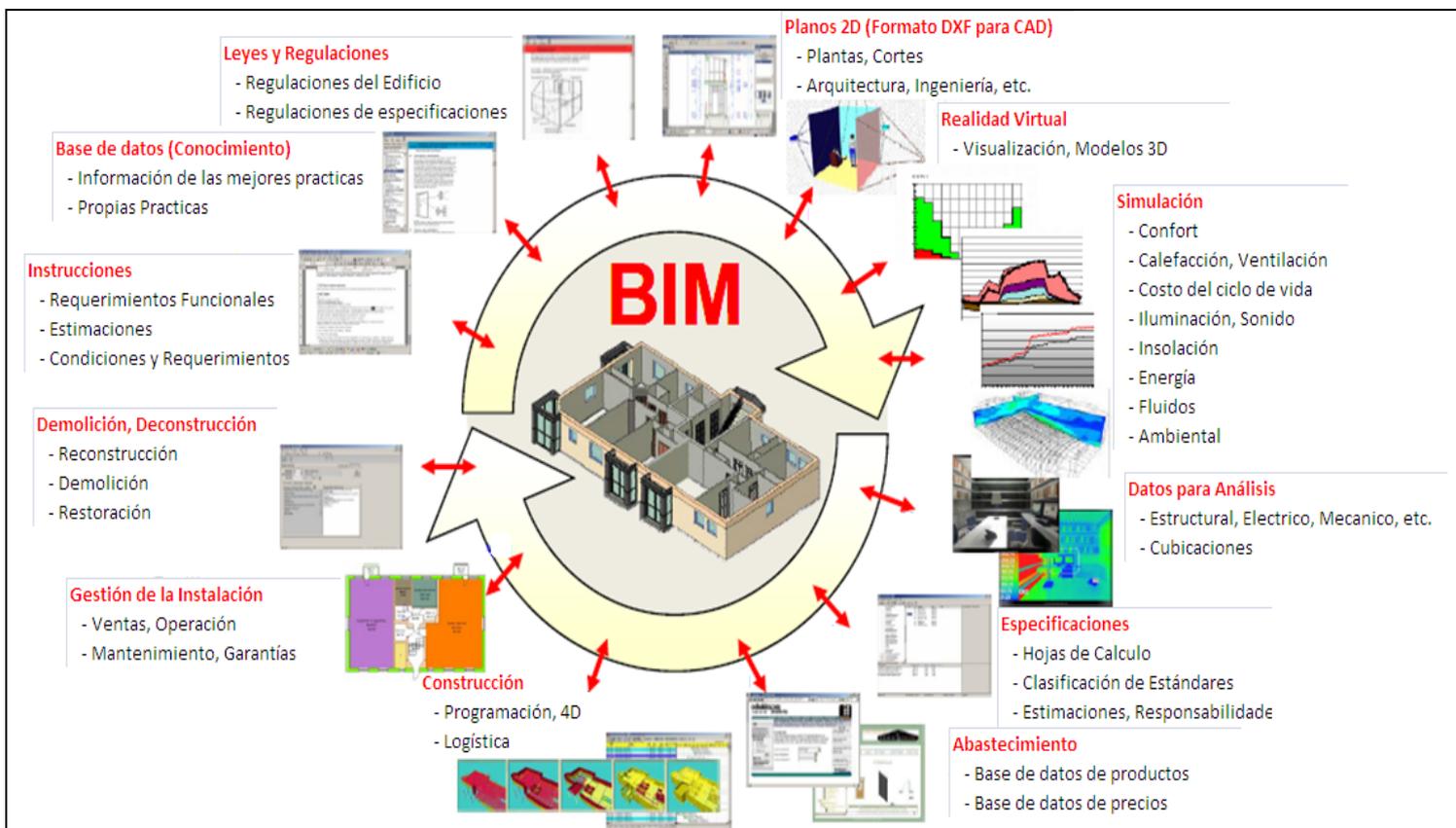


Figura 3.11: Aplicaciones Tecnología BIM. Adaptada de la presentación de Leonardo Rischmoller – CDT, Agosto 2009.

### 3.4.1. Marketing

La idea es utilizar imágenes o animaciones extraídas del modelo con el propósito de promover o vender un proyecto, apoyando el plan de marketing de este (si es necesario) lo que puede traer una ventaja con respecto a la competencia

En la figura 3.12: el arquitecto puede utilizar imágenes 3D “renderizadas”<sup>6</sup> para impresionar, persuadir y explicar el producto a un inversionista.

En la figura 3.13: las empresas pueden utilizar imágenes 3D para vender proyectos inmobiliarios. Sin duda alguna es mejor que mostrar plantas de la casa o de un edificio (el diseño se comunica de mejor forma a los clientes).



Figura 3.12: Render de habitaciones modeladas en Revit

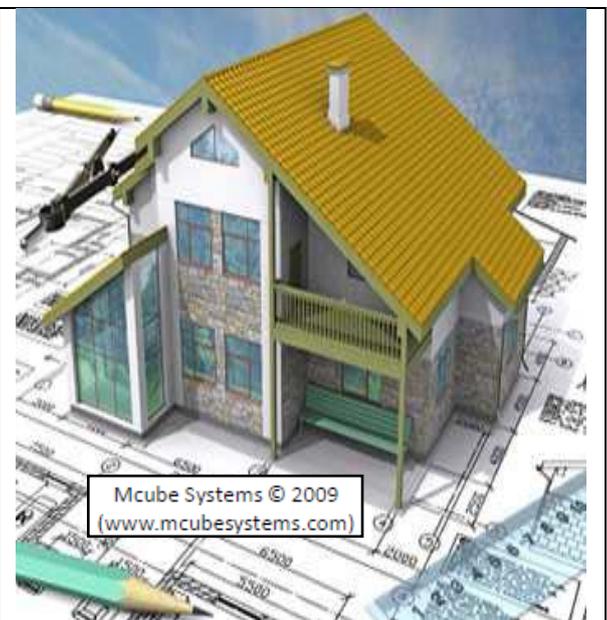


Figura 3.13: 3D vs Plantas

Un dato interesante es que existen herramientas de “Google Earth” con las que se pueden geoposicionar los modelos, que podría apoyar tanto un plan de marketing como un análisis logístico del proyecto (ubicación, caminos de acceso, densidad urbana, etc.).

**Características de los Modelos:** El público objetivo no es técnico, por lo tanto la precisión geométrica y actualizaciones del modelo no son relevantes. Importa sólo la parte externa, es decir, el esfuerzo es puesto en texturas, colores, iluminación y otros detalles arquitectónicos.

<sup>6</sup> La **renderización** es el proceso de generar una imagen desde un modelo. La palabra *renderización* proviene del inglés *render*, y no existe un verbo con el mismo significado en español.

### 3.4.2. Comunicación

Los planos en 2D son de difícil entendimiento, en particular para actores no técnicos (financistas, comunidad, mandantes, grupos ambientales, usuarios, etc.) y pueden tener distintas interpretaciones que se pueden traducir en problemas costosos. Usar modelos 3D es la forma más completa de transmitir información acerca de la edificación que se desea construir (Rischmoller, L.).

#### a. Comunicación con actores no técnicos

Actores no técnicos tienen poca habilidad/conocimiento para interpretar dibujos técnicos (2D) y programas de construcción. Se invierte bastante tiempo y recursos para comunicar bien algunos conceptos para evitar problemas, particularmente en proyectos de gran impacto social y ambiental. Los Modelos 3D y 4D facilitan esta comunicación.

**Características de los modelos:** similar a la aplicación de marketing.

#### b. Comunicación con trabajadores

En obra es necesario comunicar el trabajo del día a los obreros, lo cual puede ser un problema dado que ciertos elementos constructivos son difíciles de entender en planos (incluso para técnicos) y que junto con explicar las actividades que deben realizar durante el día, se complica aún más esta comunicación. En las Figuras 3.14 y 3.15 se muestra el nivel de detalle que se puede lograr, y así un mayor entendimiento por parte de obreros, fabricantes y subcontratistas. Los trabajadores, al visualizar la secuencia constructiva de la obra, les permite entender de mejor forma el contexto global de esta. Los modelos 4D también mejoran la comunicación entre planificadores y cuadrillas (ver figura 3.16).

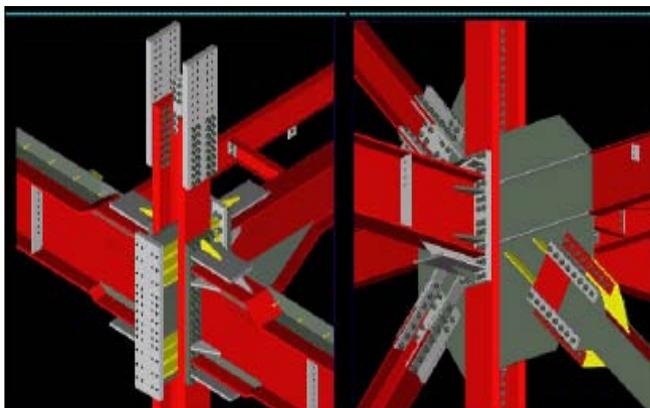


Figura 3.14: Detalle de unión estructural de una instalación industrial. Presentación Leonardo R. – CDT, Agosto 2009

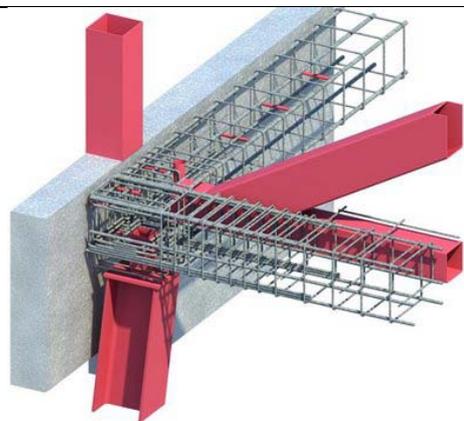


Figura 3.15: Detalle de unión utilizando un renderizado de imagen del modelo. Fuente: Autodesk



Figura 3.16: Comunicación con trabajadores

**Características de los modelos:** Precisión geométrica y actualización son críticas. Trabajadores necesitan información correcta y actualizada. Necesario un alto nivel de detalle. Atributos (propiedades de los elementos) no son importantes. Se necesita, idealmente, alguien en terreno que actualice el modelo diariamente.

**Ejemplos de aplicación: Proyecto Daniel Island, Carolina del Sur, EEUU:** Se utilizaron modelos de producto y modelos de proceso para dar instrucciones de trabajo en etapa de construcción de obra gruesa (fundaciones y primer piso).

En este proyecto para dar instrucciones de trabajo se utilizaron **modelos de producto** (representan virtualmente la infraestructura) y **modelos de procesos** (representan como se debe proceder en las actividades constructivas/administrativas). La instrucción constaba de la descripción del trabajo a realizar, equipos a usar y el material exacto a colocar, utilizando el modelo virtual para un mayor entendimiento por parte de las cuadrillas.

En la figura 3.17: **1.** Se dieron cuenta que era necesario mostrar el modelo 4D una vez a la semana para que trabajadores entendieran el contexto global de la obra; **2.** Se describen las actividades, si es que fueron completadas y la razón en caso contrario (esta metodología apunta a implementar el sistema del último planificador). **3.** Información que puede ser relevante para analizar algún cambio en las actividades del día/semana (debido a condiciones climáticas por ejemplo).

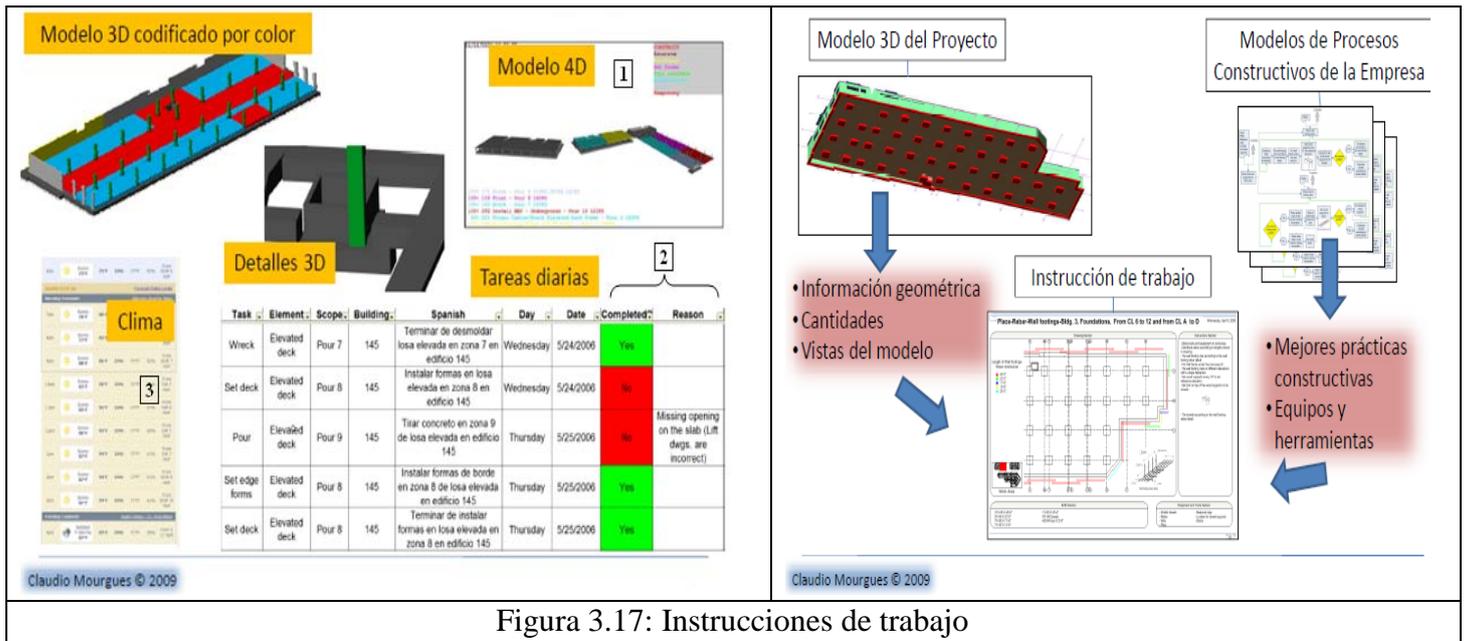


Figura 3.17: Instrucciones de trabajo

### 3.4.3. Documentación

BIM permite tener toda la información sobre el proyecto de manera centralizada y no diseminada en diferentes lugares, evitando tener varias versiones de la misma información con las incompatibilidades que esto conlleva. Los modelos BIM facilitan la producción de documentación as-built y el modelo mismo pasa a ser un “entregable” para la fase de operación.

Los Modelos 4D también documentan el proceso de construcción seguido. Instrucciones de trabajo documentan como se realizó la labor (información de diseño y de construcción usada). Es clave actualizar los diversos modelos con los cambios que se producen en terreno (no solo reflejar la información de diseño).

El lograr retener información útil para el desarrollo de futuros proyectos similares es de suma importancia para las distintas disciplinas que participan en un proyecto de construcción, en particular constructoras y mandantes. Las organizaciones esperarán una mejor administración del riesgo en sus operaciones gracias a la disponibilidad de toda la información pertinente en cada nivel de la organización. El riesgo por errores será reducido durante la fase de planificación y ejecución por la oportunidad de simular el desempeño basado en información de alta calidad. Bajo la forma tradicional de trabajo no debieran ocurrir errores, pero igual suceden; el riesgo va a existir siempre y la idea es reducirlo.

Los sistemas BIM implican una forma distinta de acceder a la información. Por ejemplo los requerimientos de información (RDI) podrán ser vinculados al modelo y transmitidos a través de internet a los respectivos consultores. Tradicionalmente la comunicación de RDI es por correo electrónico con imágenes escaneadas o por correo

tradicional (en un sobre), lo cual implica costos mayores y un mayor consumo de tiempo para entender la RDI y el tiempo de respuesta.

**Ejemplo de Aplicación:** En “Donald Powers Architects” reportaron que con cerca de 20 proyectos completados, la firma había medido ganancias de productividad de un 30% relativo al diseño y a la documentación, y un 50% de reducción en los requerimientos de información durante la construcción.

### 3.4.4. Datos para Análisis

#### a. Sustentabilidad

Los modelos BIM permiten varios análisis orientados a los impactos de la infraestructura en el medio ambiente y en la sociedad. Cuidado si, ya que para estos análisis existen muchos supuestos detrás, por lo que no representan necesariamente como será el desempeño del edificio. Algunos de estos análisis son: Energía (consumo de energía), Iluminación (donde el objetivo es maximizar la luz solar), Calidad del aire, Agua lluvia (reutilización de aguas lluvias en el mismo edificio), Humedad, Viento, etc.

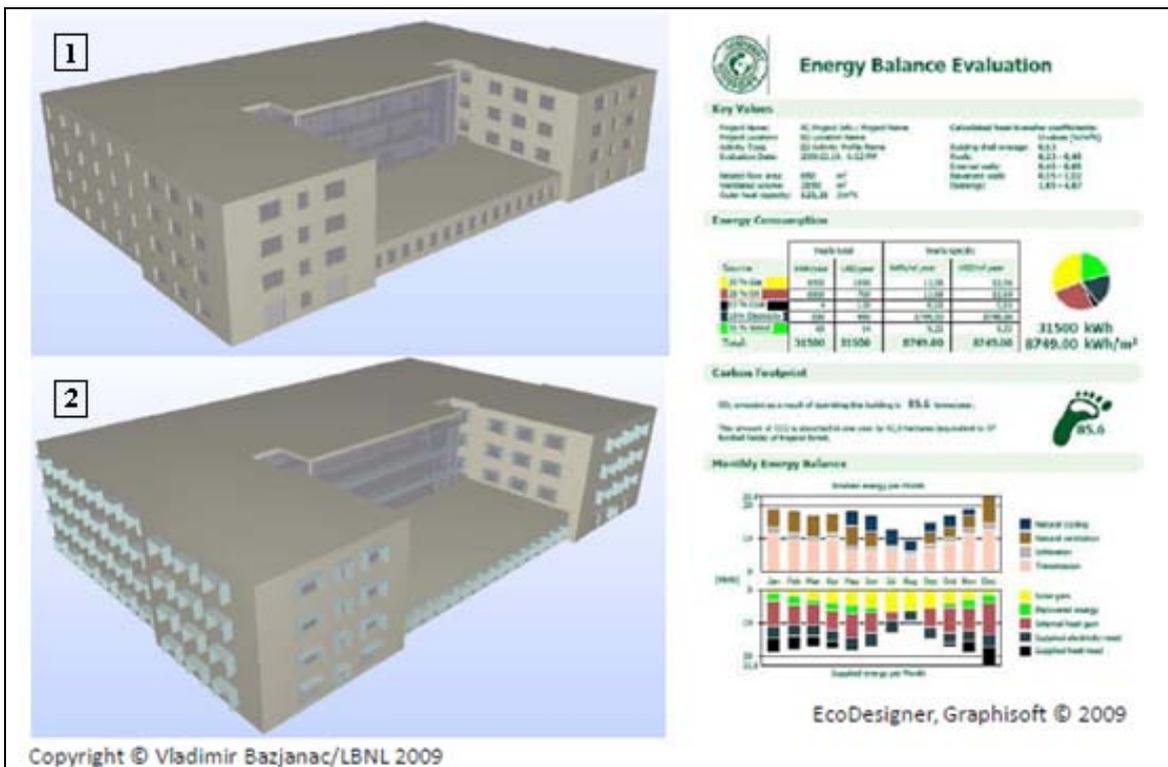


Figura 3.18: Análisis Energético - En la alternativa 2 al edificio le colocan una estructura para darle sombra a las ventanas y el software compara ambas alternativas en cuanto a su consumo de energía.

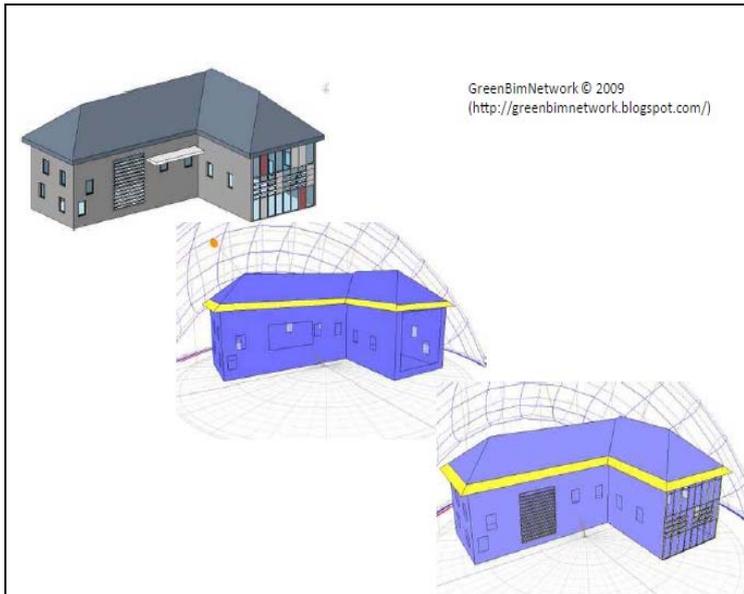


Figura 3.19: Análisis de Insolación - Uno ubica el modelo en una determinada zona geográfica. Con esta ubicación se tendrá un patrón de movimiento del sol y por ende donde dará sombra a cada hora del día.

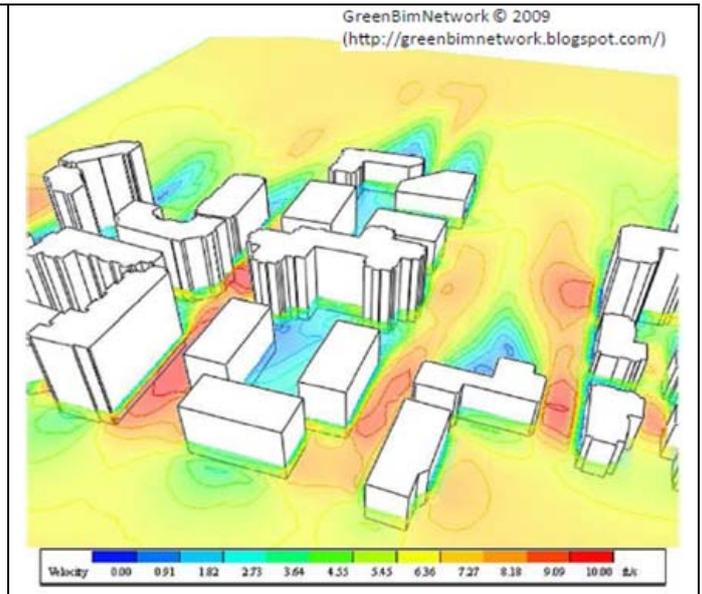


Figura 3.20: Análisis de Viento - Determinación de la velocidad del viento en determinados puntos de la ciudad. Análisis de gran utilidad en proyectos de mayor envergadura como urbanizaciones.

Dato interesante: Un proyecto realizado con un método IPD, integrado con estos software de análisis, puede traer entre un 50 y 100% de mayor eficiencia energética durante el ciclo de vida del proyecto (Norman Goijberg, miembro de la CCHC).

#### b. Análisis de especialidades

En general, el nuevo proceso de análisis (estructural a modo de ejemplo) con sistemas BIM, para un enfoque distribuido, es el siguiente:

- Primero se construye el modelo de arquitectura. Realizado por el arquitecto en proyectos habitacionales, comerciales; por el ingeniero de procesos/químico en proyectos industriales, mineros.
- Luego, el ingeniero estructural transfiere el modelo (arquitectónico) a un programa de modelamiento estructural: se incluyen pesos, sobrecargas de uso y otros elementos no incorporados por arquitectos. Se eliminan/esconden elementos no necesarios para el análisis estructural (árboles, revestimientos, muebles, etc.).
- El modelo se vincula a un programa de análisis estructural: se corre el modelo para calcular las solicitaciones sobre los elementos y se diseñan estos: enfierradura, espesor vigas de acero, uniones apernadas y soldadas, etc. (los procedimientos y programas computacionales utilizados pueden ser múltiples).

- Finalmente, la información generada se agrega al modelo (si se estima necesario).
- Si se hace alguna modificación, este análisis se rehace en forma automatizada.
- Para el diseño de otras especialidades el proceso es similar y se puede desarrollar en forma paralela.

Las ventajas de este proceso es que se pueden desarrollar análisis automatizados, integrados y consistentes en distintos escenarios evaluando técnica y económicamente el mejor resultado. Por ejemplo: ¿El nuevo diseño cumple con los requerimientos estructurales, de especialidades MEP<sup>7</sup>, de confort, normativos, del mandante, etc.? (Requerimientos Técnicos); ¿El nuevo diseño es más rentable que el anterior? (Evaluación Económica).

**Características de los modelos:** Precisión geométrica, actualización y atributos de elementos son relevantes en la medida que afectan los parámetros de análisis. Los detalles arquitectónicos no son relevantes. Requieren un nivel de detalle menor que un modelo de construcción. La **interoperabilidad**<sup>8</sup> entre los software usados es importante y puede afectar en gran medida el trabajo adicional necesario para el análisis.

### 3.4.5. Simulación 4D

Las tecnologías 4D combinan modelos 3D con la cuarta dimensión, la cual viene dada por el tiempo proveniente de las duraciones de actividades de construcción representado en un programa de ejecución realizado en algún software de programación (ej. Primavera o MS Project). Al incorporar el tiempo, la construcción ocurre en etapas tempranas del proyecto, en un enfoque que va más allá de la forma tradicional de planificación de la estrategia de construcción: “Los Modelos 4D reflejan la realidad de la ejecución de la etapa de construcción del proyecto mejor que cualquier otro enfoque actualmente en uso” (Fisher, 1999).

---

<sup>7</sup> MEP es el acrónimo de Mechanical, Electrical and Plumbing que traducido al castellano significa Mecánica, Electricidad y Tuberías.

<sup>8</sup> La **interoperabilidad** es la capacidad de transferir información de una plataforma a otra y/o de un actor a otro.

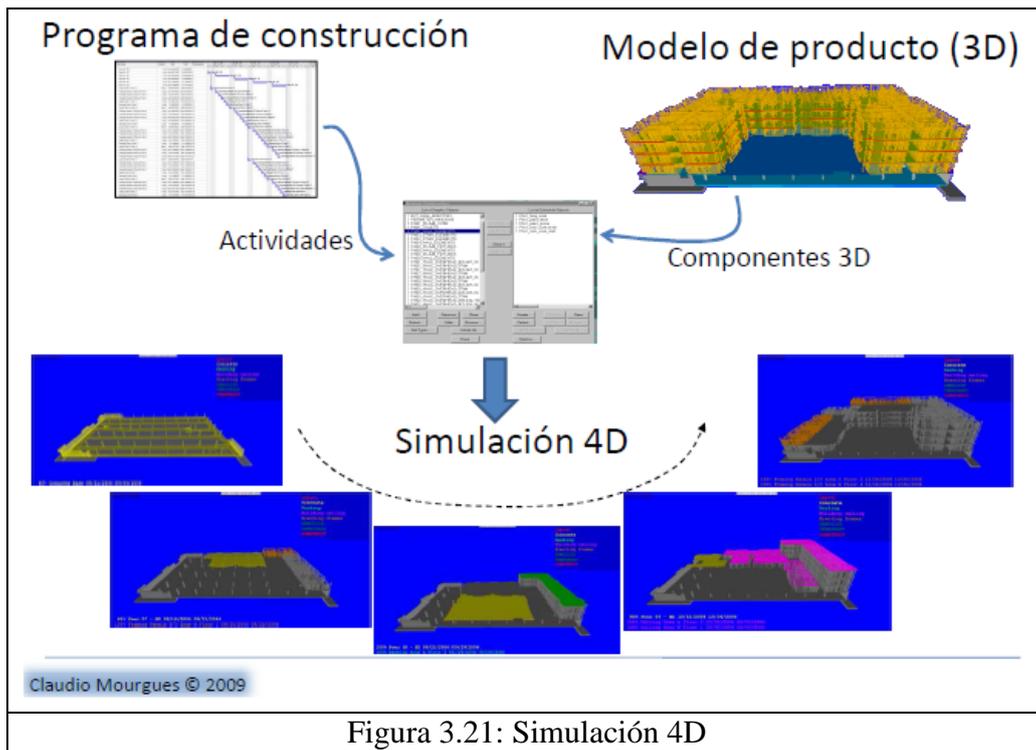


Figura 3.21: Simulación 4D

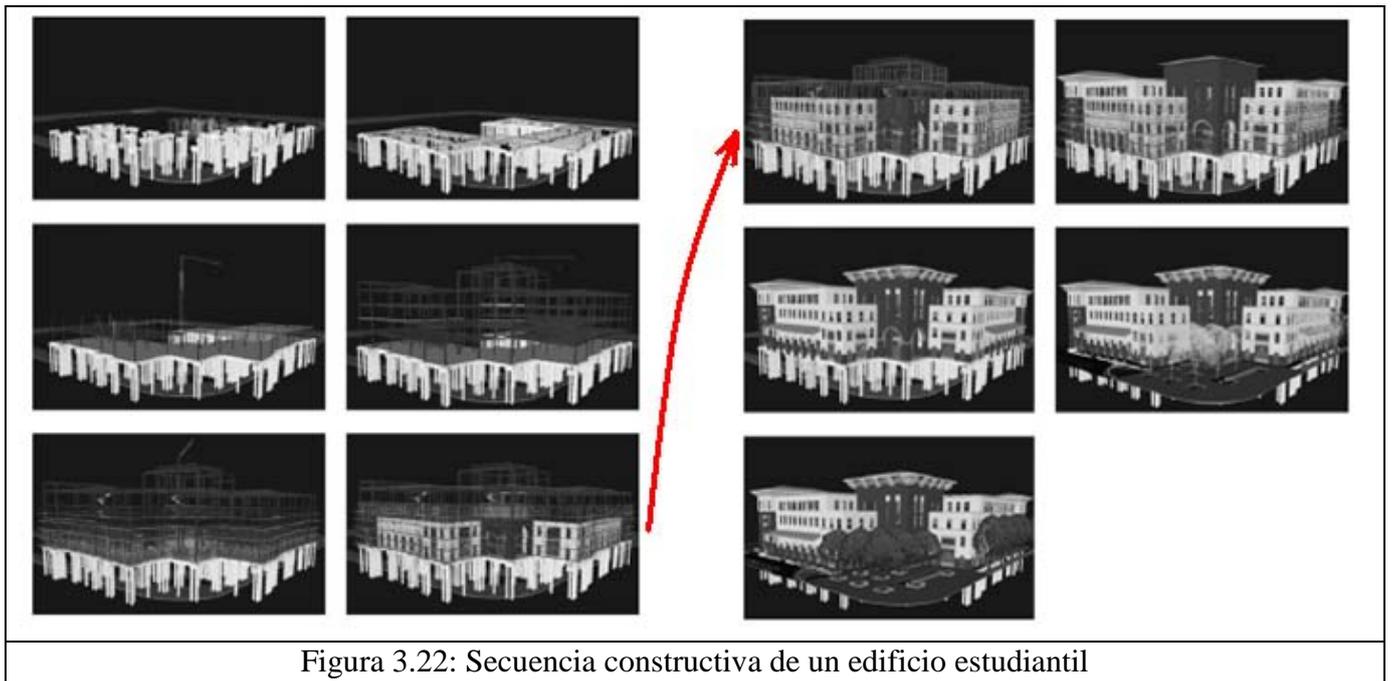
Los modelos 4D siempre han existido en la mente de los constructores cuando imaginan y proyectan en forma mental la ejecución de un proyecto. Esta imaginación, lógicamente induce a errores, falta de precisión y fallas de planificación. Sin una representación explícita de los modelos mentales 4D, los participantes deben confiar únicamente en su habilidad para interpretar los programas y documentos en 2D (Mckinney y Fischer, 98).

Una de las grandes ventajas que tiene esta aplicación es que se puede incorporar la experiencia de construcción desde la etapa de diseño a través de un enfoque de constructabilidad mucho más avanzado, donde diseñadores, planificadores y constructores trabajan integradamente desde etapas tempranas del proyecto. Así, los errores son captados antes de la ejecución con el correspondiente ahorro de costos y de tiempo que este análisis conlleva. Combinar las especificaciones de materiales y componentes con un buen programa de ejecución de obras para lograr una logística racional y un proceso de construcción eficiente es el principal propósito de estos modelos. Así se tendrá un abastecimiento a tiempo sin cuellos de botella en las distintas actividades constructivas, logísticas, de control, administrativas y gerenciales, etc.

Por otro lado, con los modelos 4D se mejora el proceso de toma de decisiones al poder realizar análisis ¿Qué pasaría si..?, hacen posible la rápida identificación y resolución de conflictos de espacio-tiempo. Se pueden rastrear y controlar recursos tales como moldajes, andamios, grúas, etc. para asegurar que estos son aplicados efectivamente y sin conflictos. Son de gran ayuda en la comunicación para proyectos que involucran varios grupos de interés (en particular con actores no técnicos) y

proyectos de renovación de instalaciones que necesitan seguir operando (ej. Hospitales). Además, estos modelos pueden mostrar otras propiedades de los elementos que componen la infraestructura a lo largo del tiempo, por ejemplo el costo del uso de energía, ocupación, riesgo, etc.

**Características de los modelos:** Precisión geométrica es importante pero no crítica. Lo que sí es crítico es la actualización de modo de no invalidar las observaciones. Los detalles arquitectónicos no son relevantes. El Nivel de detalle de los elementos del modelo tiene que ser consistente con las actividades de la secuencia constructiva.



### Ejemplos de Aplicación:

- **Museo de la Memoria, Santiago, Chile:** Proyecto con una superficie de construcción cercana a los 5.000 m<sup>2</sup> y una inversión superior a los 11 mil millones de pesos. En este, se utilizaron modelos 4D como herramientas de comunicación y como apoyo a la metodología “Last Planner” implementada en este proyecto (4D+Last Planner<sup>9</sup>).

**Resultados:** El cumplimiento de los compromisos aumento en un 12% y se redujo el tiempo de coordinación del proyecto a solo una reunión semanal de 1 hora.

<sup>9</sup> Avance tecnológico desarrollado por el Centro de Excelencia en Gestión de la Producción de la Pontificia Universidad Católica de Chile (GEPUC) creado con el objetivo de mejorar la comunicación y planificación de la obra.

- **Construcción fundaciones de mega proyecto minero en Chile:** Utilización del método 4D-PS (“4D Planning and Scheduling”) al diseño y construcción de 100.000 m<sup>3</sup> de hormigón.

**Resultados:** Ahorros cercanos al 15% del costo y reducciones del 6% del plazo de ejecución.

- **Construcción del “Paradise Pier” en centro de diversiones Walt Disney, California, USA:** Condiciones de terreno limitadas, muchos grupos de interés no-técnicos y una fecha de término obligatoria hizo que fuera ideal la aplicación de este modelo.

**Resultados:** Redujeron ordenes de cambio de un 90% a un 40%, se redujo el trabajo rehecho, aumento la productividad en terreno y mejoraron la credibilidad del programa de construcción y del equipo de gestión del proyecto (frente al mandante y otros grupos de interés no técnicos).

### 3.4.6. Chequeo de Interferencias y de Conformidad.

Actualmente el chequeo de interferencias se hace en terreno y la coordinación de especialidades generalmente es desarrollada por el contratista general o una empresa independiente (en Chile empresas como Cruz y Dávila, Inspecta, entre otras hacen coordinación de especialidades). El chequeo de interferencias con modelos BIM es uno de los principales usos que se le da a esta herramienta, en particular en proyectos que involucran una infraestructura compleja como plantas industriales, edificios inteligentes, hospitales, etc. Este análisis reduce los requerimientos de información (RDI), las ordenes de cambio y conflictos entre actores del proyecto, lo que aumenta la productividad y reduce costos de construcción: interferencias detectadas en terreno implica tiempos muertos dedicados a: identificar la interferencia, pensar en la solución, mandarla a especialidades y mandante, que devuelvan la respuesta y fabriquen la nueva pieza, proceso que puede llevar a tomar más de 40 días (Mario Pacheco, Gerente de Proyectos L y D S.A.)

Las interferencias pueden ser del tipo espacial (ej. colisión entre viga de hormigón armado y ducto de extracción) o temporal (ej. actividad de hormigonado de muro previo a la instalación de cañería). Para chequear estas y darles solución es necesaria una coordinación digital de las distintas especialidades en etapas tempranas del proyecto. En la etapa de construcción, detectar estas colisiones en terreno implica un costo mucho mayor. El chequeo de interferencias puede ser desarrollado en forma manual (visualizando el modelo) o automático (con algún programa computacional como Navisworks).

Por ejemplo la siguiente figura muestra la secuencia constructiva de un proyecto desarrollado con tecnología “Tip-Tap” (los muros son prefabricados, colocados con grúas y afirmados con puntales). Al visualizar la secuencia constructiva se observa como los puntales interfieren en ciertos momentos con los muros colocados con la grúa.



Figura 3.23: Chequeo manual de interferencias en 4D

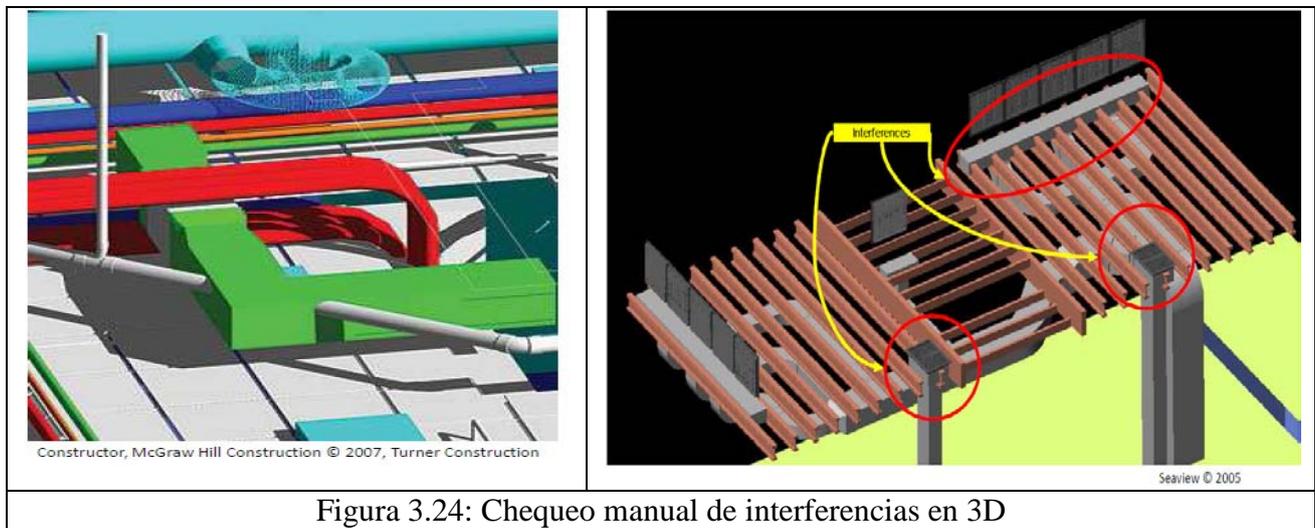


Figura 3.24: Chequeo manual de interferencias en 3D

**Características de los modelos:** Precisión geométrica y actualización son críticas. El NDD no es tan relevante mientras incluyan todos los elementos que son importantes para chequear interferencias (ej. no importa si el muro que interfiere con un ducto tiene una puerta incluida en el modelo o no). Atributos de elementos no son relevantes. La metodología de chequeo de interferencias (ej. periodicidad, asistentes, responsabilidades) debe que estar bien establecida: que el cambio quede documentado.

### Ejemplos de Aplicación:

- **Mega proyecto minero desarrollado por Bechtel / Resultados:** Detección de interferencias redujo el trabajo rehecho en terreno de un 5% con diseño en 2D a un 1% con diseño en 3D.
- **Construcción Clínica Dávila / Resultados:** Se detectaron 297 incongruencias en planos. El uso del modelo digital 3D represento un ahorro del 50% en costo de producción y una reducción del 75% en el tiempo necesario para resolver interferencias. Para mayor detalle de los resultados en este proyecto ver Anexo N°1 del presente trabajo.

El *Chequeo de Conformidad* es un área nueva que está tomando importancia. Utilizado por la GSA (mandante en la construcción de edificios gubernamentales en EEUU) en múltiples proyectos. Los modelos BIM pueden ser chequeados para ver si cumplen criterios de diversos tipos. Por ejemplo: Alturas mínimas requeridas, superficies mínimas en determinadas áreas, presencia de ciertos atributos en objetos.

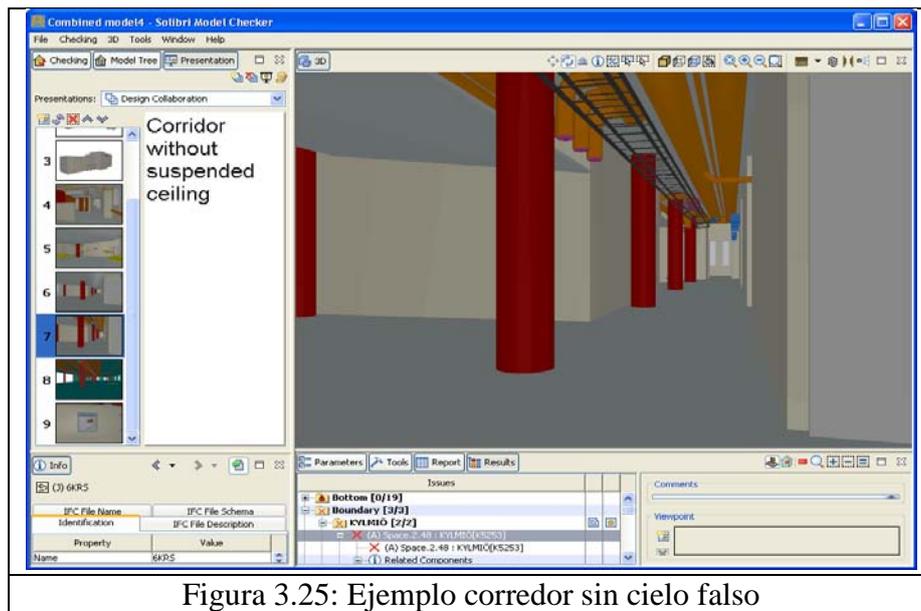


Figura 3.25: Ejemplo corredor sin cielo falso

Con este tipo de software se pueden reglamentar las normas de construcción y chequear que se cumplan. Una herramienta que ofrece este tipo de análisis es “Solibri Model Checker”.

**Características de los modelos:** Precisión geométrica, actualización y atributos de objetos son críticos ya que de estos depende la conformidad. Estos chequeos se ejecutan en momentos específicos (entregas de modelos) por lo que no requieren de una actualización diaria.

### 3.4.7. Cubicación y Estimación de Costos

El modelo BIM permite determinar cantidades de materiales y vincularlas con herramientas de estimación de costos, de tal forma de realizar estas estimaciones al mismo tiempo que se va diseñando.

Estas estimaciones se pueden desarrollar de dos formas: exportar las cantidades a una planilla de cálculo (ej. Excel) y luego desarrollar el análisis con las herramientas de esta planilla. O vincular directamente las cantidades de los materiales extraídas del modelo con herramientas de estimación de costos del mismo software que nos provee del modelo BIM.

Por ejemplo, en “VICO Estimator”, se pueden usar las cantidades (basadas en el modelo) grabadas en “VICO Constructor”, para crear estimaciones basadas en el mismo. Las Recetas (paquetes de datos) contienen dos capas adicionales de información que hacen posible calcular los costos a partir de las cantidades basadas en el modelo; estas son: los Métodos, que representan actividades y los Recursos, en donde los precios de mano de obra, material, equipamiento y trabajo subcontratado son definidos.

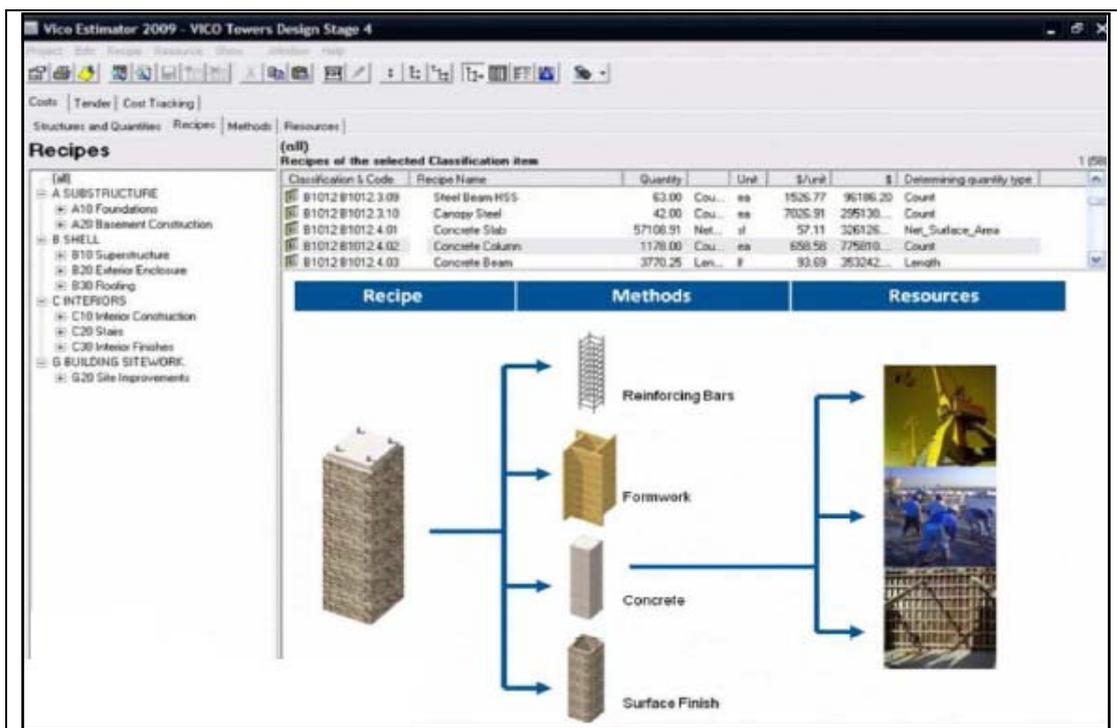


Figura 3.26: Ejemplo receta de construcción para una columna de hormigón armado

Cada elemento (ej. fundaciones, columna circular, losa de 20 cm., etc.) que se quiere cuantificar, debe tener su propia receta de construcción (método constructivo y recursos utilizados), la cual puede venir de una base de datos definida en la organización (recetas estándar) o definida a nivel de proyecto (particular). Una vez

asignadas las recetas a sus respectivos elementos 3D, se pueden generar informes de precios unitarios y la propuesta económica del proyecto.

Los precios de los recursos son mantenidos en la librería de “VICO Estimator”, que permite actualizar los precios de mano de obra, material, equipos y trabajo subcontratado de una forma centralizada y eficiente en cualquier momento que sea necesario.

Es importante mencionar que la preparación y definición de recetas de construcción implican un esfuerzo considerable al principio, pero con ventajas notables para proyectos futuros.

**Características de los modelos:** Precisión geométrica y actualización son críticas. Importa no solo lo que se ve sino que todo lo que pueda tener un impacto en el área considerada para la estimación. Detalles arquitectónicos no son importantes. Estructuración y nivel de detalle de los elementos en el modelo BIM tienen que ser consistente con la estructura de costos de la estimación o con el uso de la cubicación.

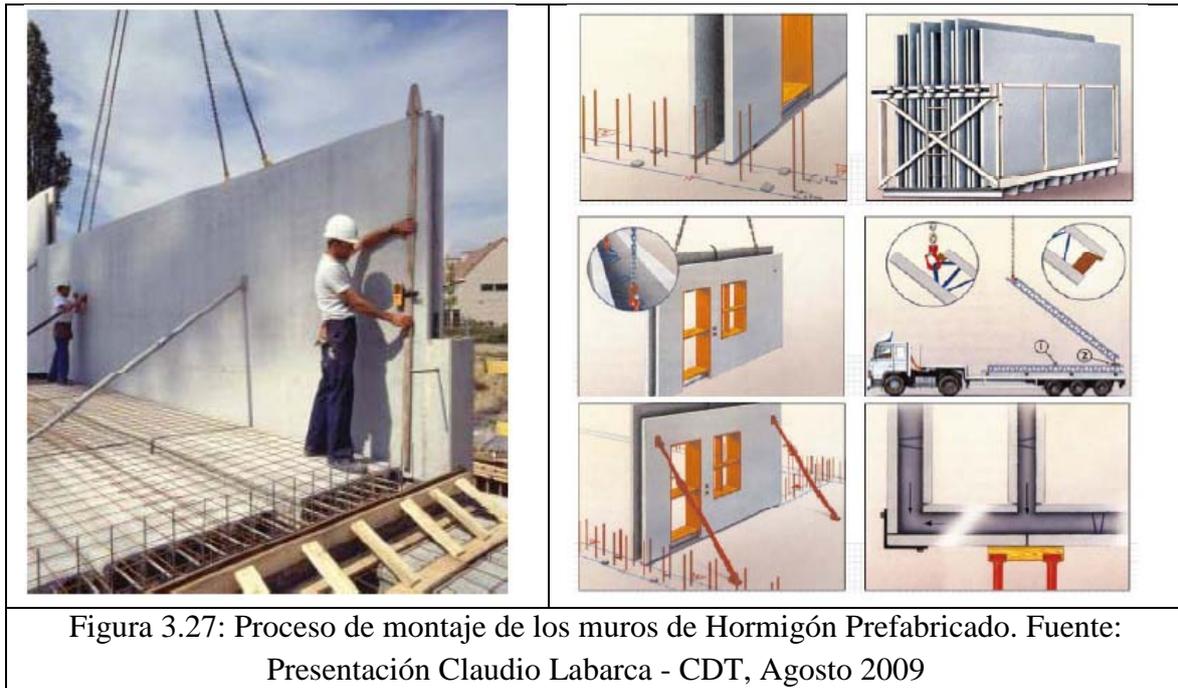
**Ejemplo de Aplicación:** En Webcor Builders, San Mateo, California, utilizaron la opción de hacer cubicaciones a partir del modelo y el proceso tomo menos de la mitad del tiempo que hubiera tomado la cubicación en la forma tradicional (Bedrick 2003). Además de la ventaja de hacer el mismo trabajo de forma más rápida, el hacer las cubicaciones a partir del modelo redujo la variabilidad de las cantidades entre diferentes estimadores y aumentó sustancialmente la rapidez de una re-estimación cuando hubo cambios en el diseño.

#### **3.4.8. Prefabricación**

Los modelos BIM permiten prefabricar diversos elementos como tuberías, ductos, paneles, etc.

**Características de los modelos:** Precisión geométrica y actualización son críticas. Detalles arquitectónicos no son importantes. Nivel de detalle de los elementos en el modelo BIM tiene que ser consistente con los elementos a prefabricar. Los modelos pueden requerir atributos adicionales de acuerdo al sistema de prefabricación a usar (ej. Equipos utilizados). Es importante generar dibujos de instalación de los paquetes de prefabricación (desde el mismo modelo BIM).

**Ejemplos de aplicación:** Producción de sistemas modulares de muros y pisos. Para mayor información respecto a resultados/beneficios de esta aplicación ver Anexo N° 1.

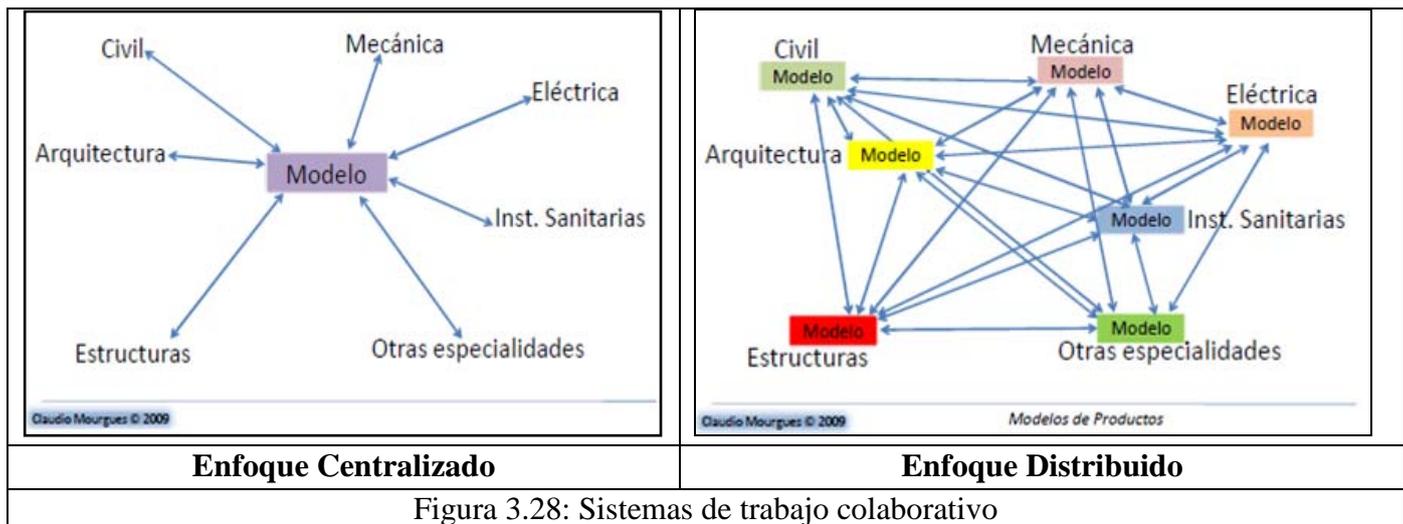


### 3.4.9. Ingeniería Concurrente / Diseño Colaborativo

El método de colaboración extrema nació en 1995, cuando la NASA formó un equipo de diseño para mejorar los plazos y la calidad de las misiones espaciales. De 3 a 9 meses dedicados al diseño, el tiempo se redujo a 9 horas. La exitosa metodología entonces se llevó al ámbito de la construcción, donde se aplicó a través de sesiones, donde todos los profesionales involucrados en el proyecto comparten información, resuelven dudas y discuten soluciones, en una misma sala, apoyados idealmente con un modelo virtual de la infraestructura. En Estados Unidos han logrado reducir los tiempos de diseño de un proyecto de construcción de 9 meses a 1 semana. La clave está en disminuir los tiempos de espera que ocurren cuando se hacen consultas entre especialistas, contratistas y mandantes.

Actualmente el trabajo colaborativo está basado en dibujos 2D, en los cuales uno anota y subraya los temas en discusión. Esto está lejos de un diseño de colaboración basado en un escenario BIM en donde las múltiples disciplinas interactúan en tiempo real con el modelo virtual y comparten entre ellos datos requeridos, resolviendo conflictos y desarrollando un proceso de diseño mucho más efectivo, donde varios procesos ocurren al mismo tiempo y las actividades de diseño se pueden desarrollar en forma paralela.

**Diseño de Colaboración basado en un enfoque BIM:** Existen dos enfoques de trabajo basado en la construcción de modelos de información de cada una de las especialidades: el Centralizado y el Distribuido.



**Enfoque Centralizado:** Todas las especialidades trabajan en un mismo modelo. Este enfoque implica una nueva forma de trabajo, en el cual es necesario definir una serie de protocolos de trabajo (difíciles de implementar a nivel de organización) y utilizar herramientas computacionales de apoyo para la comunicación (ej. uso de servidor central). Los desafíos de este enfoque son:

- Trabajo de especialistas en un mismo (o compatible) software y existencia de protocolos de trabajo.
- La experiencia, habilidad y destreza de cada una de las empresas que participa en el proyecto debiera ser semejante. Una baja productividad de una puede afectar la productividad de la otra.
- La actualización del modelo es clave, aunque depende de la fase en que se encuentra el proyecto.

**Enfoque Distribuido:** Cada especialidad trabaja en su propio modelo, intercambiando información de estos e integrándolos al final del proceso para chequear conflictos e inconsistencias. Existen varias combinaciones de trabajo (no necesariamente como se muestra en la figura 3.28). Los desafíos de este enfoque son:

- Problemas de los formatos: ¿son interoperables los distintos software que se utilizan?
- Gestión de los modelos (manejo de accesos, versiones, integración). Los modelos demandan gran capacidad informática, por lo que el traspaso de estos, de un computador a otra, puede tomar un tiempo.

**Características de los modelos:** la precisión geométrica, actualización del modelo, nivel de detalle y atributos de objetos son relativos a la fase del proyecto y al uso que se le dará a los modelos (ej. en la etapa de construcción, si se utiliza el modelo para visualizar la secuencia constructiva, es necesario tener el modelo al día, precisión

geométrica y NDD suficiente para que exista consistencia entre los elementos y el programa de actividades, los atributos de objetos no son necesarios). Es clave fijar políticas para el uso, versiones y formatos en los modelos.

### 3.5. BENEFICIOS DE LA UTILIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS BIM

La aplicación de las distintas herramientas que posee la tecnología BIM trae una serie de beneficios en las distintas etapas del proyecto y a los distintos actores que participan, como también múltiples desafíos. Unos datos muy interesantes son los presentados por Martin Fischer<sup>10</sup>, en el “25th International Conference on Information Technology in Construction (CIB-W78)”. Conferencia realizada en Santiago de Chile en Julio del 2008.

Ejemplos de algunos impactos de la utilización de VDC (o BIM) en proyectos de construcción son los siguientes:

- Cero interferencias en terreno.
- Un 90% menos de Requerimientos de información y de Órdenes de Cambio.
- Desde un 20 a un 30% de mayor productividad en terreno.
- 100% Prefabricación, lo que puede generar un 30% de reducción de la cuadrilla de soldadores y 55% menos de la cuadrilla de fontaneros en terreno.
- Un 50% de mayor rapidez en la obtención de las cubicaciones.
- Respecto a los Retornos de la Inversión:

Tabla 3.1: ROI en cuatro Proyectos de Investigación.

	<b>Tipo de Proyecto</b>	<b>Costo [US\$]</b>	<b>Costo del Modelo [US\$]</b>	<b>Ahorros [US\$]</b>	<b>ROI</b>
<b>1</b>	<b>Centro de Música</b>	250M	100.000	500.000	5:1
<b>2</b>	<b>Edificio de Oficina</b>	200M	50.000	3.000.000	60:1
<b>3</b>	<b>Centro Comercial</b>	100M	40.000	575.000	14:1
<b>4</b>	<b>Campus Universitario</b>	250M	400.000	16.800.000	42:1

En los casos 1, 2 y 3 un sistema BIM fue usado, los costos del modelo reales y los ahorros fueron estimados. En el caso 4 BIM no fue usado, los costos estimados y los ahorros reales pero estimados (en el caso 4 se utilizó una metodología parecida a la realizada en este trabajo).

Algunos datos que presentan agencias internacionales respecto a reducciones en los programas del proyecto son los siguientes:

<sup>10</sup> Profesor de la Universidad de Stanford y Director del “Center for Integrated Facility Engineering (CIFE)”.

Según la National BIM Standards (NBIMS, USA) la duración del programa de diseño se puede reducir entre un 10-25% y la duración del programa de Construcción se puede reducir entre un 5-10%. Según la GSA, la integración de datos, modelos 4D y reuniones de coordinación permiten reducir el programa general (diseño y construcción) en un 19%. Según la empresa Archisoft con el uso de estos modelos se puede obtener un ahorro promedio de un 5% del costo total de construcción y ahorro de tiempo de un 10% del programa de construcción.

Los beneficios en las distintas etapas del proyecto se resumen a continuación:

**a. Beneficios de una Pre-Construcción para el Dueño del Proyecto**

**Concepto, Viabilidad y Diseño:** Antes de que el cliente comprometa a un arquitecto, es necesario determinar si una edificación, de un cierto tamaño y nivel de calidad, puede ser construida dado un plazo y presupuesto estipulado. Si estas preguntas pueden ser respondidas con una relativa certeza, el mandante puede proceder con la expectativa de que sus objetivos son alcanzables. Darse cuenta que un diseño particular ha excedido significativamente el presupuesto luego de utilizar una considerable cantidad de tiempo y esfuerzo es un desperdicio. Un aproximado modelo del edificio construido y vinculado a una base de datos de costos puede ser de una tremenda asistencia y valor para el dueño del proyecto.

**Desempeño y Calidad de la Edificación:** Desarrollado un modelo esquemático previo a generar un modelo detallado permite una evaluación más cuidadosa del esquema propuesto para determinar si los requerimientos funcionales y sustentables de la infraestructura se cumplen. Una evaluación temprana de las alternativas de diseño usando herramientas de simulación/análisis aumenta la calidad general del edificio.

**b. Beneficios en el Diseño**

**Una temprana y más exacta visualización del diseño:** El modelo 3D generado por un software BIM (diseñado directamente más que construido a partir de planos 2D) puede ser usado para visualizar el diseño en cualquier etapa del proceso con la seguridad de que será consistente dimensionalmente en cada vista.

**Automáticas correcciones cuando son hechos cambios al diseño:** si los objetos usados en el diseño son controlados por reglas paramétricas que aseguran un alineamiento apropiado se reduce la necesidad del usuario de gestionar cambios en el diseño (estos se hacen automáticamente).

**Dibujos 2D exactos y consistentes generados en cualquier etapa del diseño:** precisos y consistentes dibujos pueden ser extraídos del modelo. Esto reduce significativamente la cantidad de tiempo y el número de errores asociados con la

generación de dibujos necesarios para todas las disciplinas que participan en el diseño: Cuando los cambios en el diseño son requeridos, automáticamente todos los dibujos generados a partir del modelo se actualizan, eliminando posibles inconsistencias.

***Temprana colaboración de disciplinas:*** Las tecnologías BIM facilitan el trabajo simultáneo de múltiples disciplinas encargadas del diseño. Aunque la colaboración con dibujos 2D es también posible, es inherentemente más difícil y consume más tiempo que trabajar con un modelo 3D (o con varios si es un esquema distribuido), en el que el control de cambios puede ser bien administrado. Esto acorta los tiempos de diseño y reduce errores y omisiones. También contribuye a dar una temprana resolución a problemas de diseño. Este enfoque es mucho más efectivo que esperar hasta que el diseño está casi completado y luego aplicar ingeniería de valor solamente después que la mayoría de las decisiones de diseño han sido tomadas.

***Fácil chequeo del diseño pensado:*** BIM provee de tempranas visualizaciones 3D y de una cuantificación de las cantidades del material utilizado, permitiendo estimaciones de costo más exactas en etapas tempranas. Para edificaciones complejas (laboratorios, hospitales, etc.) el diseño pensado es a menudo definido cuantitativamente y un modelo virtual permite chequear estos requerimientos. Para requerimientos cualitativos (ej. que esta habitación esté más cerca del baño), el modelo 3D puede apoyar evaluaciones automáticas.

***Extracción de estimación de costos:*** Del modelo se pueden extraer una tabla de cantidades exacta y de espacios utilizados que pueden ser usados para estimaciones del costo de construcción. Al inicio de la etapa de diseño, las estimaciones de costo están basadas principalmente en unidades de costo por unidad de metros cuadrados (ej. 15 UF/m<sup>2</sup> costo de construcción de subterráneos). A medida que el diseño progresa, un mayor detalle de las cantidades está disponible y pueden ser usadas para estimaciones más exactas. Es posible mantener a todos los participantes consientes de las implicaciones de costo asociadas con un diseño dado antes de que progrese al nivel de detalle requerido para generar los documentos de construcción. Como resultado, usando BIM es posible hacer decisiones de diseño más informadas relacionadas con el costo en vez de un sistema basado en el papel (dibujos 2D).

***Eficiencia energética y Sustentabilidad:*** vinculando el modelo con software de análisis energético permite evaluar el desempeño de la edificación, en términos del consumo de energía en etapas tempranas del proyecto. Esto no es posible usando herramientas tradicionales 2D que requieren un análisis energético, desarrollado en forma separada y al final del proceso de diseño, reduciendo oportunidades de modificación que podrían mejorar el desempeño energético de la infraestructura.

### c. **Beneficios de Construcción y Fabricación**

***Planificación de Construcción:*** La planificación de la construcción utilizando modelos 4D requiere vincular el programa de actividades con objetos 3D del modelo. Así es posible simular el proceso de construcción y mostrar como la obra se vería en cualquier punto del tiempo. Esta simulación grafica provee de un entendimiento considerable de cómo la infraestructura será construida, día a día, revela fuentes de potenciales problemas y oportunidades de posibles mejoras (conflictos de espacio, de cuadrillas y equipamiento, problemas de seguridad, etc.).

***Descubriendo errores de diseño y omisiones (detección de interferencias):*** Dado que el modelo es la fuente de todos los dibujos 2D y 3D, errores de diseño causados por inconsistencias en planos 2D son eliminados. Como los proyectos de diseño de todas las disciplinas se pueden integrar y comparar, las interferencias son identificadas antes de ser detectadas en terreno. La coordinación de todos los actores del proyecto es mejorada y errores de diseño son significativamente reducidos. Esto acelera el proceso de construcción, reduce costos, minimiza disputas legales y provee de un proceso más transparente para todo el equipo del proyecto.

***Reaccionar rápidamente en problemas de diseño/terreno:*** El impacto de un cambio en el diseño puede ser incorporado en el modelo y los cambios en los otros objetos serán automáticamente actualizados. Algunas actualizaciones se harán automáticamente basadas en establecidas reglas paramétricas. Otros sistemas cruzados de actualización pueden ser chequeados visualmente. De esta forma, los cambios en el diseño pueden ser resueltos de forma más rápida en un sistema BIM dado que las modificaciones pueden ser compartidas, visualizadas, estimadas y resueltas sin el uso de transacciones de papel y su correspondiente consumo de tiempo. Además, la actualización hecha en forma tradicional es extremadamente propensa a errores.

***Usar el modelo como base para fabricar componentes:*** Si el modelo de diseño es transferido a un software para fabricación “virtual” y detallado al nivel de los objetos a fabricar, contendrá una exacta representación de los objetos que se quieren confeccionar en talleres remotos a la obra. Dado que los componentes están ya definidos en 3D, la elaboración automatizada de los elementos utilizando maquinarias especializadas es facilitada. Tal automatización es una práctica ya estándar en la fabricación de piezas de acero, hormigón pretensado, ventanas y otros. Esto permite la participación de fabricantes en cualquier parte del mundo que elaboran las piezas en base al modelo y mantienen “links” que reflejan el diseño deliberado. Esto facilita la fabricación remota y reduce los costos y tiempos de construcción.

***Mejor implementación de técnicas “Justo a Tiempo”:*** Las técnicas de construcción sin pérdidas requieren de una cuidadosa coordinación entre la oficina técnica del contratista general, sus cuadrillas y subcontratistas para asegurar que el trabajo puede ser desempeñado cuando los recursos apropiados están disponibles en

terreno. Esto minimiza pérdidas y reduce la necesidad de inventarios en terreno. Dado que BIM provee de un modelo certero del diseño y de los recursos requeridos para cada segmento de trabajo, provee de una base centralizada para mejorar la planificación y las actividades desarrolladas por las cuadrillas, y ayuda a asegurar un arribo de gente, equipos y recursos en la oportunidad requerida (justo a tiempo). Esto finalmente reduce costos y mejora la colaboración en terreno.

***Sincronización del Abastecimiento con el Diseño y la Construcción:*** el modelo completo provee de cantidades exactas para todos los materiales y objetos contenidos en un diseño (o la mayoría, depende del NDD del modelo). Estas cantidades, especificaciones y propiedades pueden ser usadas para comprar materiales desde vendedores de productos y subcontratistas (ej. Subcontratistas de hormigón pretensado). Actualmente, la definición de objetos virtuales por parte de proveedores y manufactureros no ha sido desarrollada para hacer de esta capacidad una aplicación real. Donde los modelos han estado disponibles, sin embargo, los resultados han sido bastante beneficiosos.

#### **d. Beneficios Post-Construcción**

***Mejor administración y operación de las instalaciones:*** el modelo provee de una fuente de información (gráfica y especificaciones) para todos los sistemas del edificio. Análisis previos usados para determinar el equipamiento mecánico, control de sistemas, etc. pueden ser proporcionados al dueño, de tal forma de verificar las decisiones de diseño una vez que las instalaciones están en uso. Esta información puede ser usada para chequear que todos los sistemas funcionan apropiadamente una vez que la edificación esta completada.

***Integración con la operación de la instalación y la gestión de sistemas:*** un modelo virtual que ha sido actualizado con todos los cambios hechos durante la construcción provee de una fuente de información acerca de espacios “as-built” y sistemas, además de ser de un punto de partida para el manejo y la operación de las instalaciones. Un modelo de información de la edificación apoya el monitoreo de los sistemas de control en “tiempo real” y proporciona una interface natural para sensores y operación remota. Muchas de estas capacidades aun no han sido desarrolladas, pero BIM provee una plataforma ideal para su despliegue.

### **3.6. DESAFÍOS DE IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN**

Los sistemas BIM son una nueva forma de hacer las cosas, un cambio en el paradigma. Demandan mucha colaboración y nos fuerzan a relacionarnos de forma diferente a la acostumbrada. Es psicológicamente un desarrollo sano, pero no necesariamente una fácil transición. La necesidad de colaboración desarrolla un espíritu

de equipo en el que inevitablemente se crean interrelaciones entre los distintos actores, lo que se traduce en un aprendizaje bidireccional que genera una mejora sustancial del proyecto.

En este tópico se hará una síntesis de los resultados de trabajos desarrollados por otras empresas, otros estudios y organizaciones dedicadas a la investigación, pero en los cuales no se ahondará mayormente, ya que esta fuera del alcance del presente trabajo. Se incorporarán recomendaciones donde haya un consenso a nivel profesional y las que el autor ha podido aprender durante el desarrollo del trabajo. Cabe destacar que muchas de estas recomendaciones son inherentes a la implementación de cualquier tecnología de información, la cual involucra personas, herramientas y procesos.

### **3.6.1. Cambios que pueden ser esperados**

La mejora de los procesos en cada fase de diseño y construcción reducirá el número y la severidad de los problemas asociados con las prácticas tradicionales. Sin embargo, el uso de BIM también causará significativos cambios en las relaciones de los participantes del proyecto y en los acuerdos contractuales entre ellos.

**Colaboración:** Mientras que BIM ofrece nuevos métodos de colaboración, introduce otros problemas respecto al desempeño efectivo de los equipos de trabajo. *Determinar los métodos que serán usados para permitir un adecuado traspaso de información a partir del modelo y así compartir información valiosa entre los participantes del proyecto es un gran desafío.* Si los miembros del proyecto utilizan diferentes herramientas de modelamiento, entonces otras herramientas para enviar información del modelo de un ambiente a otro o para combinar estos modelos son necesarias. Esto puede añadir complejidad e introducir potenciales errores al proyecto. Estos problemas pueden ser reducidos si se usa estándares IFC para intercambiar datos.

**Cambios legales para la producción y pertenencia de la documentación:** existen preocupaciones legales respecto a quien se apropia del conjunto de datos generados durante el diseño, análisis, fabricación y construcción de la infraestructura, quien paga por estos y quien es responsable por su exactitud.

**Cambios en las prácticas y en el uso de la información:** El uso de BIM también fomentará la integración del conocimiento de construcción en etapas tempranas del proceso de diseño. Arreglos contractuales que facilitan y requieren de una buena colaboración proveerán de grandes ventajas a los clientes cuando BIM sea usado. El cambio más significativo que las compañías enfrentarán cuando implementen tecnologías BIM es utilizar un modelo compartido de la edificación como base para todos los procesos de trabajo. Esta transformación requerirá de tiempo, educación, capacitación y una convicción por parte de la organización de las mejoras que puede traer esta tecnología (necesario para cualquier implementación tecnológica que implica cambios en los procesos y en la cultura de trabajo).

### 3.6.2. Desafíos y recomendaciones de implementación

Reemplazar un ambiente 2D CAD por un sistema de trabajo basado en BIM involucra mucho más que adquirir un nuevo software, capacitar a los empleados y adquirir los hardwares adecuados. El uso efectivo de BIM requiere de cambios en casi todos los aspectos organizacionales y de negocios de la firma. Requiere de un entendimiento completo de lo que la implementación de BIM involucra y una planificación minuciosa antes de que la conversión pueda comenzar. Aunque los cambios específicos dependerán de la actividad que tenga la empresa dentro de la industria AEC, los pasos generales que necesitan ser considerados son similares e incluyen:

- Asignación de responsabilidades desde los puestos superiores de la organización (gerencias) para el desarrollo de un plan que cubra todos los aspectos de negocios de la firma y como los cambios propuestos impactarán tanto los departamentos internos como los clientes externos en la adopción de BIM.
- Crear un equipo interno responsable de implementar un plan, incorporando índices de costo y tiempo, para guiar la evaluación y el desempeño de la adopción de BIM.
- Empezar utilizando sistemas BIM en uno o dos proyectos pequeños, en forma paralela con la tecnología existente (2D CAD), y producir documentos tradicionales desde el modelo BIM. Esta metodología ayudará a revelar déficits respecto al NDD del modelo (al comparar ambos planos), eficiencia en los trabajos, problemas de vínculos entre programas de análisis, etc.
- Utilizar los resultados iniciales para educar, guiar u hacer retroalimentaciones para la continua adopción de BIM. Mantener a las gerencias informadas de los problemas, progresos, consideraciones, mejoras, etc.
- Ya con un nivel de experiencia/conocimiento adecuado, comenzar a trabajar con miembros externos del equipo del proyecto en estos nuevos enfoques de colaboración que permiten la temprana integración e intercambio de conocimiento usando el modelo de información.
- Reflejar los nuevos procesos de negocios en documentos contractuales con clientes y empresas relacionadas.
- Periódicamente “replanificar” el proceso de implementación de BIM en la organización, para reflejar los beneficios y problemas observados hasta ese

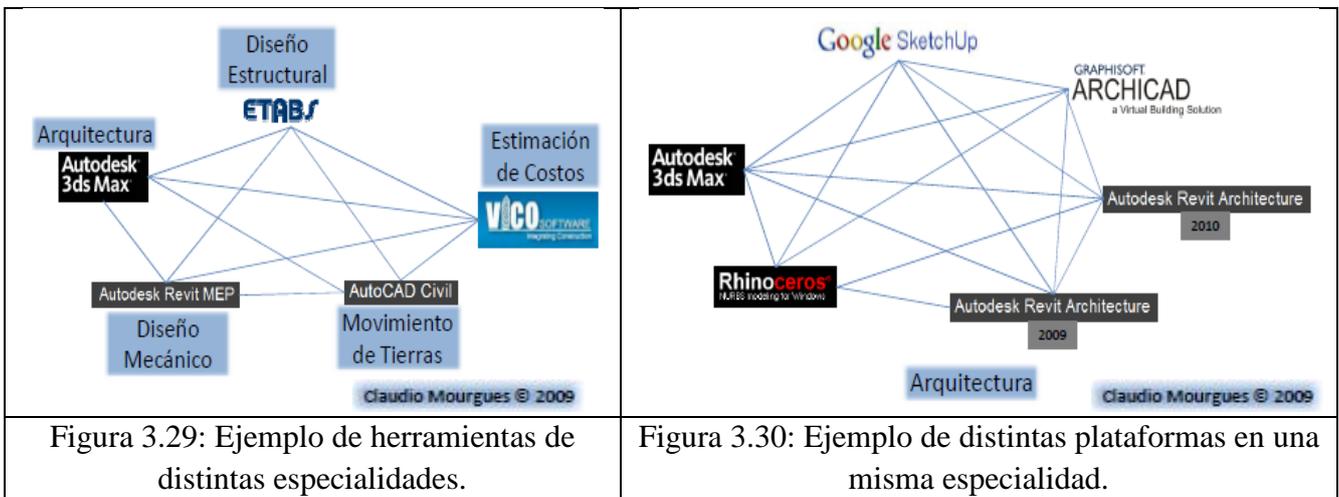
momento y fijar nuevos objetivos de desempeño, tiempo y costo que se desean obtener con la implementación.

### 3.6.3. Problemas de Interoperabilidad

El concepto de interoperabilidad se relaciona con el traspaso de datos entre programas computacionales. Es también un esfuerzo importante en la búsqueda por recuperar rápidamente información confiable y consistente desde otros programas computacionales. El traspaso expedito de datos entre especialidades (y por ende entre distintos software) es vital para hacer más eficiente los procesos de trabajo y una de las principales trabas que ha existido para una correcta operación de los sistemas BIM.

Los problemas de interoperabilidad pueden ser:

- Vincular herramientas de distintas especialidades (ver figura 3.29).
- Trabajos de distintas plataformas (distintos software) en una misma especialidad (ver figura 3.30).
- Distintos procesos y/o culturas de trabajo de las organizaciones respecto a los niveles de detalle de los modelos, a los alcances de los trabajos y al nivel de conocimiento/competencias de cada empresa.



En EEUU los costos de una inadecuada interoperabilidad entre las distintas especialidades en la industria AEC, son cerca del 4% para ingeniería y 2.5% para el mandante.

Por estos problemas es que nace la **Industry Alliance for Interoperability (IAI)** que es un consorcio global de compañías comerciales de software y organizaciones de investigación, cuya misión es permitir la interoperabilidad entre las herramientas computacionales utilizadas por todos los participantes de un proyecto en la industria AEC/FM. Su meta es definir y promover un formato de datos estándares de un

modelo de edificación (denominada **Industry Foundation Classes – IFC`s**), de tal forma de que los participantes del proyecto puedan compartir información y que el modelo virtual de la infraestructura posea un lenguaje computacional común, asegurando la interoperabilidad entre distintas plataformas BIM.

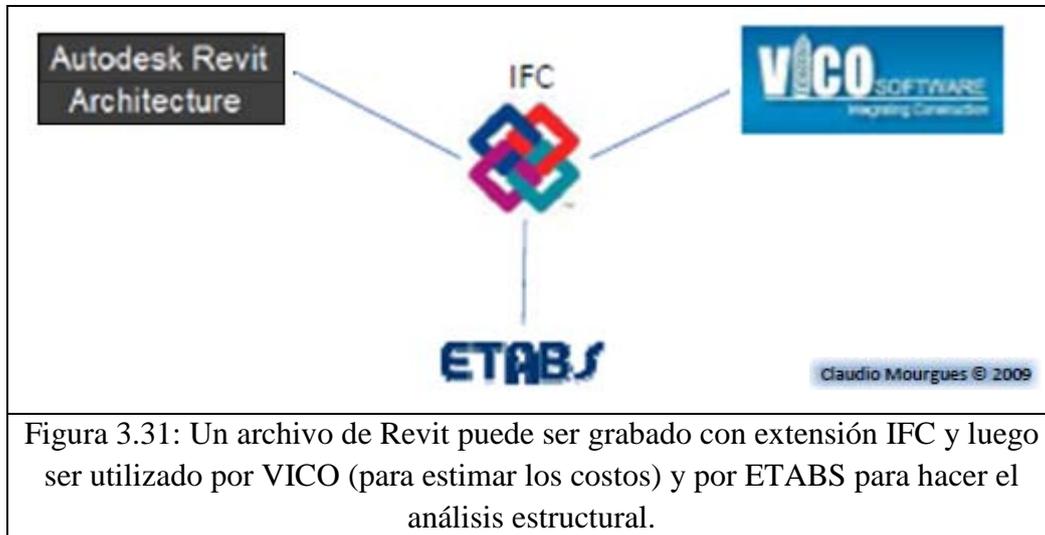


Figura 3.31: Un archivo de Revit puede ser grabado con extensión IFC y luego ser utilizado por VICO (para estimar los costos) y por ETABS para hacer el análisis estructural.

## IV. PROCESAMIENTO DE DATOS

### 4.1. DESCRIPCIÓN DE PROYECTOS A ANALIZAR

Se escogieron tres proyectos en los cuales se estimará los beneficios de utilizar BIM, dos habitacionales y uno comercial, desarrollados de la forma tradicional (diseño-licitación-construcción) y bajo un contrato a suma alzada, de tal forma de disponer de una documentación más completa de los problemas generados durante la construcción del proyecto. Las obras a analizar son los siguientes:

#### a. Edificio Gran Santiago (GS)

- **Descripción:** Construcción de cuatro edificios, dos de 20 pisos y dos de 31. Cinco niveles de Subterráneos.
- **Alcance:** Monto total de 688.400 UF; 66.000 m<sup>2</sup> de construcción de los cuales 12.500 corresponden a subterráneos.
- **Duración del Proyecto:** 30 meses (22 meses era el plazo planificado, pero se alargó por distintas dificultades).

#### b. Edificio Ángel Cruchaga (AC)

- **Descripción:** Construcción de edificio de 20 pisos. Cuatro niveles de Subterráneos.
- **Alcance:** Monto total de 235.500 UF; Superficie de 19.500 m<sup>2</sup>.
- **Duración del Proyecto:** 18 meses.

#### c. Mall Paseo Estación (MPE)

- **Descripción:** Construcción obra gruesa, excavaciones y entibaciones, mallas de tierra eléctricas e instalaciones sanitarias.
- **Alcance:** Monto de 516.000 UF, 96.000 m<sup>2</sup> distribuidos en estacionamientos, tiendas y terminal de buses.
- **Duración del Proyecto:** 17 meses.

### 4.2. DEFINICIÓN DE CRITERIOS PARA ANÁLISIS DE BENEFICIOS

#### 4.2.1. Para Obras Extraordinarias (OOEE)

Las modificaciones de obra, acordadas entre el Mandante y la Constructora, se clasificarán por **Obras Previsibles** (OOEE que efectivamente se tienen que realizar, independiente del momento en que se den cuenta), **Obras con Costo Evitable** (existen

partidas que podrían haberse evitado con BIM, por ej. demoliciones, reparaciones, inyección de fierros, etc.) y **Obras Imprevistas**.

Ejemplo: Un extraordinario generado por una modificación en la Losa de Fundación:

- Si el cambio de la losa de fundación fue por un error en el plano de construcción entregado (es decir, error en el diseño) y además se dieron cuenta antes de construir significa que este extraordinario es clasificado como “Obra Previsible”.
- Si se dieron cuenta de este error una vez hecha esta losa entonces hubo que demoler y asignar recursos que se considerarán como pérdidas y por lo tanto esta modificación de obra es clasificada como “Obra con Costo Evitable”.
- Ahora, si esta modificación fue producto del terreno, no es previsible ni evitable.

Además, las clasificadas como Obras Previsibles y Obras con Costo Evitable, tendrán una sección “discutible”, debido a la limitada información que se tiene de la razón de las modificaciones de obra.

**a. Obra previsible:** Serán catalogadas como:

**Si:** Las que son previsibles y no caen en las discutibles.

**Discutible:** Obras que debiesen haber estado definidas desde un principio (modificación de departamentos, tabiques en ciertos sectores, vigas estructurales, etc.), pero como no se tiene información respecto a la razón por la cual se hizo esta modificación, se colocaran en las discutibles. Ejemplos:

- Si la modificación de la superficie de baños fue porque el mandante no visualizó bien el proyecto con los planos y posiblemente con un modelo en 3D se podría haber evitado. Sin embargo, esto es muy relativo, por lo que cae dentro de las “Discutibles”. Si no se sabe la razón de la modificación, se colocará como NO (para estar en el lado seguro).
- Suministro e Instalación de topes para puertas closets. Modelo BIM puede o no llegar a ese nivel de detalle por lo que esta OE se clasifica como discutible.

**b. Obras con costo evitable:** Por ejemplo si hubo un extraordinario del tipo “Aumento de enfierradura en las fundaciones, en el que la actividad significó demoler”. Estas serán catalogadas como:

**Si:** Caso que Extraordinario fue producto de un error en los planos (mostraban menos fierro de lo necesario).

**Discutible:** Caso de que no se tenga información muy precisa.

- c. **Obras Imprevistas (NO):** Finalmente, las Obras Extraordinarias que se efectúan independientemente de la utilización de BIM se clasificarán como Obras Imprevistas (en las tablas como “NO”).

#### 4.2.2. Para Requerimientos de Información (RDI)

Los RDI se clasificarán de la siguiente manera:

##### **I. Incongruencias en planos, entre planos de la misma especialidad o de diferentes especialidades y entre planos con especificaciones. Ejemplos:**

1. El corte 10 del plano 1A no concuerda con sección de plano 2. Favor aclarar cual detalle es el que manda. **Incongruencias en planos de la misma especialidad.**
2. En plano 1A aparece corte 2 en dos ubicaciones distintas (viga eje C y en dado de fundación (290x290cm)). Favor aclarar para cuál de estas dos ubicaciones es válido este corte. **Incongruencia en el mismo plano.**
3. Muro eje 51, el espesor no concuerda entre planta (plano 3) y elevación (plano 48). **Incongruencia entre planta y corte de la misma especialidad.**
4. En plano planta 1A no aparece muro (entre eje 34 y 35 con eje K) que si aparece en plano 3 y planos de arquitectura. Se solicita corregir plano 1A y enviar elevación de este muro. **Incongruencias en planos de distinta especialidad (Calc. y Arq.)**
5. En EETT se señala que la altura del pulsador es de 1,1 m y en cuadro de simbología de planos se indica 1,5 m. Se requiere saber cual prevalece. **Incongruencias entre planos y especificaciones.**
6. En plano 67 pilares Típico plaza, se indica en su último empalme 4  $\varnothing$  25 largo 620, siendo que desde la parte inferior se indicaban 6  $\varnothing$  25. Se solicita aclaración. **Incongruencia en el mismo plano.**

##### **II. Falta y Falla de Detalle / Especificación / Definición. Ejemplos:**

1. Para corte 2 del plano 2 no indica detalle de enfierradura de viga. Favor indicar enfierradura asociada. **Falta de detalle.**
2. Se solicita indicar cota de sello de vigas de fundación indicadas en plano 1A. **Falta de especiación.**
3. En leyenda de planos de planta de Arquitectura se menciona un tabique especificado como TM6. Se solicita aclarar la ubicación en planta de estos tabiques, ya que en planos no aparece ningún tabique de este tipo. **Error de escritura en la especificación.**

4. En sala de máquinas de ascensores edificio D, no existe puerta de acceso. Se solicita incorporar. **Falta de Definición.**
5. El espacio designado para el grupo generador no es suficiente, este mide 2,06 x 4,62 mts, el grupo electrógeno mide 2,87 x 3,53 mts. Favor enviar solución. **Problema de Dimensionamiento.**

### **III. Falta de Documentación / Falta de Actualización. Ejemplos:**

1. Plano N° 65, no se ha entregado aún a la fecha, en este plano se detallan las elevaciones del sector plaza. **Falta de Documentación.**
2. Favor enviar elevación del eje 37. Específicamente detalle de muro eje K-J/37(plano 3 y plano 1A). **Falta de Documentación.**
3. En plano 67, elevación eje AF.1, recibido el 06 de Agosto, se indican 3 Fierros de diámetro 36 de largo 930 cm, que no estaban indicados en versión anterior de este plano. Se solicita confirmar si estos fierros son necesarios para las vigas inferiores ya que no quedaron colocados pues no estaban indicados en los planos de revisión anterior. **Falta de Actualización.**

### **IV. Proposiciones (de Cambio). Ejemplos:**

1. Se consulta si es posible cambiar la sección de 60 x 60 de ducto de extracción por obra en 5° subterráneo por una sección circular equivalente o superior, con objeto de utilizar ductos cilíndricos de hormigón prefabricado.
2. Debido al sistema TDF especificado para los ductos se debe considerar que en la parte de las uniones son más grandes que la medida nominal señalada en los planos de especialidad. Se solicita aumentar 10 cms por lado, las medidas de las pasadas mostradas en los planos de cálculo.
3. En planos de Seguridad se solicitan para sensores de humo y temperatura cajas 100 x 100 mm. Dado que se autorizó embutir las canalizaciones en las losas de hormigón se consulta si es factible reemplazar las cajas señaladas por unas de 106 x 71 x 52 mm.

### **V. Otras (todo tipo de RDI que no se puedan clasificar como las anteriores). Ejemplos:**

1. Se solicita aclarar por qué el fierro de fundaciones de 4° subterráneo, transversales a eje 25, pasan rectos a nivel de 5° subterráneo, siendo que en este eje existe un cambio de nivel. Se pide además indicar el cambio de nivel en plano 1A.
2. Se solicita corregir plano 1A en sector desnivel eje 52 ya que los fierros indicados no consideran el desnivel indicado en plano 1C.
3. Se solicita cambio de ubicación de un elemento para evitar interferencia.
4. Interferencias (pilas con vigas, pilas con muro, etc.)

### **Y los análisis a desarrollar serán los siguientes:**

**Para el Edificio Gran Santiago:** Clasificación, Grado de Urgencia, RDI que no fueron respondidas a tiempo según Grado de Urgencia, en estos tres separados por si se detectan utilizando BIM.

Nota: El grado de urgencia (Holgura) viene dada por la diferencia en días entre la fecha de emisión de la RDI y la fecha colocada como “favor responder antes de”. Con esta fecha se infiere que si la RDI no se responde antes, el problema que generó esta RDI puede implicar atrasos en el programa constructivo.

**Edificio Ángel Cruchaga:** Clasificación y si fueron o no respondidas a tiempo. En ambos análisis separados por si se detectan utilizando BIM.

Nota: En todas las RDI se le daba como “Holgura” (responder antes de) 2 días, por lo que no se hará un análisis tan minucioso del “grado de urgencia” para este proyecto (RDI urgentes se comunicaban por correo, no en forma escrita en la RDI, como en el proyecto Gran Santiago).

**En Mall Paseo Estación:** no se pudo conseguir documentación de las RDI efectuadas durante la construcción.

Los argumentos/supuestos de clasificación para cada RDI se presentan en el CD anexo. Existen algunas que presentan problemas al evaluar si es que se evitan o no al utilizar BIM, en estas se emitió comentarios del por qué de la clasificación usada. En otras se omitió al no estimar necesario la argumentación, como por ejemplo en RDI del tipo “Incongruencias entre planos”, dado que al construir el modelo a partir de estos, se detectaría esta inconsistencia (en la mayor parte de este tipo de RDI al menos).

### **4.3. CONSIDERACIONES DEL TRABAJO**

No olvidar que este es un **escenario supuesto**, los proyectos ya están completados y se desarrollaron de la forma tradicional sin aplicar BIM. El escenario contrafactual definido es el siguiente: “En los proyectos a analizar se utilizó la tecnología BIM para coordinar digitalmente las especialidades de tal forma de detectar colisiones y otros problemas”. Al definir el nivel de implementación BIM de este escenario se obtienen los costos y beneficios en los cuales se concentrará este estudio.

#### **a. Consideraciones del escenario**

- Implementación en etapa de diseño: Construcción del modelo a partir de planos generados por especialidades.

- Mandante contrataría a un equipo coordinador que construiría el modelo.
- Periodo de coordinación y construcción del modelo: 2-3 meses.
- Beneficios: Ahorro de obras extras que podrían haberse evitado (ej. trabajos rehecho, reparaciones y demoliciones debido a deficiencias en el diseño, etc.), disminución de la cantidad de RDI efectuadas en etapa de construcción.
- Costos serían asumidos por el mandante: Licencia Software, Hardwares, Capacitación, Dibujantes y Coordinador BIM.
- Método de Entrega: Tradicional (Diseño-Licitación-Construcción).
- Costos de implementación se evaluarán como si se fueran a realizar por única vez en cada proyecto y por ende sobreestimando estos (costo del software, hardware y capacitación se ahorrarían para proyectos futuros). Por otro lado, en un proyecto tradicional de mediana complejidad también existe un coordinador de especialidades, costo que el mandante “se ahorraría”, dado que ahora le estaría pagando a un coordinador BIM. Este ahorro tampoco se considerará en el análisis.

Otras funciones del Equipo BIM (además de construir el modelo y coordinar digitalmente las especialidades):

- Verificar que los elementos a utilizar están presentes en el mercado (medida de vigas metálicas, espesor de ductos de extracción, tabiques divisorios, ventanas, maquinarias como motobombas, grupo electrógeno, etc.).
- Chequear incongruencias entre EETT y planos.
- Conocimientos del Coordinador BIM o “BIM Manager”: Modelación con software BIM. Procesos de trabajo en etapa de diseño y construcción. Procesos constructivos.

#### **b. Consideraciones del Modelo**

- **Aplicaciones:** Detección de interferencias, de incongruencias, faltas de detalle y como herramienta de comunicación (transmisión RDI, visualización por parte de actores, etc.). **No se aplicará:** simulación 4D, extracción de cubicaciones a partir del modelo, integración con otros software para análisis, integración con plataforma ERP, servidor central para trabajo de actividades en paralelo.
- Detalles y atributos de elementos del modelo (especificaciones para construcción):

#### **Información gráfica:**

- Mecánica de Suelos: pilas y anclajes

- Calculo: Elementos estructurales (muros, vigas, pilares, etc.), pavimentación.
- Sanitario: Sistemas de tuberías/ductos/canaletas de Agua Potable, Alcantarillado y Aguas Lluvias.
- Eléctrico: ubicación de los distintos elementos eléctricos (centros de luz, mallas de tierra, etc.) y de corrientes débiles.
- Arquitectura: Revestimiento y color de pintura.

**Información no gráfica (Atributos):**

- Posibles proveedores que disponen del material que constituye el elemento.
- Materialidad de los elementos (tipo de acero, color de la pintura, etc.)
- Cubicaciones según la necesidad.

**c. Algunas aclaraciones**

- Beneficios de la Implementación o Utilización de BIM: Se subentiende como los beneficios de realizar una coordinación digital en etapas tempranas con tecnologías BIM.

El “**nivel de implementación**” de la tecnología lo da el “Alcance BIM”, es decir, la cantidad de especialidades que opera el modelo, el nivel de detalle de este, si se integra con otros sistemas (ej. ERP, herramientas de estimación y control de costos), etc.

- Decir un “BIM” es equivalente a decir un “Modelo BIM”. Un “Sistema BIM” involucra tanto el modelo como también los cambios que involucra (en la cultura de trabajo, en los procesos, etc.)
- Requerimientos de Información = Solicitudes de Información = Solicitudes de Aclaración (las empresas utilizan estos nombres indistintivamente).
- “RDI evitadas con BIM” será equivalente a decir “RDI detectadas en etapas tempranas del proyecto”. Al detectarse el problema que produjo la RDI se puede solucionar con anterioridad a la construcción.

#### 4.4. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

Valores de referencia: UF = \$21.000 y US\$ = 550. Los valores de capacitación, licencias, sueldos y hardwares fueron consultados a especialista en el tema (Vivian Cardet, Gerente General de Comgrap Ltda.).

##### a. Gran Santiago

- **Alcance del modelo:** modelamiento de socializado (pilas), arquitectura, estructura, electricidad, climatización, sanitario (agua potable, aguas lluvias y alcantarillado).
- N° Dibujantes: 4
- N° de Computadores con Licencia: 4
- Duración Construcción del Modelo: 3 meses.
- Asesoría: 3 horas a la semana; 2,5 UF/Hora.

Tabla 4.1: Costos de Implementación Proyecto Gran Santiago

<b>Profesionales</b>	<b>Escenario con BIM</b>			<b>Costo [\$]</b>
	<b>N° Especialistas</b>	<b>Sueldo [\$]</b>	<b>Meses</b>	
<b>Coordinador BIM</b>	1	2.500.000	3	7.500.000
<b>Dibujantes</b>	4	500.000	3	6.000.000
<b>Capacitación (Para Especialistas)</b>	<b>N°</b>	<b>Costo [\$]</b>		
	2	220.000		1.760.000
<b>Asesoría (Experto BIM)</b>		<b>UF/Hora</b>	<b>Hrs/Semana</b>	
	1	3	3	1.890.000
<b>SUBTOTAL</b>				17.150.000

<b>Software</b>		
<b>Licencia [US\$]</b>	<b>N°</b>	<b>Costo [\$]</b>
5.135	4	12.500.000

<b>Hardware</b>		
<b>Estación de Trabajo [US\$]</b>	<b>N°</b>	<b>Costo[\$]</b>
1.200	4	2.640.000

<b>TOTAL</b>	<b>[UF]</b>	<b>[\$]</b>
	1.538	32.290.000

**b. Mall Paseo Estación**

- **Alcance del Modelo:** modelamiento de socializado (pilas), estructura, electricidad, sanitario.
- N° Dibujantes: 2
- N° de Computadores con Licencia: 2
- Duración Construcción del Modelo: 3 meses.
- Asesoría: 3 horas a la semana; 2,5 UF/Hora.

Tabla 4.2: Costos de Implementación Proyecto Mall Paseo Estación

<b>Profesionales</b>	<b>Escenario con BIM</b>			<b>Costo [\$]</b>
	<b>N° Especialistas</b>	<b>Sueldo [\$]</b>	<b>Meses</b>	
<b>Coordinador BIM</b>	1	2.500.000	3	7.500.000
<b>Dibujantes</b>	2	500.000	3	3.000.000
<b>Capacitación (Para Especialistas)</b>	<b>N°</b>	<b>Costo [\$]</b>		
	2	220.000		880.000
<b>Asesoría (Experto BIM)</b>		<b>UF/Hora</b>	<b>Hrs/Semana</b>	
	1	3	3	1.890.000
<b>SUBTOTAL</b>				13.270.000

<b>Software</b>		
<b>Licencia [US\$]</b>	<b>N°</b>	<b>Costo [\$]</b>
5.135	2	6.200.000

<b>Hardware</b>		
<b>Estación de Trabajo [US\$]</b>	<b>N°</b>	<b>Costo [\$]</b>
1.200	2	1.320.000

<b>TOTAL</b>	<b>[UF]</b>	<b>[\$]</b>
	990	20.790.000

c. **Edificio Ángel Cruchaga**

- **Alcance del Modelo:** modelamiento de socializado (pilas), arquitectura, estructura, electricidad, climatización, sanitario.
- N° Dibujantes: 2
- N° de Computadores con Licencia: 2
- Duración Construcción del Modelo: 2 meses.
- Asesoría: 3 horas a la semana; 2,5 UF/Hora.

Tabla 4.3: Costos de Implementación Proyecto Ángel Cruchaga

<b>Profesionales</b>	<b>Escenario con BIM</b>			<b>Costo [\$]</b>
	<b>N° Especialistas</b>	<b>Sueldo [\$]</b>	<b>Meses</b>	
<b>Coordinador BIM</b>	1	2.500.000	2	5.000.000
<b>Dibujantes</b>	2	500.000	2	2.000.000
<b>Capacitación (Para Especialistas)</b>	<b>N°</b>	<b>Costo [\$]</b>		
	2	220.000		880.000
<b>Asesoría (Experto BIM)</b>		<b>UF/Hora</b>	<b>Hrs/Semana</b>	
	1	3	3	1.890.000
<b>SUBTOTAL</b>				<b>9.770.000</b>

<b>Software</b>		
<b>Licencia [US\$]</b>	<b>N°</b>	<b>Costo [\$]</b>
5.135	2	6.200.000

<b>Hardware</b>		
<b>Estación de Trabajo [US\$]</b>	<b>N°</b>	<b>Costo [\$]</b>
1.200	2	1.320.000

<b>TOTAL</b>	<b>[UF]</b>	<b>[\$]</b>
	823	17.290.000

#### **4.5. BENEFICIOS DE IMPLEMENTACIÓN**

Los beneficios a evaluar/estimar para el nivel de implementación definido, será la cantidad de Obras Extraordinarias que se podrían evitar (con lo que se obtiene una mayor rentabilidad para el mandante) y el número de Requerimientos de Información que se detectan en etapas tempranas al construir un modelo virtual 3D de la obra a ejecutar (lo que se traduce en un beneficio en la etapa de construcción del proyecto, al haber menos esperas por falta/fallas de información). Los resultados se exponen en forma detallada en los Anexos N° 2 y 3 del informe. Un resumen de los resultados obtenidos y análisis de estos se muestran en el capítulo V del presente informe.

## V. ANALISIS RESULTADOS

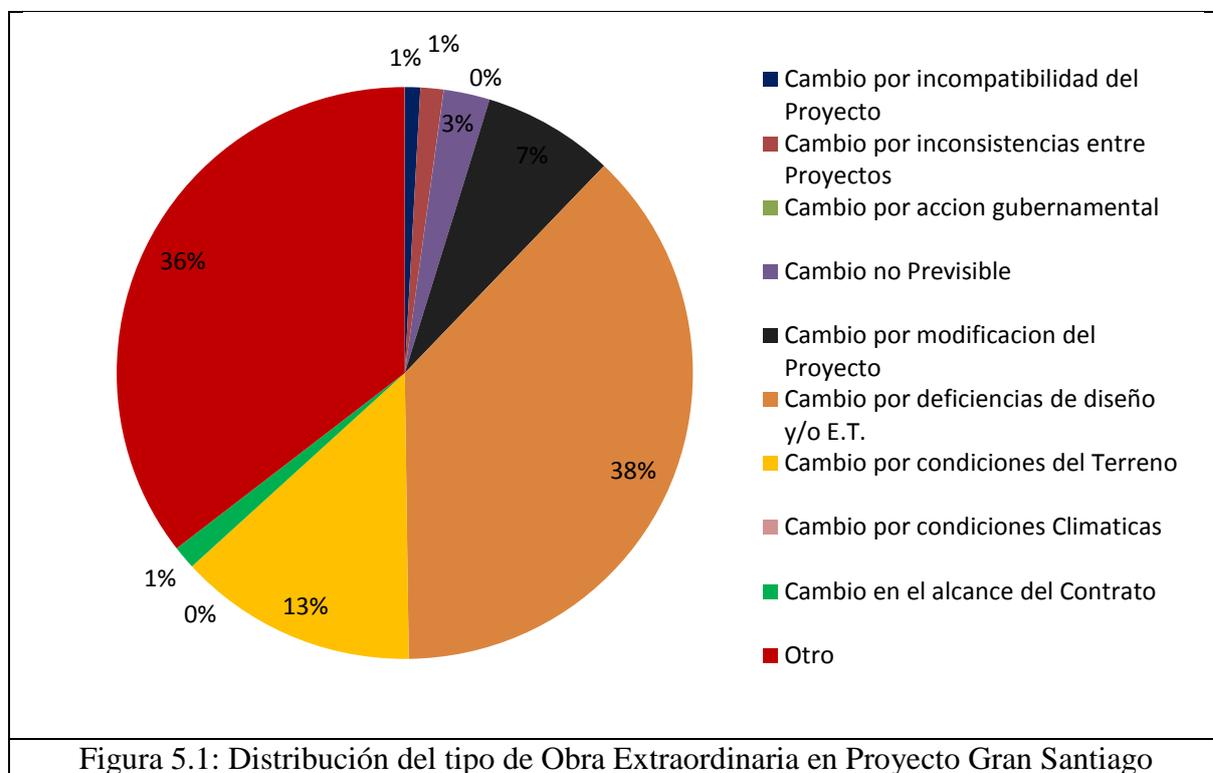
### 5.1. EDIFICIO GRAN SANTIAGO

#### 5.1.1. Análisis para Modificaciones de Obra

##### a. Razón del cambio de Obras Extraordinarias

Tabla 5.1: Cantidad del tipo de Obra Extraordinaria

Identificación	Razón	Cantidad	(%)
1	Cambio por incompatibilidad del Proyecto	2	0,9
2	Cambio por inconsistencias entre Proyectos	3	1,3
3	Cambio por acción gubernamental	0	0,0
4	Cambio no Previsible	6	2,6
5	Cambio por modificación del Proyecto	18	7,4
6	Cambio por deficiencias de diseño y/o E.T.	86	37,7
7	Cambio por condiciones del Terreno	31	13,4
8	Cambio por condiciones Climáticas	0	0,0
9	Cambio en el alcance del Contrato	3	1,3
10	Otro	82	35,5



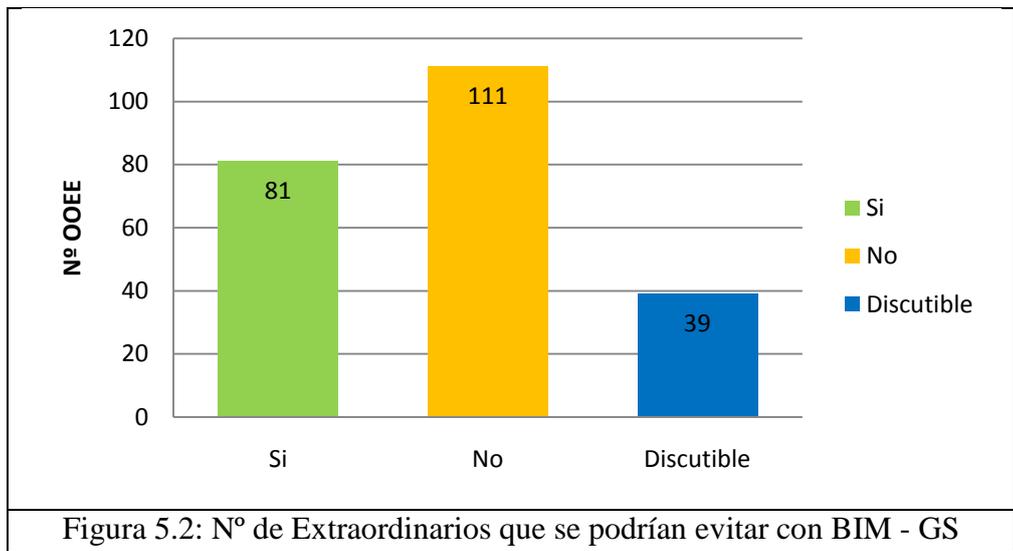
Normalmente las obras extraordinarias se generan particularmente por tres razones principales: Condiciones imprevistas en terreno (3era porcentaje mayor para este proyecto), Modificaciones (por el mandante o por especialistas que no tenían completado su proyecto) y Errores/Deficiencias en el diseño (incongruencias, faltas de detalle, etc. en planos y/o especificaciones, razón principal para Gran Santiago). En general, las condiciones imprevistas en terreno no se podrían evitar con BIM, mientras que los errores en el diseño sí. Las modificaciones de obra (que generalmente comienzan con “aumentos de...” o “disminuciones de...”) se podrían eventualmente evitar con un modelo BIM, en particular las modificaciones hechas por parte del mandante (con un modelo 3D se visualiza mejor el diseño, particularmente para actores no técnicos). Las hechas por las especialidades no necesariamente podrían evitarse construyendo el modelo, pero si con un cambio en el esquema de trabajo (Proyecto desarrollado como IPD).

**b. Obras Extraordinarias Evitadas**

De un total de **231** Obras Extraordinarias aprobadas, se tiene que con una coordinación digital de especialidades se podrían haber evitado las mostradas en la tabla 5.2. Recordar que las obras previsibles son aquellas que se detectaron en forma oportuna y por lo tanto no hubo costos por demolición, reparaciones, trabajo rehecho, etc.

Tabla 5.2: N° Extraordinarios previsibles o con costo evitable - GS

Costo Evitable			Obra Previsible	
Si	No	Discutible	Si	Discutible
45	111	5	36	34
19,5%	48,1%	2,2%	15,6%	14,7%



Como se observa en el gráfico anterior, el total de Obras Extraordinarias que se podrían evitar con BIM es de **81**, que corresponden a un **35,1%** del total de extraordinarios efectuados en el proyecto. En un escenario favorable (contando las discutibles) esta suma podría llegar a **120 (51,9%)**.

**c. Ahorro de Costos y Rentabilidad de la Inversión**

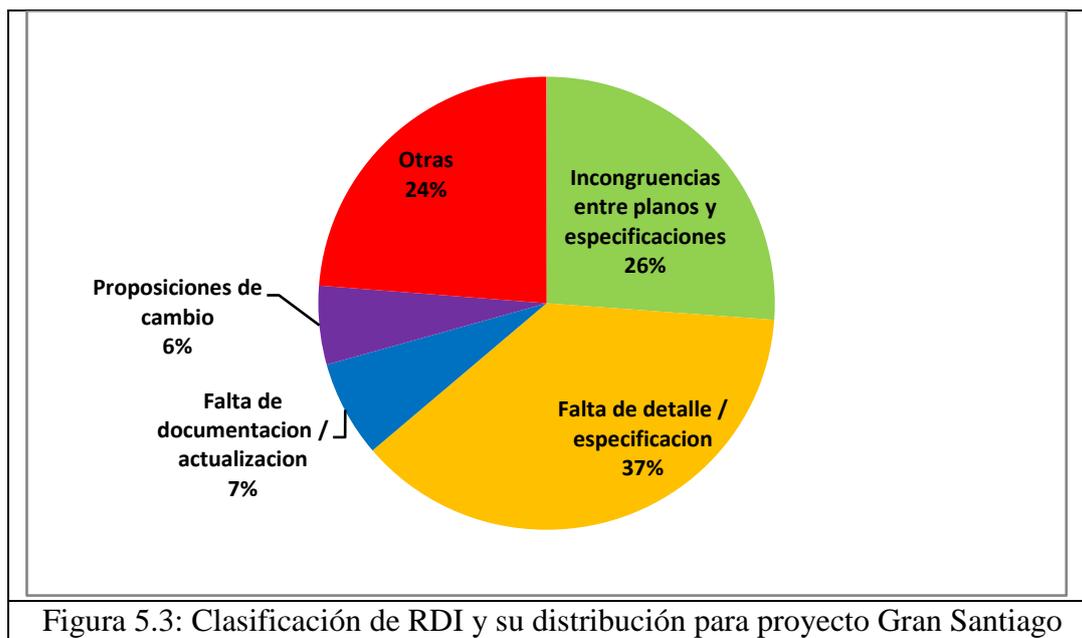
Del total de obras extraordinarias evitadas, estas se traducen en un ahorro de costos para el mandante de 9.428 UF que corresponden a un 1,37% del costo total de construcción y a un 9,1% del monto total de las obras extraordinarias efectuadas en el proyecto. Si se incluye los extraordinarios con costos que se podrían evitar en forma discutible, los ahorros suman 11.584 UF que corresponden a un 1,68% del costo de construcción y a un 11,18% del monto de las obras extraordinarias. Tomando en cuenta estos ahorros y los costos de implementación, calculados en el punto 4.4 se obtiene el retorno de la inversión para el mandante. El resumen se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.3: ROI de una coordinación digital de especialidades - GS

<b>Costo Total Obra [UF]</b>	688.400	
<b>Total Extraordinarios [UF]</b>	103.583	
<b>Costo de Implementación [UF]</b>	1.538	
<b>Escenarios</b>	Potencial	Favorable
<b>Ahorro [UF]</b>	9.428	11.584
<b>% del Costo Construcción</b>	1,37%	1,68%
<b>% del Costo Total de O.E.</b>	9,10%	11,18%
<b>ROI</b>	6,13	7,53
	<b>6:1</b>	<b>8:1</b>

**5.1.2. Análisis para Requerimientos de Información**

En el proyecto Gran Santiago se emitieron un total de **657** RDI por parte de la empresa constructora. La clasificación de estas, explicada en el punto 4.2.2, se muestra en el siguiente gráfico. Para mayor detalle ver Anexo N° 3 del presente informe.



Del total de solicitudes de información emitidas, las que podrían ser detectadas mediante una coordinación digital con tecnologías BIM se muestran a continuación:

**a. RDI detectadas en etapa de diseño según Clasificación**

Tabla 5.4: N° de RDI detectadas en etapas tempranas según tipo - GS

Clasificación	Si	No	Discutible	Total
<b>Incongruencias en (entre) planos y especificaciones</b>	171	1	0	<b>172</b>
<b>Falta de detalle / especificación</b>	236	2	9	<b>247</b>
<b>Falta de documentación / actualización</b>	3	22	20	<b>45</b>
<b>Proposiciones de cambio</b>	0	34	3	<b>37</b>
<b>Otras</b>	49	69	38	<b>156</b>
<b>Total</b>	459	128	70	<b>657</b>
<b>(%)</b>	<b>69,9%</b>	<b>19,5%</b>	<b>10,7%</b>	<b>100%</b>

En la tabla se observa que casi el **70%** de las RDI emitidas se podrían detectar construyendo un modelo en la etapa de diseño. La mayoría de las detectables corresponden a incongruencias entre planos/especificaciones y a faltas/fallas de detalle en planos/especificaciones, lo que era de esperarse. En un escenario favorable estas podrían llegar a casi el **80%**.

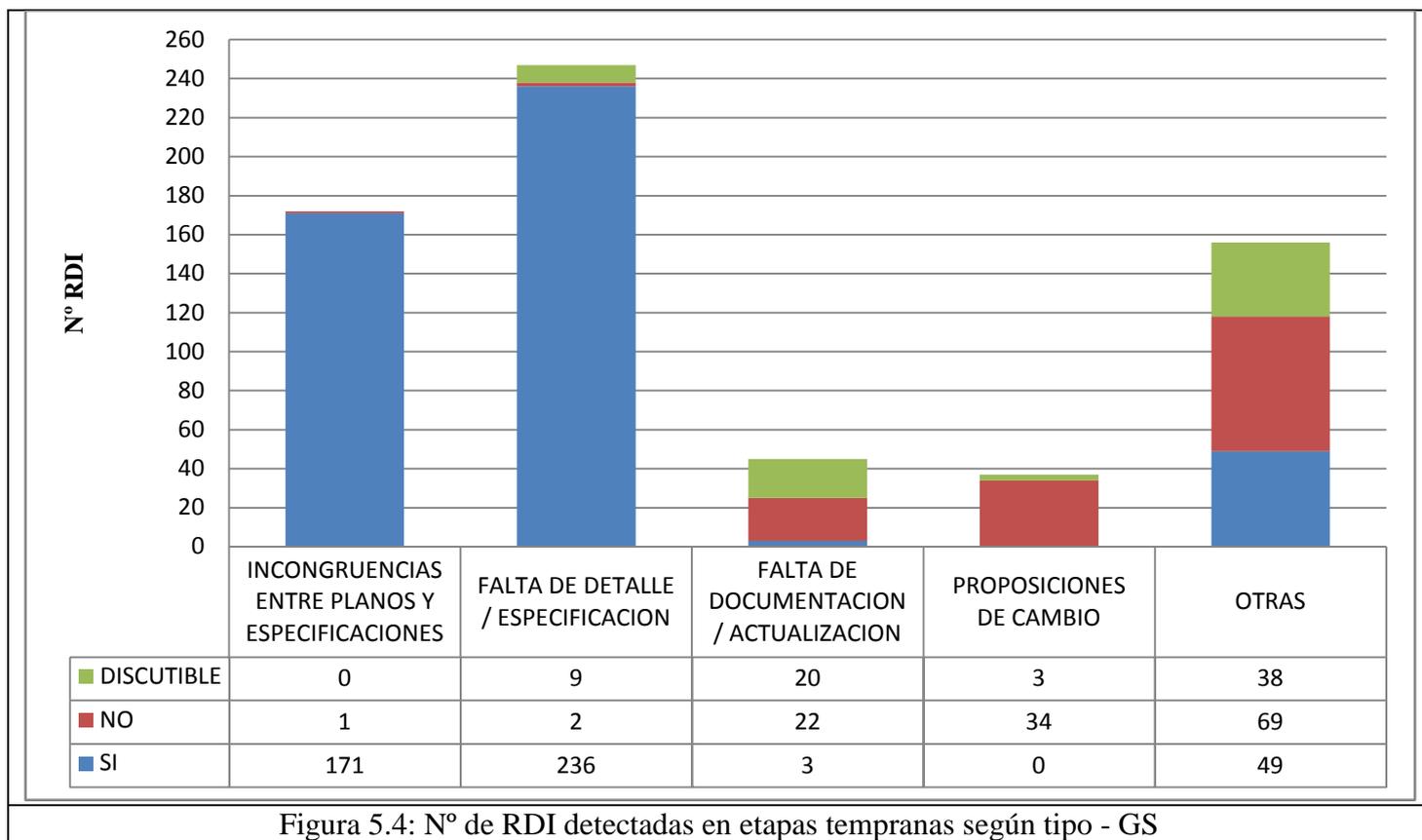


Figura 5.4: N° de RDI detectadas en etapas tempranas según tipo - GS

**b. RDI detectadas en etapa de diseño según nivel de riesgo**

Tabla 5.5: N° de RDI detectadas según grado de urgencia - GS

Nivel de Riesgo / Grado de Urgencia	Si	No	Discutible	Total
<b>Urgente (Holgura 0)</b>	58	13	6	77
<b>Alto (Holgura entre 1 y 2)</b>	299	81	48	428
<b>Medio (Holgura entre 3 y 4)</b>	58	26	6	90
<b>Bajo (Holgura más de 5)</b>	44	8	10	62
<b>TOTAL</b>	459	128	70	657

En esta tabla se observa que **357** RDI, catalogadas como urgentes o con un grado Alto de riesgo, se podrían detectar con una coordinación digital en etapas tempranas. Ósea, más de un **50%** del total de RDI emitidas, que probablemente se efectuaron al encontrarse con el problema en terreno (por eso el grado de urgencia en la respuesta), se detectarían con BIM con los notables beneficios que esto conlleva (esperas por faltas/fallas de información es un tipo de pérdida muy común en la industria de la construcción).

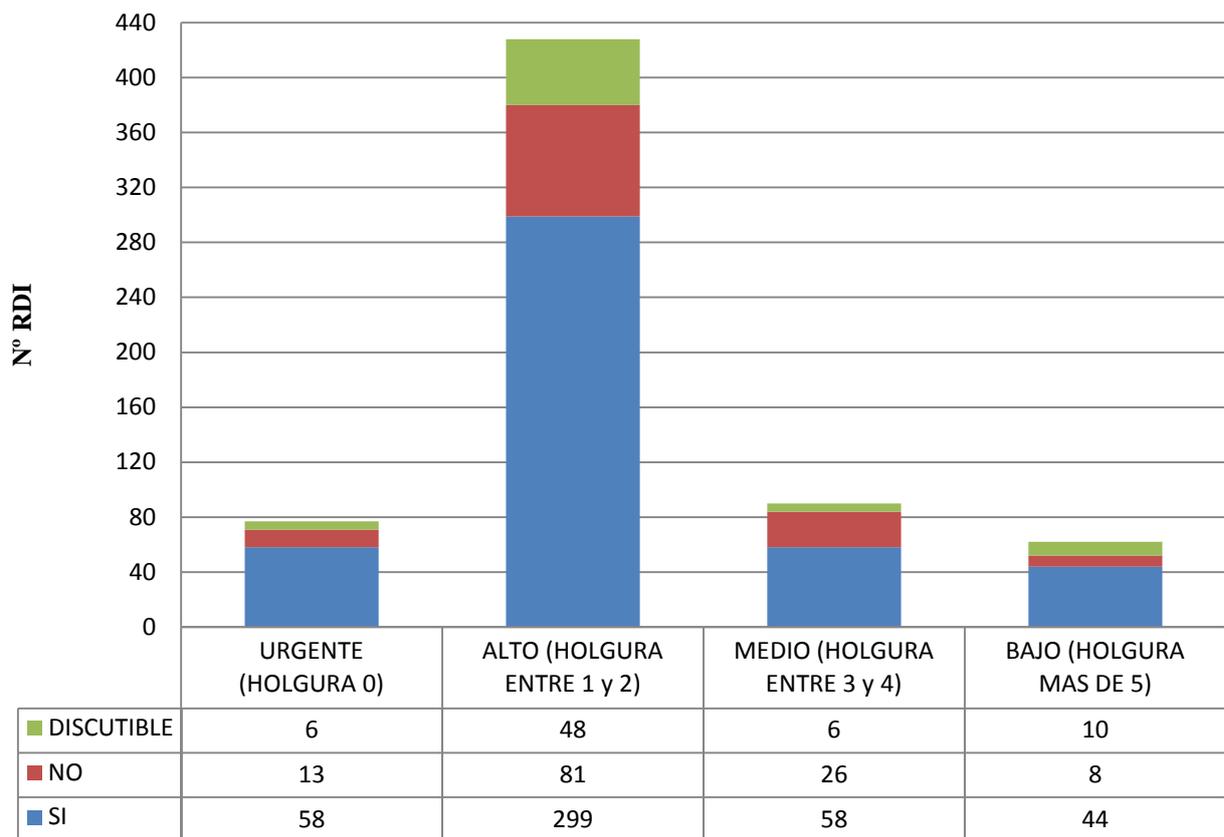


Figura 5.5: N° de RDI detectadas según grado de urgencia - GS

**c. RDI detectadas en etapa de diseño según nivel de riesgo las cuales no fueron respondidas a tiempo**

Estos resultados son muy relevantes, dado que pueden indicar el N° total de RDI que potencialmente indujeron a atrasos en el programa de construcción. Cabe destacar que la duración real de la etapa de construcción fue de 30 meses, mientras que el programa de construcción planificado fue de 22. Su alargamiento fue producto de distintas razones, como un peligro de derrumbes imprevisto, interferencias con tuberías de propiedad de Entel y Telefónica, quienes se demoraron en sacar estas, etc., pero principalmente, este alargamiento correspondió a esperas por falta/fallas de información (RDI no respondidas a tiempo).

Tabla 5.6: N° RDI que no fueron respondidas a tiempo detectadas con BIM - GS

Nivel de Riesgo / Grado de Urgencia	Total RDI	N° NO Respondidos a Tiempo			N° NO Respondidos a Tiempo que se detectan <sup>11</sup>		
TIPO		N°	% del tipo	% del total	N°	% del tipo	% del total
Urgente (Holgura 0)	77	68	88,3%	10,4%	54	70,1%	8,2%
Alto (Holgura entre 1 y 2)	428	313	73,1%	47,6%	217	50,7%	33,0%
Medio (Holgura entre 3 y 4)	90	69	76,7%	10,5%	40	44,4%	6,1%
Bajo (Holgura más de 5)	62	53	85,5%	8,1%	40	64,5%	6,1%
<b>TOTAL</b>	<b>657</b>	<b>503</b>	<b>76,6%</b>	<b>76,6%</b>	<b>351</b>	<b>53,4%</b>	<b>53,4%</b>

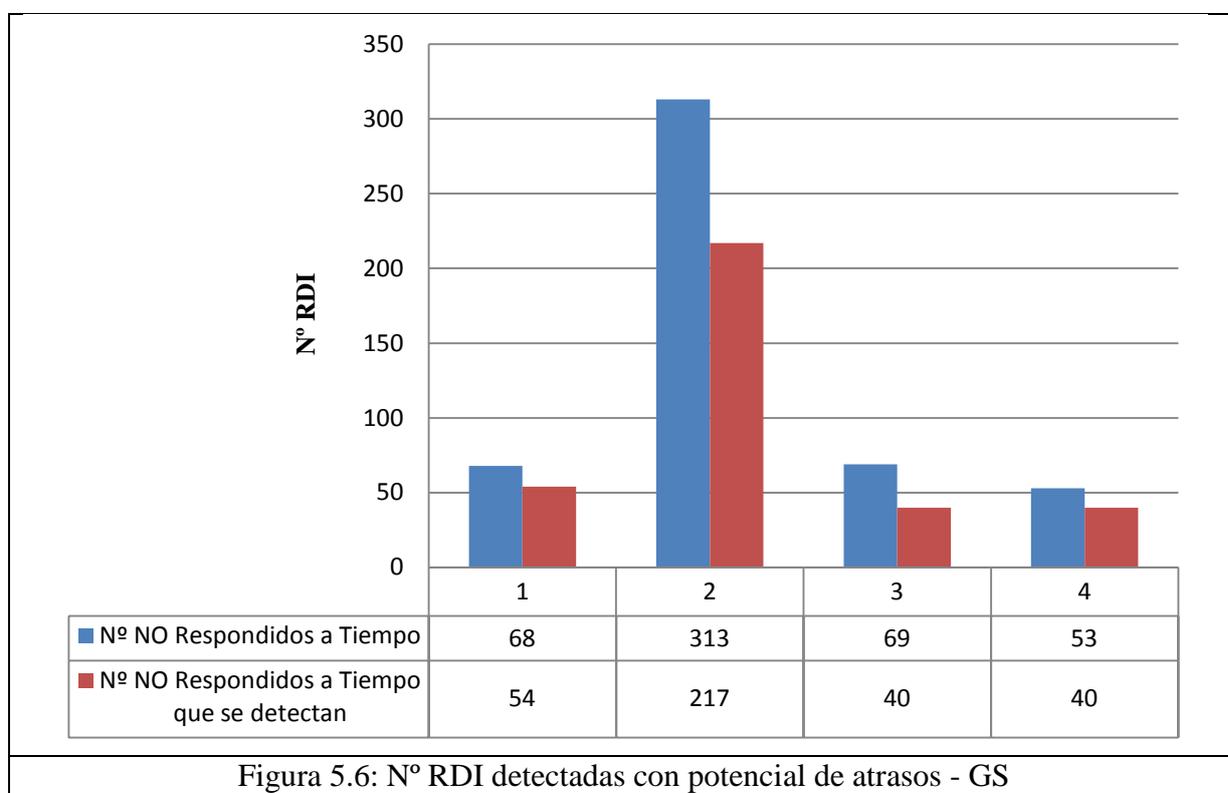


Figura 5.6: N° RDI detectadas con potencial de atrasos - GS

Como se comentó anteriormente, estos resultados pueden indicar el número de RDI que potencialmente indujeron a atrasos en la construcción del edificio Gran Santiago. En la tabla se observa que más de un **50%** del total de RDI que no fueron respondidas a tiempo, se detectan con la aplicación de BIM.

Se obtuvo que casi el **80%** de las RDI emitidas no fueron respondidas a tiempo. Del total de estas (503 RDI), **381** están catalogadas como urgentes o con un grado alto de riesgo (las que probablemente fueron efectuadas al encontrarse con el problema en terreno). De estas 381 (casi el 60% del total) se tiene que **271** se podrían

<sup>11</sup> En estos resultados no se incluyen las RDI que se podrían detectar en forma discutible.

detectar con BIM. En definitiva, más de un **40%** de las RDI que potencialmente indujeron a atrasos en el programa de construcción se evitarían con BIM (al detectarse tempranamente al construir el modelo).

Por otro lado, las RDI catalogadas con un grado medio y bajo de urgencia, posiblemente vienen de problemas que podrían arreglarse con algún grado de holgura (1 o más semanas). De todas formas es un dato importante, dado que independiente de la relativamente baja urgencia, al no responderse a tiempo estas RDI, se generan pérdidas de productividad: se tenía planificado realizar esta actividad un día, con recursos ya asignados y por problemas se tuvo que postergar; no generaron atrasos, pero sí un costo por pérdidas en la eficiencia de los trabajos.

## **5.2. MALL PASEO ESTACIÓN**

### **5.2.1. Análisis para Obras Extraordinarias**

#### **a. Principales razones de las Obras Extraordinarias efectuadas:**

- La principal razón de las disminuciones de obra se debió a que la cantidad de capital para invertir que el mandante disponía no estaba tan clara. Faltó financiamiento, por lo que luego de licitar el proyecto hubo variados cambios en el diseño (por ejemplo eliminaron grandes superficies de estacionamientos).
- Otro factor que llevó a modificaciones del proyecto y por lo tanto a aumentos y disminuciones fue el cambio constante de oficinas de arquitectura (hubo 2 a 3 oficinas de arquitectos, lo que implicó muchas modificaciones).
- Al comenzar la obra había muchas actividades y partidas del presupuesto que no estaban definidos a través de planos y especificaciones (eso pasa en muchas obras y también pasó en el MPE).
- Para el caso del resto de obras de disminución y aumento se deben a factores que ocurren en todas las obras grandes (errores, atraso en los planos, poca claridad de lo que se quiere, etc.)

#### **b. Obras Extraordinarias evitadas**

En este proyecto no se tuvo acceso a una completa información de las obras extraordinarias efectuadas, por ende no se evaluaron todas las aprobadas entre el mandante y la constructora (solo en las que se tubo la documentación suficiente o en las cuales la descripción de la OE fue suficiente para su clasificación).

De un total de **235** Obras Extraordinarias aprobadas y **190** evaluadas, se tiene que con una coordinación digital de especialidades se podrían haber evitado las siguientes:

Tabla 5.7: N° Extraordinarios previsible o con costo evitable - MPE

Costo Evitable			Obra Previsible	
Si	No	Discutible	Si	Discutible
36	101	9	11	27
19,6%	54,9%	4,9%	6,0%	14,7%

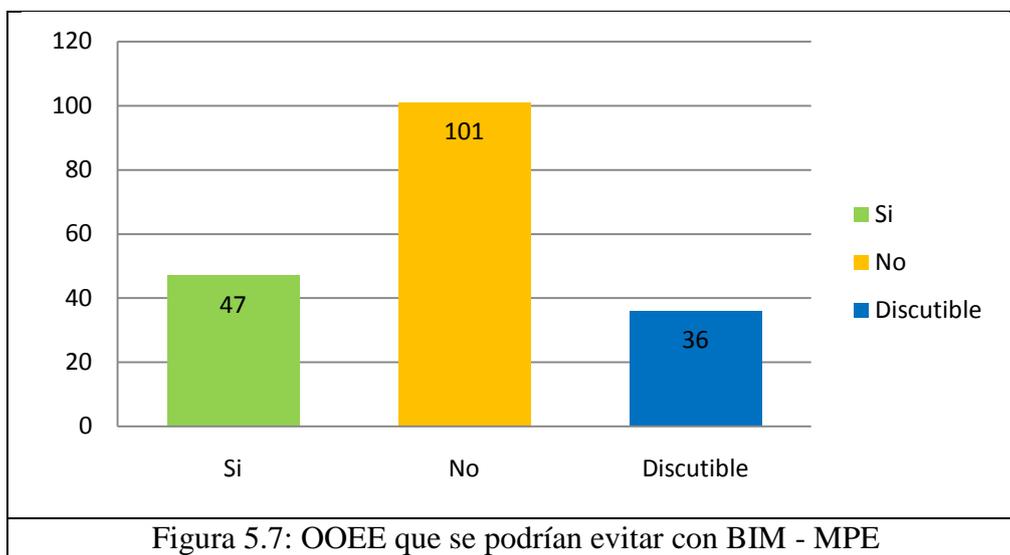


Figura 5.7: OOEE que se podrían evitar con BIM - MPE

Como se observa en el gráfico anterior, el total de Obras Extraordinarias que se podrían evitar con BIM es de **47**, que corresponden a un **25,6%** del total de extraordinarios evaluados. En un escenario favorable (contando las discutibles) esta suma podría llegar a **83 (45,1%)**.

### c. Ahorro de Costos y Rentabilidad de la Inversión

Del total de obras extraordinarias evitadas, estas se traducen en un ahorro de costos para el mandante de **3.145 UF** que corresponden a un **0,61%** del costo total de construcción y a un **7,43%** del monto total de las obras extraordinarias efectuadas en el proyecto (sin contar las disminuciones). Si se incluye los extraordinarios con costos que se podrían evitar en forma discutible, los ahorros suman **4.049 UF** que corresponde a un **0,78%** del costo de construcción y a un **9,56%** del monto (positivo) de las obras extraordinarias. Tomando en cuenta estos ahorros y los costos de implementación, calculados en el punto 4.4 se obtiene el retorno de la inversión para el mandante. El resumen se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.8: ROI de una coordinación digital de especialidades - MPE

<b>Costo Total Obra [UF]</b>	516.000	
<b>Total Extraordinarios [UF]</b>	42.357	-53.146
<b>Costo de Implementación [UF]</b>	990	
<b>Escenarios</b>	Potencial	Favorable
<b>Ahorro [UF]</b>	3.145	4.049
<b>% del Costo Construcción</b>	0,61%	0,78%
<b>% del Costo OE (positivo)</b>	7,43%	9,56%
<b>ROI</b>	3,18	4,09
	<b>3:1</b>	<b>4:1</b>

### 5.3. EDIFICIO ÁNGEL CRUCHAGA

#### 5.3.1. Análisis para Obras Extraordinarias

##### a. Obras Extraordinarias evitadas

De un total de **119** Obras Extraordinarias aprobadas, se tiene que con una coordinación digital de especialidades se podrían haber evitado las siguientes:

Tabla 5.9: N° Extraordinarios previsible o con costo evitable - AC

Costo Evitable			Obra Previsible	
Si	No	Discutible	Si	Discutible
9	70	4	14	22
7,6%	58,8%	3,4%	11,8%	18,5%

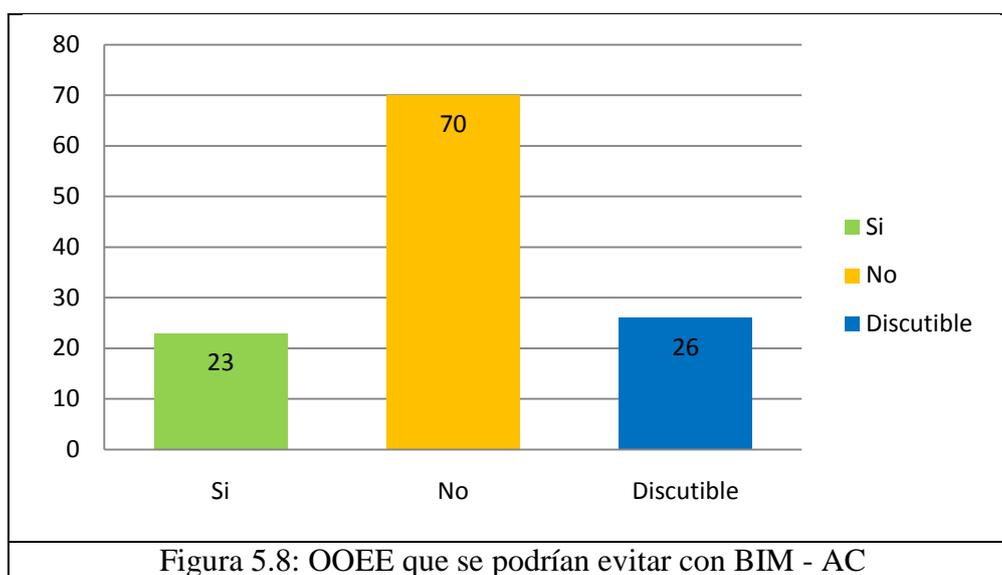


Figura 5.8: OOEE que se podrían evitar con BIM - AC

Como se observa en el gráfico anterior, el total de Obras Extraordinarias que se podrían evitar con BIM es de **23**, que corresponden a un **19,4%** del total de extraordinarios evaluados. En un escenario favorable (contando las discutibles) esta suma podría llegar a **49 (45,1%)**.

Cabe destacar que **28** extraordinarios que no son considerados como evitables, se pueden considerar potencialmente si se construye un modelo BIM. Por ejemplo la utilización del modelo puede ayudar al mandante a tener una mejor claridad del proyecto a realizar, con lo que se tiene una mejor definición y por ende menos modificaciones de obra (cambiar de posición una pieza, cambiar tipo de muro colindante, etc.) que se traducen en extraordinarios.

#### **b. Ahorro de Costos y Rentabilidad de la Inversión**

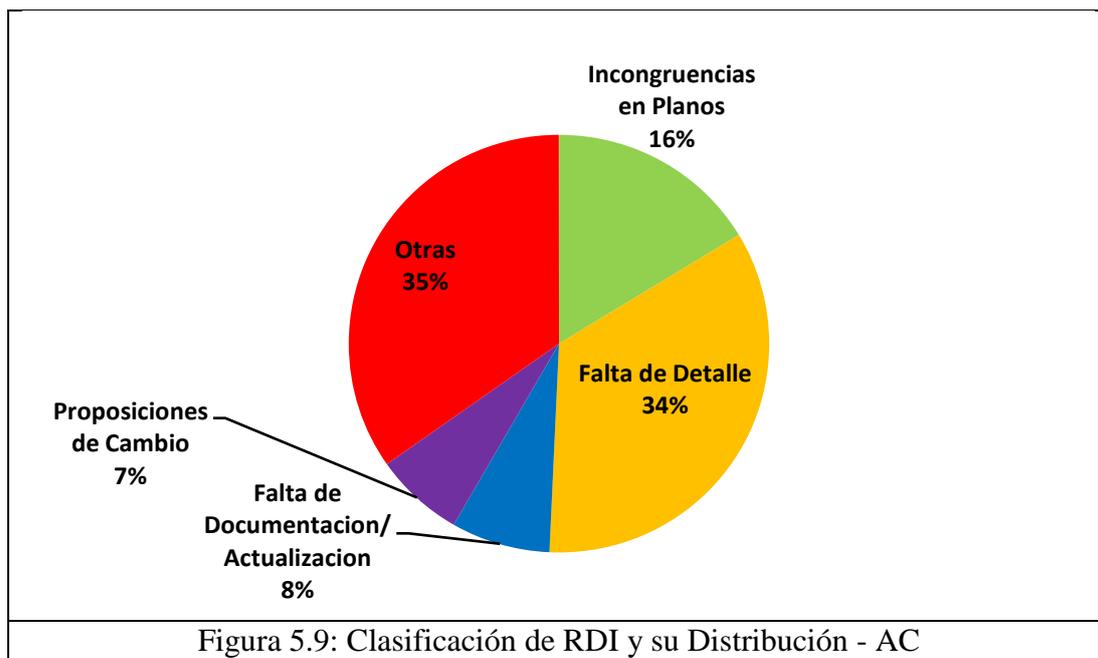
Del total de obras extraordinarias evitadas, estas se traducen en un ahorro de costos para el mandante de **293** UF que corresponden a un **0,12%** del costo total de construcción y a un **2,59%** del monto total de las obras extraordinarias efectuadas en el proyecto. Si se incluye los extraordinarios con costos que se podrían evitar en forma discutible, los ahorros suman **427** UF que corresponden a un **0,18%** del costo de construcción y a un **3,77%** del monto de las obras extraordinarias. Tomando en cuenta estos ahorros y los costos de implementación, calculados en el punto 4.4 se obtiene el retorno de la inversión para el mandante. El resumen se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 5.10: ROI de una coordinación digital de especialidades - AC

<b>Costo Total Obra [UF]</b>	235.446	
<b>Total Extraordinarios [UF]</b>	11.308	
<b>Costo de Implementación [UF]</b>	823	
<b>Escenarios</b>	Potencial	Favorable
<b>Ahorro [UF]</b>	293	427
<b>% Costo Construcción</b>	0,12%	0,18%
<b>% Costo OOEE</b>	2,59%	3,77%
<b>ROI</b>	0,36	0,52
	<b>0,4:1</b>	<b>0,5:1</b>

#### **5.3.2. Análisis para Requerimientos de Información**

En el proyecto Ángel Cruchaga se emitieron un total de **276** RDI por parte de la empresa constructora. La clasificación de estas, explicada en el punto 4.2.2., se muestra en el siguiente gráfico. Para mayor detalle ver Anexo N° 3 del presente informe.



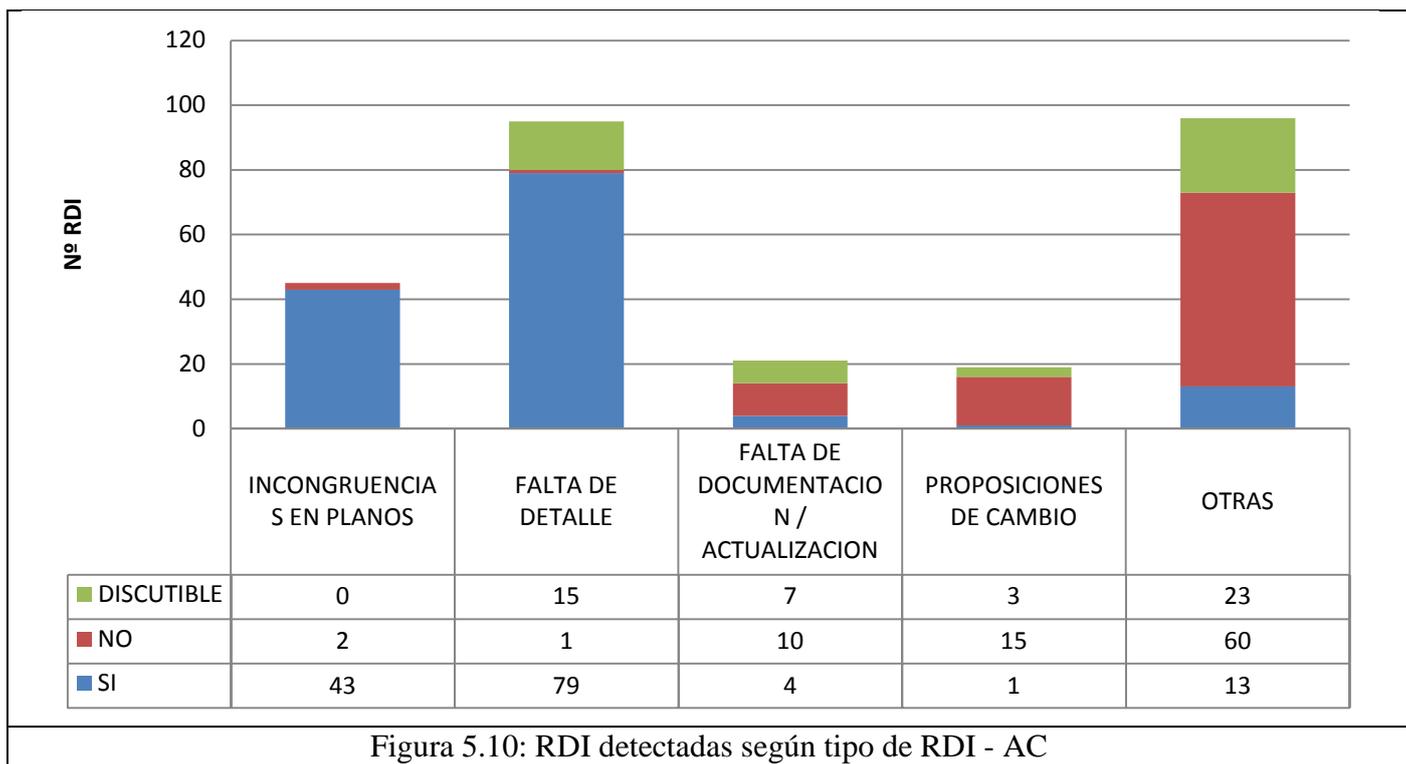
Del total de solicitudes de información emitidas, las que podrían ser detectadas mediante una coordinación digital con tecnologías BIM se muestran a continuación:

**a. RDI detectadas en etapa de diseño según Clasificación**

Tabla 5.11: N° de RDI detectadas en etapas tempranas según tipo - AC

CLASIFICACION	SI	NO	DISC.	TOTAL
<b>Incongruencias en (entre) planos y especificaciones</b>	43	2	0	45
<b>Falta de detalle / especificación</b>	79	1	15	95
<b>Falta de documentación / actualización</b>	4	10	7	21
<b>Proposiciones de cambio</b>	1	15	3	19
<b>Otras</b>	13	60	23	96
<b>Total</b>	140	88	48	276
<b>(%)</b>	50,7%	31,9%	17,4%	100%

Como era de esperarse, las RDI que más se detectan corresponden a las clasificadas como “Incongruencias entre planos/especificaciones” y las “Faltas de detalle/especificación” (al construir un modelo se detectan la mayoría de estas fallas en los planos/especificaciones). En total, se tiene que más del **50%** de las RDI emitidas en la etapa de construcción se detectarían en etapas tempranas al coordinar digitalmente las especialidades con tecnologías BIM.



**b. RDI detectadas que no fueron respondidas a tiempo según clasificación**

Hubo una gran cantidad de RDI que no poseían las fechas de respuesta (en total 68). Por ende no se sabe si fueron respondidas a tiempo. El caso (I) considera las "sin fecha respuesta" como respondidas a tiempo. El caso (II) considera las "sin fecha respuesta" como no respondidas a tiempo. El caso (III) asumiendo que la mitad de estas se responde a tiempo. Por otro lado el caso A corresponde al N° de RDI no respondidas a tiempo. El caso B al N° de RDI no respondidas a tiempo que se detectan.

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5.12: N° de RDI detectadas que no fueron respondidas a tiempo - AC

CLASIFICACION	(I)		(II)		(III)	
	A	B	A	B	A	B
<b>Incongruencias en Planos</b>	18	18	28	28	23	23
<b>Falta de Detalle</b>	32	25	62	51	47	38
<b>Falta de Doc. / Actualización</b>	13	0	16	3	15	2
<b>Proposiciones de Cambio</b>	4	0	12	1	8	1
<b>Otras</b>	41	6	58	9	50	8
<b>TOTAL</b>	<b>108</b>	<b>49</b>	<b>176</b>	<b>92</b>	<b>142</b>	<b>71</b>
<b>(%)</b>	<b>39,1%</b>	<b>17,8%</b>	<b>63,8%</b>	<b>33,3%</b>	<b>51,4%</b>	<b>25,5%</b>

Estos resultados se desarrollaron asumiendo que para cada RDI se pedía tener la respuesta al menos 2 días antes (se mostraba de esta forma en el detalle de la RDI), lo cual en la realidad no fue tan así (las RDI urgentes se comunicaban por correo electrónico y muchas otras tenían una holgura mayor para su respuesta; esta información fue otorgada por parte del encargado de la oficina técnica de la constructora).

Con el supuesto de que ocurre el caso III, las RDI no respondidas a tiempo podrían llegar a **142**, más de un **50%** del total de RDI emitidas. Del total de estas, **71** RDI se podrían detectar con BIM, que corresponden a más de un **25%** del total. Notar que para el proyecto GS las no respondidas a tiempo corresponden a más de un **75%** y de las no respondidas a tiempo que se detectan a más de un **50%**.

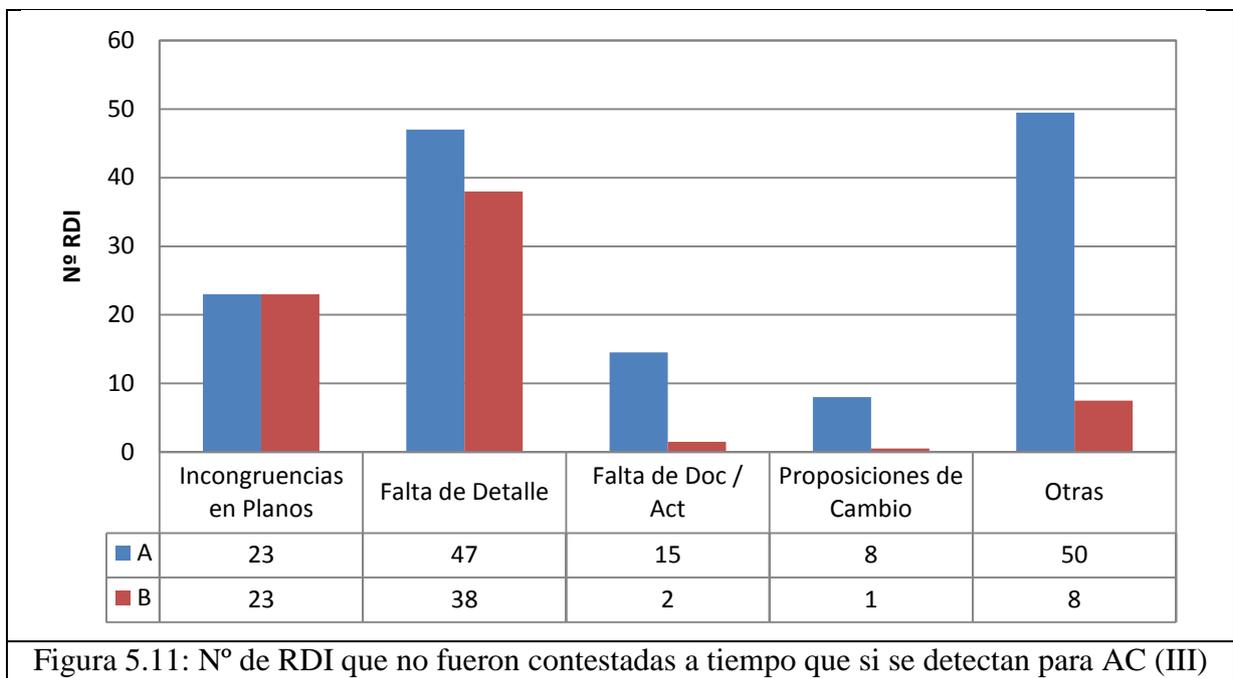


Figura 5.11: N° de RDI que no fueron contestadas a tiempo que si se detectan para AC (III)

## 5.4. RESUMEN DE RESULTADOS

### 5.4.1. Rentabilidad de la Inversión

Tabla 5.13: Información de Proyectos

Proyecto	GS	MPE	AC
Costo Total Obra [UF]	688.400	516.000	235.446
Total Extraordinarios [UF]	103.583		11.308
Costo de Implementación [UF]	1.538	990	823
N° OE	231	190	119

Tabla 5.14: ROI de la aplicación de BIM en los tres proyectos analizados

Escenarios	Concreto			Favorable		
	GS	MPE	AC	GS	MPE	AC
<b>N° OE Evitadas/Previsibles</b>	81	47	23	120	83	49
<b>Ahorro [UF]</b>	9.428	3.145	293	11.584	4.049	427
<b>% Costo Construcción</b>	1,37%	0,61%	0,12%	1,68%	0,78%	0,18%
<b>% Costo OOEE</b>	9,10%		2,59%	11,18%		3,77%
<b>ROI</b>	6,13	3,18	0,36	7,53	4,09	0,52
	6:1	3:1	0,4:1	8:1	4:1	0,5:1

Para los tres proyectos analizados, mientras mayor fue el monto del proyecto (que indica de alguna forma un mayor grado de complejidad/envergadura) mayor fue el posible ahorro con la aplicación de BIM. Hay que considerar si que la construcción del MPE por parte de TECSA solo incluyó las partidas de Obra Gruesa y de algunas instalaciones (Eléctrica y Sanitaria); la ejecución de las otras instalaciones y la etapa de terminaciones fue desarrollada por otra Empresa Constructora, etapa en la cual, posiblemente, se efectuaron una gran cantidad de extraordinarios que se podrían evitar con BIM (al hacer las terminaciones e instalaciones se detectan la mayoría de las colisiones e interferencias).

En cuanto a las rentabilidades, en los proyectos GS y MPE se obtuvo ROI's bastante atractivos para el mandante (de 6:1 y 3:1 respectivamente). Además, hay que tomar en cuenta que los beneficios involucrados correspondían solamente a ahorros por detectar errores de diseño en etapas tempranas (errores que tienen implicancia en la etapa de construcción, es decir, los que se traducen en Obras Extraordinarias). Si se hubieran utilizado otras aplicaciones (prefabricación, modelos 4D, integración del modelo con otros software de análisis, etc.) existirían otros beneficios en términos de reducción de costos, aumento de productividad y una mejora de la calidad del producto.

En el caso de AC el ROI fue negativo (los costos de implementación fueron más del doble que los beneficios), lo que puede indicar que para proyectos de este tipo (edificios con plantas y número de pisos relativamente estandarizados, en donde los errores de diseño son mínimos) al mandante no le conviene invertir en una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que este análisis no incorporó beneficios del tipo: mayor control de la documentación, mejor entendimiento del concepto del proyecto, menor incertidumbre en los trabajos a realizar, trabajos rehechos no documentados, problemas de la secuencia constructiva que se podrían evitar con BIM, etc. beneficios difíciles de cuantificar y que se traducen, principalmente, en un mayor valor/calidad del proyecto que se está realizando.

Por otra parte, tampoco se tomó en cuenta los extraordinarios en los que no hubo acuerdo y que por ende, el costo lo asumió la constructora. Muchos de estos

podrían también evitarse aplicando BIM, lo cual no mejora la rentabilidad de la inversión (ROI) para el mandante, pero sí para el proyecto (se podría proporcionar con una inversión conjunta entre el mandante y la constructora).

Respecto al N° de OE evitadas, la tendencia es parecida, dado que el número de OE evitadas fue mayor para las obras de mayor monto. El número de OE que se pueden evitar con BIM puede llegar a ser altísima (más del **50%** en el caso de GS).

Recordar que en el número de obras extraordinarias evitadas, están las que son previsibles (no solo las con costo evitable), es decir, monto que el mandante debería asumir, independiente del momento en que se detecte la modificación (aunque claramente es más caro detectarlas en la etapa de construcción – ver figura 2.12).

Un antecedente importante respecto a las OE del MPE, es que al inicio del proyecto no se tenía claridad de la cantidad de capital para invertir que el mandante disponía para este. En definitiva, faltó financiamiento, por lo que durante la etapa de construcción se hicieron muchas disminuciones al proyecto (traducidas en OE). Sin contar estas disminuciones, claramente el porcentaje de OE evitadas con BIM respecto del total aprobadas, serían mucho mayores.

Se quiso incorporar y comparar las rentabilidades sobre la inversión de distintas aplicaciones BIM, tanto en proyectos en Chile (ej. Clínica Dávila) como en el extranjero. La utilización de las distintas aplicaciones BIM en los proyectos fue variada, en algunos se utilizó el modelo para prefabricar elementos en talleres remotos a la obra, en otros como herramienta para coordinar las especialidades y detectar colisiones, también para vincular el modelo con actividades de operación y mantenimiento de la instalación, etc. (para mayor información ver Anexo N° 1 del Informe). Independiente del tipo de aplicación utilizada y del hecho que la metodología para estimar los beneficios fue distinta, se consideró importante comparar los ROI obtenidos en nuestro estudio, con los alcanzados en otros proyectos.

Tabla 5.15: Resumen de las rentabilidades de utilizar BIM en distintos proyectos

PROYECTO	Costo Implementación BIM [US\$]	Beneficio Implementación BIM [US\$]	ROI	CC (Costo Construcción) [US\$]	Ahorro como % del CC
Acuario "Hilton"	90.000	600.000	7:1	45M	1,33%
Edificio Medico "Camino"	410.000	3.000.000	7:1	98M	3,06%
Datacenters	110.000	220.000	2:1	150M	0,15%
Ampliación Clínica Dávila	27.000	65.000	2:1	28M	0,23%
Planta de Tratamiento	40.000	150.000	4:1	76M	0,20%
Datacenter "Gilbane"	70.000	1.100.000	16:1		
Centro de Música	100.000	500.000	5:1	250M	0,20%
Edificio de Oficina	50.000	3.000.000	60:1	200M	1,50%
Centro Comercial	40.000	575.000	14:1	100M	0,58%
Campus Universitario	400.000	16.800.000	42:1	250M	6,72%
Gran Santiago	59.000	360.000	6:1	26M	1,37%
Mall Paseo Estación	38.000	120.000	3:1	20M	0,61%
Ángel Cruchaga	31.000	11.000	0,4:1	9M	0,12%

En la tabla, se puede observar que la mayoría de los ROI obtenidos fueron bastante atractivos, siendo los ahorros generados por el uso de BIM más de 4 veces de lo invertido (en la mayoría de los proyectos). Por otro lado, los resultados obtenidos en este estudio (Proyecto GS, MPE y AC), no están muy apartados con los alcanzados en estudios de proyectos en el extranjero, donde la mayoría fueron desarrollados por prestigiosas empresas que han visto en BIM una forma de ahorrar dinero, tiempo y aumentar el valor en sus trabajos.

El agregar el valor de los trabajos desarrollados durante el ciclo de vida del proyecto es de suma importancia tomarlo en cuenta cuando una empresa quiera invertir en BIM (cuando uno calcula la rentabilidad sobre la inversión no se incorpora la mejora de la calidad del producto). Es posible que al utilizar alguna herramienta BIM (ej. chequeo de interferencias, la aplicación más utilizada) no se obtenga los ahorros que se quisiera, por muchas razones: la metodología utilizada para estimar el ahorro de costos no es representativa de la realidad (con la aplicación real de BIM es difícil percibir los errores que evita), insuficiente capacitación y preparación para la implementación de las herramientas, utilización en un proyecto de construcción donde se tiene mucha experiencia respecto a los problemas que involucra (errores de diseño ya están resueltos, potenciales riesgos detectados, etc.), entre otras. Pero esto no debe detener a la Empresa, esta va a ir apreciando una mayor productividad en los procesos, un mayor control de la documentación, un mayor entendimiento de lo que se quiere hacer, una mejor comunicación interna y externa, información más precisa, etc. mientras mayor experiencia de a los sistemas BIM adquiera.

#### 5.4.2. Solicitudes de Aclaración que se evitan

Tabla 5.16: N° de RDI por Tipo de Proyecto

Proyecto	N° RDI	Tipo Proyecto	Monto Proyecto [UF]	Cantidad [m <sup>2</sup> ]
Gran Santiago	657	Habitacional	688.400	66.000
Mall Paseo Estación	~800	Comercial	516.000	96.000
Ángel Cruchaga	276	Habitacional	235.500	19.500

Según la tabla, independiente del tipo, monto y cantidad del proyecto, la cantidad de RDI emitidas es altísima y claramente mayor cuando el proyecto es más complejo de construir. Lo presentado en esta tabla indica una gran problemática dado que estas RDI se traducen en esperas que podrían afectar el programa de construcción y aumentar los costos del proyecto.

Tabla 5.17: Resumen de Tipos de RDI y cuáles de estas se evitan

CLASIFICACION	Gran Santiago			Ángel Cruchaga		
	SI	NO	DISC.	SI	NO	DISC.
Incongruencias en Planos	171	1	0	43	2	0
Falta de Detalle	236	2	9	79	1	15
Falta de Doc. / Actualización	3	22	20	4	10	7
Proposiciones de Cambio	0	34	3	1	15	3
Otras	49	69	38	13	60	23
<b>TOTAL</b>	<b>459</b>	<b>128</b>	<b>70</b>	<b>140</b>	<b>88</b>	<b>48</b>
(%)	69,9%	19,5%	10,7%	50,7%	31,9%	17,4%

Al identificar los tipos de RDI causados por errores o faltas de información: Incongruencias en Planos, Falta de Detalle, Falta de Documentación/Actualización y alrededor de un 20% de la categoría “Otras” (aproximadamente este % corresponde a errores en el diseño) se obtiene que la suma corresponde a más de un **70%** del total de RDI emitidos en ambos proyectos. Según datos de Leonardo Rischmoller más de un **80%** de las RDI ocurren por errores o faltas de información.

Del total de RDI emitidas, se obtiene que para el Edificio Gran Santiago casi un **70%** se detectaría y para el proyecto Ángel Cruchaga un **50%**, en un escenario favorable las que se podrían llegar a detectar suman un **80** y un **70%** respectivamente. Según datos de Martin Fisher con la aplicación de BIM se obtendrá un 90% menos de RDI (este dato se ha obtenido en estudios hechos por el CIFE).

### 5.4.3. Comentarios Generales:

- Existe un gran porcentaje de RDI y OOOE que se evitarían con un “mayor nivel de implementación” de BIM, es decir, con una construcción del modelo en etapas tempranas del proyecto (sin la necesidad de generar los planos previo a la construcción del modelo) y utilizando este como documento oficial de construcción. Por ejemplo muchos RDI clasificadas como faltas de documentación/actualización se evitarían.
  
- De los siguientes antecedentes:
  - En los Proyectos Gran Santiago y Ángel Cruchaga, se obtuvo que el **Nº de Interferencias** (Pila-Viga, Pila-Fundación, Muro-Tubería, Pilar-Malla de Tierra, etc.), traducidas en una RDI, fue de **32** para Gran Santiago y de **7** para Ángel Cruchaga.
  - Nº de RDI causados por fallas en el Diseño (que se detectan con un Modelo Virtual) en GS fue de **407** de un total de **657** (correspondientes al **62%**), en cambio en AC fue de **122** de un total de **276** (correspondientes al **44%**).
  - Fotos de otros proyectos desarrollados por AVSA (Inmobiliaria que proyectó el edificio Ángel Cruchaga).

Se puede decir que el proyecto AC tiene un diseño relativamente estándar para proyectos AVSA. Por lo tanto, la mayoría de los errores en planos, interferencias varias, etc. se tienen solucionados desde antes.

- Al modelar en 3D y con parámetros inteligentes se visualiza y entiende mejor el producto a entregar, en particular por parte del mandante y arquitecto (que generalmente son los que toman las decisiones y por ende las modificaciones al no tener bien definido el proyecto). Es importante tener en cuenta esto ya que se puede establecer un recuento de la cantidad de extraordinarios que se podrían evitar si se tuviera bien definido el proyecto (por ejemplo en AC esta suma asciende a 28). En general estas faltas de definición se deben a la incertidumbre que se tiene respecto al alcance del proyecto y que, en teoría, se debería mejorar con un sistema BIM.
  
- Respecto a análisis desarrollados: Existirán beneficios para diseñadores, contratista general (disminución RDI) y subcontratistas, que muchas veces no se traducen en OOOE y por ende no se pueden sumar al ROI de utilizar BIM (para el mandante).

### **Beneficios Implícitos para nivel de implementación BIM supuesto:**

- Existen costos indirectos que muchas veces no se consideran en los costos que suman al valor de la OE, por ejemplo atrasos, horas muertas de hombres y equipos (no estaban dentro de las partidas en el detalle del listado de PU de la OE) y por ende no se contemplan para obtener el ROI en esta investigación.
- Las O.E. clasificadas como “Previsibles” que se evitan con BIM, también tienen un costo asociado que podría haberse evitado, pero por no tener la información adecuada, no se cuantificará este ahorro de costo.
- Del tiempo dedicado en la resolución de la O.E. (mínimo tres revisiones tanto de Constructora como de ITO): Al determinar la cantidad de O.E. que podrían ser evitadas, independiente del valor de estas, existe un beneficio por el ahorro de HH dedicadas a la revisión.
- Existen algunas O.E en las que no hay acuerdo y el costo lo debe asumir la constructora. Algunos de estos extraordinarios se podrían evitar con BIM, lo que no es un beneficio directo para el mandante, pero si para el proyecto.
- Beneficios por una mayor calidad del producto: “BIM es como reunir a una familia que no se haya visto por mucho tiempo, es muy difícil cuantificar el grado de felicidad, de satisfacción de estas personas” (Ricardo Rojas, Consultora René Lagos y Asociados).
- Con el modelo se da una comunicación más expedita en la recepción de una RDI, como también de la respuesta de esta: el costo que significa cada RDI es menor (tiempo perdido en comprensión e interpretación de la RDI, dibujos, copias de plano, etc.). Incluso si tomamos en cuenta el ahorro en papel. En general se dice: “Se adjunta esquema para entender mejor el problema”, con el modelo se pueden tachar los lugares en conflicto, dando a entender mejor la solicitud de información.

### **Costos que no se cuantificaron para nivel de implementación supuesto:**

- Cultura de Trabajo: aunque se trate de no cambiar, al construir el modelo con un equipo externo y partir de planos y especificaciones de diseño, igual se afecta la forma tradicional de trabajo.
- Capacitación de profesionales (no solo de modeladores) que podrían intervenir en los procesos de las aplicaciones que se quieren realizar con BIM.

- Inicialmente, la creación de familias de elementos y de la definición de estándares del equipo coordinador es un proceso lento y laborioso, y por ende costoso en un principio, pero con ventajas notables para el futuro (en el caso de que se hagan modificaciones de diseño, iteraciones en análisis varios, etc.)

## **VI. CONCLUSIONES**

El diagnóstico realizado a la industria de la construcción es claro, con el transcurso de los años los proyectos son cada vez más complejos, involucran una mayor cantidad de recursos a gestionar (tiempo, costos, materiales, información) y una mayor cantidad de actores que administrar, que en muchos casos, pueden estar repartidos en cualquier parte del globo. Las herramientas tecnológicas actuales y las formas tradicionales de trabajo no han podido dominar estas dificultades, lo que se ha traducido en un incumplimiento de plazos, presupuestos y de calidad en los proyectos de construcción. Es necesario un cambio y las Tecnologías de la Información ofrecen distintas alternativas para mejorar la gestión de los procesos de diseño, construcción, control, operación y mantenimiento.

En la etapa de diseño no todos los requerimientos son identificados desde el comienzo, particularmente por la no participación de la experiencia constructiva desde etapas tempranas, poca claridad de los requerimientos del cliente y la pobre comunicación, coordinación y colaboración entre las especialidades. Los errores de diseño se detectan en fases posteriores, conduciendo a altos costos por trabajos rehechos. Gran parte del tiempo de diseño (30%) es utilizado en recolectar información, la cual muchas veces presenta fallas, no está completa y/o no está actualizada. Además, la quinta parte de este tiempo es perdido por esperas en el proceso. Con BIM los distintos actores pueden acceder a un modelo central, que posee información del proyecto clara, precisa, oportuna y completa, donde se puede visualizar gráficamente lo que será construido. La construcción del modelo fuerza a los diseñadores a trabajar de una forma más colaborativa, coordinada e integrada, vinculando idealmente a constructores y al cliente en reuniones de diseño, mejorando la toma y la calidad de las decisiones, y reduciendo las potenciales pérdidas descritas anteriormente.

En un proyecto de construcción, la cantidad de información que contiene y la forma en que esta es organizada y representada influye directamente en la dificultad e incertidumbre del proyecto, creando variabilidad durante el proceso de construcción y conduciendo a pérdidas durante la ejecución. Del estudio realizado por el GEPUC, resaltaron como las pérdidas más frecuentes el rehacer trabajos, detenciones, errores (en obra) y atrasos en las actividades; y entre las fuentes más frecuentes de estas pérdidas se mencionaron los cambios de diseño, información atrasada y poco clara, y una mala planificación de los recursos. Los modelos BIM permiten vincular la información 3D con la cuarta y la quinta dimensión (tiempo y costo). Al visualizar la secuencia constructiva en forma gráfica y observar como los recursos (dinero, materiales, maquinaria, etc.) de la obra son abastecidos en forma virtual, la construcción ocurre en etapas tempranas del proyecto: se detectan interferencias espacio-temporales, se visualizan potenciales situaciones de riesgo, se rastrean y controlan los recursos para asegurar que son aplicados efectivamente, logrando de esta forma una logística racional y un proceso de construcción eficiente. Con cualquier cambio realizado, el modelo modifica inmediatamente los elementos involucrados (vistas 2D, análisis, etc.),

eliminando inconsistencias y desarrollando automáticamente un trabajo que demandaría bastante tiempo y dedicación.

Una vez construida la edificación, el cliente posee una documentación en papel de las características físicas y funcionales de la instalación, lo que implica un arduo trabajo para comprender y comenzar a operar los sistemas. BIM provee de una fuente de información para todos los sistemas del edificio y es posible vincular el modelo (as-built) con las actividades de operación y mantenimiento de las instalaciones, reduciendo considerablemente el tiempo dedicado a estas labores.

### **De los resultados del trabajo, se puede decir:**

El propósito principal de este trabajo fue establecer una idea de lo rentable que puede ser la tecnología BIM en un proyecto de construcción. Para hacer válido el estudio, se requirió definir una serie de supuestos que dependieron principalmente de la cantidad y calidad de la documentación prestada por las constructoras que apoyaron este trabajo. Teniendo como base esta documentación, se estimaron los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM.

Se calcularon los costos de implementación y se identificaron los potenciales ahorros para el mandante (en cuanto a la cantidad de OE evitadas). En dos de los tres proyectos analizados, BIM probó tener una rentabilidad bastante atractiva para el mandante (de 6:1 Edificio Gran Santiago y 3:1 para el Mall Paseo Estación), tomando en cuenta además que muchos beneficios no fueron cuantificados y muchos costos sobreestimados.

Por lo tanto, el principal enfoque utilizado para analizar los beneficios de implementar BIM fue determinar el ROI, para estimular la inversión por parte de empresas que se interesen en esta tecnología. Pero como se ha comentado en múltiples ocasiones, con la implementación de BIM desde etapas tempranas y cambiando idealmente la forma tradicional de trabajo, se tendrán variados otros beneficios que no solo mejorarán la rentabilidad del proyecto global (no sólo la rentabilidad para el mandante), sino que también aumentará la calidad del producto construido, por todo lo que esta nueva forma de trabajo conlleva: una mejor comunicación, una mayor colaboración, visualización y entendimiento, trabajos más eficientes y eficaces, etc.

Otro de los beneficios analizados, fue el de evaluar la cantidad de RDI que se detectan en etapas tempranas al construir el modelo. En general, las RDI no son respondidas a tiempo traduciéndose en atrasos en el programa de construcción. En el proyecto Gran Santiago, se obtuvo que casi el 80% de las RDI no fueron respondidas a tiempo. Del total de estas, el 75% están catalogadas como urgentes o con un alto grado de urgencia (RDI que probablemente se emitieron al encontrarse con el problema en terreno) y de estas, el 70% se podría detectar con BIM. En definitiva, más del 40% del

total de solicitudes de información emitidas, que potencialmente indujeron a atrasos en el programa de construcción, se evitan con BIM.

Uno de los principales problemas del trabajo fue un complicado acceso a la información de los proyectos, la cual sin duda alguna fue insuficiente (incluso para el proyecto Gran Santiago, que presentó la documentación más completa de los tres). Mientras mayor/mejor fue la documentación prestada, mejor fueron los análisis desarrollados y mayor la apreciación percibida de los beneficios BIM.

Se recomienda realizar otros estudios utilizando la metodología empleada en este trabajo, para así tener más resultados que puedan fortalecer lo alcanzado en este estudio. Además investigar el contenido del Libro de Obra y de las No Conformidades del proyecto, documentación donde podría haber información respecto a posibles mejoras que posee BIM. Lo expuesto en este trabajo puede ser usado para investigaciones futuras, ya sea para utilizar la documentación, la metodología, o bien para comparar los resultados obtenidos con los alcanzados en otros trabajos donde se utilice otra metodología.

Respecto a la metodología utilizada, la ventaja que tiene es que se evalúa el número de RDI y el ahorro de costos reales que se podrían evitar en el proyecto. La desventaja es que esta evaluación es en un escenario supuesto, por lo que el análisis puede no ser verosímil para algunas personas. La otra metodología empleada es la aplicación real de la tecnología en un proyecto. La ventaja es que el escenario es real y la desventaja es que al no realizar los errores que se podrían evitar con BIM, se compara los resultados finales del proyecto con los resultados de otros proyectos de similares características. Este análisis también puede ser poco creíble para algunas personas, dado que las condiciones de un proyecto a otro siempre varían, independiente de la similitud entre estos.

#### **De los Modelos de Información de la Edificación, se puede decir:**

- Se convertirán en una herramienta indispensable para proyectos futuros. Servirán como base para una nueva forma de trabajo más colaborativa e integrada, mejorando los actuales problemas que posee la industria.
- Tanto en los proyectos analizados en el presente trabajo, como en documentación recopilada de otras investigaciones, BIM probó ser muy rentable en proyectos complejos y/o de gran envergadura.
- BIM visto como un aumento de valor/calidad, tiene grandes beneficios para cualquier tipo de proyectos.

- Tiene variadas aplicaciones y su utilización dependerá de los objetivos de negocios definidos por la Empresa, por ejemplo, para este trabajo se definió, que en el escenario contrafactual, el mandante utilizaría BIM para coordinar digitalmente las especialidades para detectar errores en los documentos de diseño (planos y especificaciones). Otras metas pueden ser aumentar la productividad (para cumplir esta utilizar el modelo para prefabricar elementos en talleres remotos, para realizar análisis automatizados, etc.); un mayor control de documentos, utilizar el modelo como herramienta de comunicación y marketing, etc.
- El nivel de detalle del modelo debe ser consistente con los objetivos de negocios que se quieren lograr con la implementación de esta tecnología. Es de suma relevancia tener un conocimiento adecuado de los procesos involucrados con esta implementación, para percibir (idealmente medir) en qué punto esta tecnología es capaz de agregar valor en la cadena de producción.
- BIM aun es visto de una forma fragmentada, donde los modelos son utilizados para objetivos distintos según sea el uso que le den diseñadores, constructoras e inmobiliarias lo que implica distintos modelos y posibles problemas de interoperabilidad. En general, los objetivos que buscan las empresas son: el mandante un ahorro de costos y de cumplimiento en los plazos. La constructora un mayor control y satisfacción del cliente. Los arquitectos y otras especialidades un ahorro de tiempo en sus labores. Por otro lado, esta diferencia en el alcance de los modelos, no sólo dependerá del actor que los utiliza, sino que también del tipo de proyecto, de la envergadura/complejidad de este, de las condiciones de trabajo (ej. si es que existen grupos de interés repartidos en todo el mundo), etc.
- La principal barrera para implementar sistemas BIM (además de las de carácter organizacional y cultural que hacen lento el desarrollo y la adopción de cualquier TI) es la preparación de protocolos de trabajo y estándares de modelación que deben seguir los participantes del proyecto. Incluso para una empresa que desarrolle integralmente la Ingeniería, Compras y Construcción (EPC) como Bechtel fue y aun es un desafío considerable. En proyectos Diseño-Construcción (DB) donde participen varias empresas sin duda el problema es mayor por las distintas realidades culturales que vive cada una, donde además la (baja) productividad de una puede afectar la productividad de otra.

## BIBLIOGRAFIA

1. Izaguirre L., 2006, **“Proposición de la Modelación Multidimensional como un Mecanismo de Mejora para la Gestión de Proyectos de Construcción”**. M. Sc. Tesis, Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
2. Richard Ramos, 2003, **“Metodología para implementar modelos 3D y 4D CAD en el Proceso de diseño”**. Tesis de Magister, Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
3. Leonardo Rischmoller, **“Impacto de las herramientas avanzadas de visualización en la Industria AEC”**. Tesis de Doctorado, Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
4. Michael P. Gallaher, Alan C. O’Connor, John L. Dettbarn, Jr., and Linda T. Gilday, 2004, **“Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry”** National Institute of Standards and Technology, USA.
5. Brian Gilligan & John Kunz, 2007, **“VDC Use in 2007: Significant Value, Dramatic Growth, and Apparent Business Opportunity”**, Center for Integrated Facility Engineering, Stanford, USA.
6. Willem Kymmel, 2008, **“Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and simulations”**. McGraw Hill Construction Series.
7. Chuck Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks, and Kathleen Liston, 2008, **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors”**.
8. Martin Fisher & John Kunz, 2004, **“The scope and role of IT in Construction”**, Center for Integrated Facility Engineering, Stanford, USA.
9. L. Tupenaite, L. Kanapeckiene, J. Naimaviciene, **“Knowledge Management Model for Construction Projects”**, Vilnius Gediminas Technical University, Lituania.
10. **Documentos de Autodesk:**
  - Parametric Building Modeling: BIM’s Foundation, 2007.
  - Collaborative Project Management and BIM, 2007.

- Communication as a Strategic Tool: Connect People, Information, and Processes throughout the Building Lifecycle, 2007.

**11. Otros:**

- **Revista BIT (N° 58, N° 64)**
- **Revista Tecnología y Construcción**, Edición N° 49, 2009. Reportaje “Last Planner System+4D”.
- **Constructor Magazine**, una publicación de la AGC (Asociación General de Contratistas de América), Julio 2009.
- **Revista Cadalyst**, “Calculating BIM’s Return on Investment”.
- Curso Tecnologías de la Información en Construcción, Pontificia Universidad Católica de Chile, dictado por Claudio Mourgues.

## ANEXO N° 1: EJEMPLOS DE APLICACIÓN BIM

### I. ACUARIO “HILTON” – GEORGIA, EEUU

**Alcance del Proyecto:** U\$46M, 45.000 m<sup>2</sup> (Hotel y Estacionamientos).

**Duración del Proyecto:** 21 meses entre diseño y construcción con 9 meses de traslapo.

**Alcance BIM:** Coordinación etapa de diseño, detección de interferencias y modelamiento de secuencia constructiva.

**Software utilizados:** Navisworks usado como plataforma común.

**Costo para el Proyecto:** U\$90.000 - 0.2% del presupuesto del proyecto.

**Beneficios:** U\$600.000 atribuibles a la eliminación de interferencias.

El contratista general “Holder Construction” utilizó modelos BIM en el proyecto “Acuario Hilton” para apoyar la coordinación de las distintas especialidades que participaron en este. Los modelos fueron construidos durante la etapa de diseño por parte de un equipo de diseñadores usando información incluida en dibujos 2D. Este método les permitió a los miembros del proyecto desempeñar sus trabajos en la forma tradicional y eliminar el potencial riesgo asociado a compartir modelos digitales entre los actores del proyecto. A través de reuniones de coordinación 3D, el equipo fue capaz de identificar y resolver rápidamente conflictos, ahorrando un estimado de U\$600.000 en extras y evitando meses de posibles retrasos. Las sesiones también mejoraron la comunicación y la confianza entre los participantes y permitieron una temprana toma de decisiones en cuestiones vitales del proceso. Finalmente, el compromiso de Holder Construction de actualizar el modelo para reflejar condiciones as-built de la obra le proporcionaron al mandante, Legacy Pavilion, un modelo digital 3D de la edificación y de sus varios sistemas para ayudar los procedimientos de operación y mantenimiento.

		
Fachada de Modelo Arquitectónico	Modelo Estructural	Modelo de Tuberías

## II. EDIFICIO MEDICO “CAMINO”- CALIFORNIA, EEUU

**Alcance del Proyecto:** U\$98 millones, 23.500 m<sup>2</sup> correspondientes a habitaciones del edificio medico y 38.000 m<sup>2</sup> a estacionamientos.

**Duración del Proyecto:** 24 meses entre diseño y construcción con 12 meses de traslape.

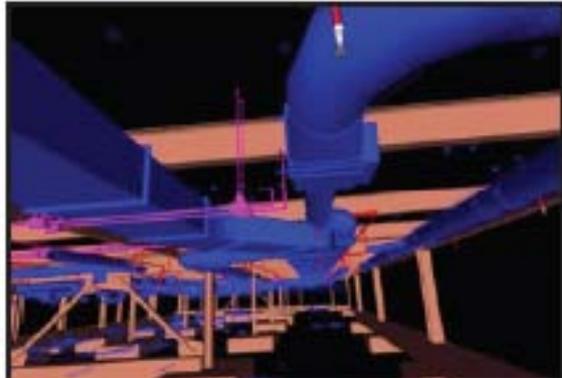
**Alcance BIM:** Detección de interferencias y prefabricación remota.

**Software compartidos:** Autocad y Navisworks.

**Costo para el Proyecto:** \$410,000 - 0.5% del presupuesto del proyecto.

**Beneficios:** Aproximadamente U\$3 millones del costo y un estimado de más de 6 meses del plazo.

El contratista general “DPR” y sus subcontratistas construyeron un modelo 3D del edificio medico “Camino” desde dibujos 2D hechos por las especialidades MEP y lo usaron para maximizar la detección de interferencias y la productividad en terreno. El subcontratista de mecánica, Southland Industries, fue capaz de usar el modelo para fabricar y hacer el montaje de más del 90% de sus ductos y tuberías en talleres remotos. Esto resulto en un requerimiento de un 30% menos de material y de un 55% menos de horas utilizadas para el ensamblaje en terreno que hubieran sido necesarias en proyectos similares y produjo un ahorro de más de U\$400.000 para este subcontratista. En Southland Industries registraron solamente 43 horas de trabajo rehecho en más de un total de 25.000 horas utilizadas para completar su labor. La implementación de BIM le costó un extra de U\$410.000, pero con esa inversión inicial, el mandante Sutter Health, pago por un proyecto por ninguna orden de cambio debido a conflictos en terreno, construcción lista casi 6 meses antes del plazo acordado y casi U\$3 millones ahorrados. El mandate comento que el proyecto había procedido mejor que cualquier otro en que este haya participado en sus 30 años de experiencia y que desde ahora va a requerir el uso de BIM en todos sus proyectos futuros.

 A 3D BIM model showing a complex network of blue HVAC ducts and pipes, illustrating the coordinated and precise design.	 A photograph of the actual installed HVAC ducts in a building, showing that the physical installation matches the 3D BIM model.
<p>Ductos de Climatización en BIM, el detalle coordinado y exacto permitió 90% de la fabricación en talleres remotos.</p>	<p>Ductos de Climatización instalados exactamente como se muestran en el modelo.</p>

### III. HOSPITAL “PENINSULA DE MILLS” – CALIFORNIA, EEUU

**Alcance del Proyecto:** U\$350 millones, 46.500 m<sup>2</sup>.

**Duración del Proyecto:** Diseño: 6 años, Construcción: 3 años, Traslape: 2 años.

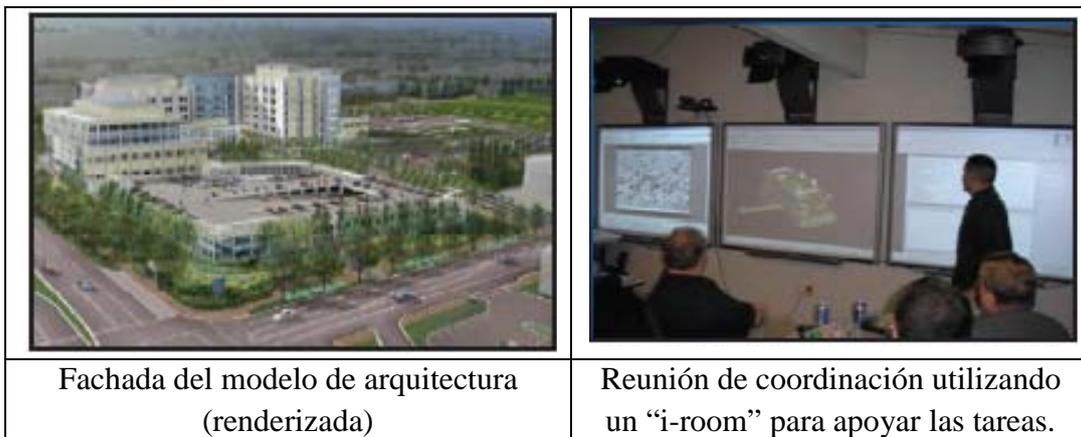
**Alcance BIM:** Verificación del diseño, detección de interferencias y prefabricación de piezas.

**Software utilizados:** Autocad y Navisworks.

**Costos para el Proyecto:** U\$1.5 millones, 0.5% del presupuesto del proyecto.

**Beneficios:** No cuantificados, trabajo aun en progreso.

El mandante “Sutter Health” uso una entrega integrada del proyecto (IPD) en la construcción del Hospital “Peninsula de Mills” colocando a representantes en terreno de la CPMC (California Pacific Medical Center), de arquitectura, del contratista general (Turner Construction) y del propio mandante durante la etapa de verificación del diseño. Se utilizaron modelos BIM como herramienta de colaboración y comunicación. Dar conformidad a las regulaciones definidas por la OSHPD (Office of Statewide Health Planning and Development) fue un gran problema. La aprobación de permisos tomaba meses y cualquier cambio requería una completa reevaluación con enormes impactos al programa de trabajo. La experiencia y el rol de Turner, liderando y entrenando a los participantes inexpertos en BIM, fue clave para dar a estos la confianza para manejar la coordinación del complicado diseño del hospital. Turner dirigió reuniones de colaboración semanalmente en un “i-room” presentando los problemas usando modelos 3D en pizarras virtuales. En palabras del propio coordinador de Turner, *“tuvimos 25 personas en una habitación con múltiples y severos problemas, y en 3 horas teníamos 2 páginas documentadas exactamente con lo que debía hacerse”*. Al final, el equipo produjo un diseño sin colisiones, donde la mayoría de los materiales MEP y estructurales fueron prefabricados en lugares lejanos a la obra mejorando la productividad y disminuyendo los costos.



#### IV. DATACENTER<sup>12</sup> HONDA – COLORADO, EEUU

**Alcance del Proyecto:** US\$22M (US\$68M incluyendo equipamiento), 5.500 m<sup>2</sup>.

**Duración del Proyecto:** 9 meses entre diseño y construcción con 3 meses de traslape.

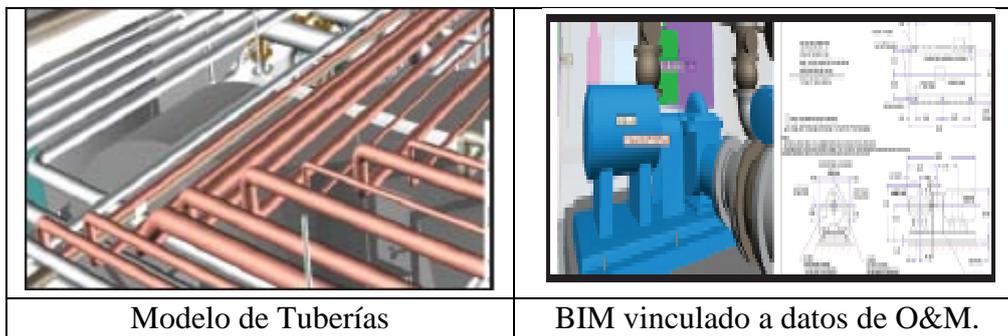
**Alcance BIM:** Detección de interferencias, fabricación remota y vinculación del modelo con datos de operación y mantenimiento.

**Software utilizados:** Autocad y Navisworks.

**Costo para el Proyecto:** US\$200.000 – 0,03% del presupuesto del proyecto.

**Beneficios:** No cuantificados.

El subcontratista de mecánica Trautman & Shreve (T&S) utilizó BIM para proveer al mandante una instalación libre de colisiones y un modelo digital as-built para su nueva edificación. La confianza del equipo de T&S en la exactitud de los modelos permitió una extensiva fabricación remota, desempeñando el 75% de la soldadura requerida en talleres, donde la productividad es el doble de la productividad en terreno. El equipo estimó que la productividad aumento en casi un 30%, aunque no se hizo un rastreo tan minucioso de las cantidades. El modelo as-built está totalmente vinculado con los datos de operación y mantenimiento proporcionando una mayor eficiencia en los sistemas, operación de equipos y procesos de mantenimiento, beneficios para el mandante que le durarán el ciclo de vida de estos sistemas.



<sup>12</sup> Un Datacenter es un edificio para empresas informáticas.

## V. DATACENTERS – TEXAS Y OHIO, EEUU

**Alcance del Proyecto:** Dos edificios de US\$150M y 28.000 m<sup>2</sup>.

**Duración del Proyecto:** 22 meses entre diseño y construcción con 1 mes de traslape.

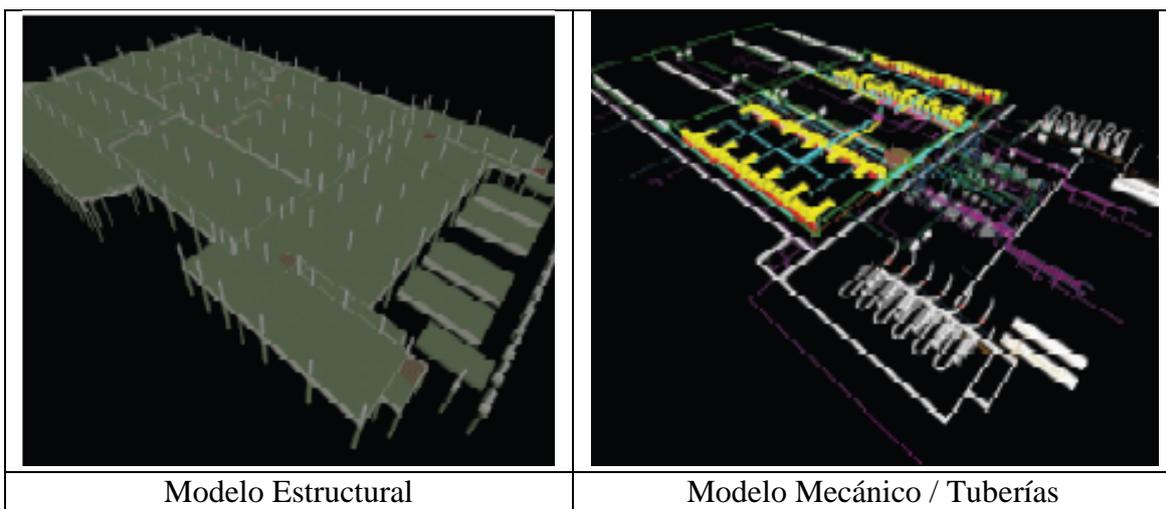
**Alcance BIM:** Detección de interferencias y vinculación del modelo as-built con datos de O&M.

**Software utilizados:** Navisworks.

**Costo para el Proyecto:** US\$75.000 y US\$35.000 - 0.01% de los presupuestos de ambos edificios.

**Beneficios:** Ahorro de US\$220,000 evitando 450 conflictos.

Holder Construction lideró a un equipo de diseño y construcción en la creación de modelos de información para dos proyectos “datacenter” en Texas y Ohio de casi un idéntico alcance. Aprovechando un diseño similar, entrenados los otros actores durante el primer modelamiento de uno de los edificios y aplicando las lecciones aprendidas, Holder fue capaz de producir un segundo modelo a un costo sumamente reducido. En ambos proyectos se detectaron más de 450 interferencias y problemas de coordinación, además de reducir considerablemente la cantidad de RDI. El mayor esfuerzo de Holder en la implementación de BIM lo dirigió al desarrollo de una representación 3D exacta de la infraestructura y sus instalaciones vinculando estos elementos con datos de operación y mantenimiento tales como formularios aprobados, requerimientos manufactureros de mantenimiento, secuencia de las operaciones e información de las garantías. El ahorro de costos por la sola detección de interferencias cubrirá la inversión hecha en la construcción del modelo incluyendo la vinculación con información de O&M, que incluso beneficiara al cliente, en términos financieros y operativos por todo el ciclo de vida de estas instalaciones.



## VI. AMPLIACION CLINICA DAVILA, SANTIAGO, CHILE

**Alcance del Proyecto:** Monto de 630.736 UF y una superficie de 29.685 m2.

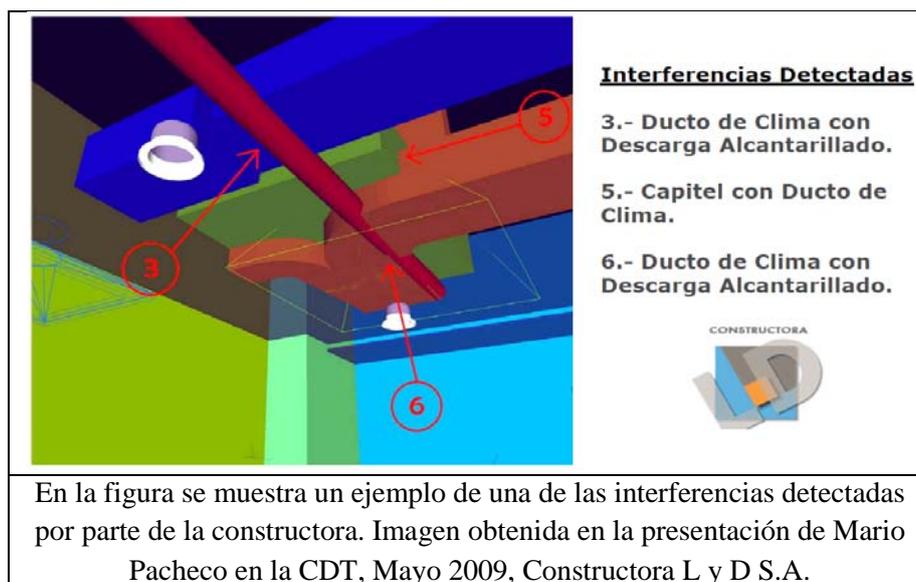
**Duración del Proyecto:** 18 meses (Construcción).

**Alcance BIM:** Coordinación de especialidades (detección de interferencias).

**Software utilizados:** Revit MEP y Navisworks.

**Costo para el Proyecto:** 710 UF – 0,1% del monto del contrato.

**Beneficios:** Ahorro estimado a la fecha de 1700 UF (con un 66% de levantamiento de la obra) al detectar 297 interferencias con el modelo.



## VII. EXPANSION PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS, ARIZONA, USA

En este proyecto de de US\$76M la compañía Archer Western tomo los dibujos en 2D de las ingenierías y construyó sus propios modelos. A pesar de que la compañía gastó un extra de US\$40.000 en la creación de los modelos, identificó más de US\$150.000 en interferencias durante el proceso de coordinación.

Según Dan Klancnik (“Virtual Construction Manager”) los requerimientos de información del proyecto fueron reducidos en un 75% con cero órdenes de cambio y el programa de construcción estimado en 28 meses fue reducido en 5 semanas; 12 personas trabajando por adelantado (preconstrucción) hacen lo mismo que al menos 100 personas en terreno”, Klancnik añade. “Nosotros percibimos a BIM como un costo negativo que se debe pagar en un principio, pero con cuantiosos ahorros en fases posteriores del proyecto. Es mucho mejor cuando el modelo es integrado (construido por los especialistas), pero si se necesita hacer por parte de la constructora, aun así vale la pena”.

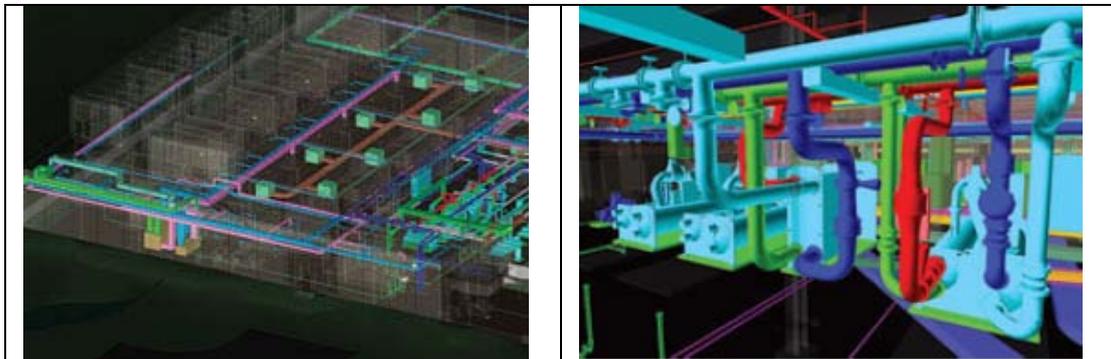
## VIII. DATACENTER CONSTRUIDO POR GILBANE, USA

En este proyecto Gilbane Building Co. percibió casi un 1500% de retorno de la inversión hecha en BIM. La coordinación virtual entre las firmas participantes trajo los más aparentes beneficios. En vez de transferir la información en papel entre los especialistas, el equipo trabajó conjuntamente para y desde el modelo, identificando conflictos antes de notar estos en terreno. Kevin Bredeson, director virtual en Gilbane estimó que el tiempo dedicado a la coordinación se redujo de 4 a 2,5 meses y se ahorró casi US\$86.000.

Con 1.445 interferencias detectadas se percibió una reducción de un 43% de los requerimientos de información. En total, el proceso resolvió problemas que podrían haberle costado al mandante un monto de US\$863.000.

Con las especialidades totalmente coordinadas, muchos subcontratistas fueron capaces de prefabricar sus mayores y más complicados ensamblajes en talleres remotos a la obra. Como resultado, se redujo las horas de trabajo en terreno en un 15% y se estimó un ahorro de US\$140.000.

Con todas estas aplicaciones combinadas, el equipo identificó casi US\$1,09 millones en ahorros. En cuanto a los costos relacionados con BIM se estimó un monto por solo US\$69.000.



Renderings cortesía de Thornton Tomasetti.

## ANEXO N° 2: DOCUMENTACIÓN DE MODIFICACIONES DE OBRA

A continuación se incorporará el listado de las O.E. de los tres proyectos analizados en el informe y la clasificación de estas en forma resumida. La documentación completa esta en el CD anexo. Algunos comentarios/consideraciones a tener en cuenta:

- 1. Faltas de Definición del Proyecto.** Ejemplos en Proyecto Ángel Cruchaga: OE101 - “Topes de goma para vehículos”; OE59 - “Modificación escalera sala maquinas”; OE97 - “Calefacción sala de cine” (falta de definición para otra especialidad). Todos estos extraordinarios debieran estar definidos en la etapa de diseño y, a pesar de que con un modelo BIM no se garantiza esta definición, existe una mayor probabilidad de que se tengan estas partidas definidas y planificadas.
- 2.** Para las O.E. previsibles del tipo “Altura de viga invertida – en planos decían que era de una altura, pero en realidad era de otra”, en este tipo de trabajo rehecho se debería considerar el costo del moldaje (material que no se consume) y un costo por no hacer el elemento como corresponde en la forma planificada. El hormigón, fierro y mano de obra no podría haberse evitado con BIM, dado que independiente que se haya detectado el problema de la altura, igual se debía utilizar la cantidad de recursos (que se consumen) para construir el elemento como corresponde.
- 3.** Existen variadas O.E. en las que no hay acuerdos y algunas de estas podrían haberse evitado con BIM lo que implica ahorros para la constructora.
- 4.** Para Proyecto Ángel Cruchaga: Los precios de las OE vienen con el descuento del 65% del IVA (19%), que es un antecedente importante a agregar dado que próximamente se va a eliminar este crédito, y por ende en obras posteriores los ahorros para el mandante serian mayores.

## I. Edificio Gran Santiago

N°	MONTOS (UF)			Razón	Costo Evitable			Obra Previsible	
	Aprobado	Evitable	Evitable Discutible		Si	No	Discutible	Si	Discutible
MO-01	308,55			10		1			
MO-02	50,50			7		1			
MO-03	7,53			10		1			
MO-04	89,38			10		1			
MO-05	579,63			5		1			
MO-06	3,52			7		1			
MO-07	157,62			10					1
MO-08	1.738,71		1.738,71	10			1		
MO-09	942,84			7		1			
MO-10	403,68			10		1			
MO-11	22,81			10					1
MO-12	68,41			6					1
MO-13	252,23			6					1
MO-14	545,43			7		1			
MO-15	32,19	32,19		2	1				
MO-16	192,95	192,95		2	1				
MO-17	2.226,42			7		1			
MO-18	275,79			6					1
MO-19	27,32			7		1			
MO-20	179,50			6					1
MO-21	33,23		33,23	5			1		
MO-22	(15,32)			5		1			
MO-23	(405,06)			10					1
MO-24	(541,24)			10		1			
MO-25	80,53			7		1			
MO-26	26,09			6				1	
MO-27	1.206,67	1.206,67		6	1				
MO-28	332,61			10		1			
MO-29	521,57			7		1			
MO-30	56,30			10		1			
MO-31	90,28		90,28	7			1		
MO-32	114,42			7		1			
MO-33	394,78			6				1	
MO-34	346,42			5		1			
MO-35	38,77			7		1			
MO-36	146,19			6				1	
MO-37	100,51	50,26		6	1				
MO-38	31,90			10					1
MO-39	135,40			10		1			
MO-40	(77,47)			10		1			

MO-41	140,43			10					1
MO-42	3.257,83			10		1			
MO-43				10		1			
MO-44	231,62	231,62		2	1				
MO-45	7,92	7,92		6	1				
MO-46	67,63			7		1			
MO-47	584,58			6				1	
MO-48	285,44			7					1
MO-49	151,33	151,33		6	1				
MO-50	247,13			1				1	
MO-51	125,96			7				1	
MO-52	1.681,76			5		1			
MO-53	21,87			7		1			
MO-54	(195,32)			10		1			
MO-55	256,44	79,65		4	1				
MO-56	161,34			6		1			
MO-57	39,50	39,50		6	1				
MO-58	51,38	51,38		4	1				
MO-59	150,44			7		1			
MO-60	42,93			6					1
MO-61	201,94			6					1
MO-62	5.924,73			7		1			
MO-63	254,29			5		1			
MO-64	5.087,97			6				1	
MO-65	87,07			10		1			
MO-66	226,21			10				1	
MO-67	494,56			10		1			
MO-68	213,70			5		1			
MO-69	4.127,68			6		1			
MO-70	205,89			10		1			
MO-71	793,82			4		1			
MO-72	865,67			10		1			
MO-73	520,77			6		1			
MO-74	206,76			6				1	
MO-75	69,12			4		1			
MO-76	950,00			10		1			
MO-77	452,99			10		1			
MO-78	70,61			10		1			
MO-79	97,75			5		1			
MO-80	37,16			10					1
MO-81	213,54			10		1			
MO-82	73,50			10		1			
MO-83	75,98			5		1			
MO-84	1.078,35			6					1
MO-85	(505,51)			10		1			

MO-86	111,12			4		1			
MO-87	89,79	38,82		10	1				
MO-88	139,82			10					1
MO-89	347,08			10					1
MO-90	160,86			10					1
MO-91	381,85			4		1			
MO-92	1.057,34			6				1	
MO-93	1.799,03			7		1			
MO-94	1.214,96			10					1
MO-95	164,60			9		1			
MO-96	236,35			6				1	
MO-97	356,71		76,70	10			1		
MO-98	454,71			6		1			
MO-99	239,54			6				1	
MO-100	23,63	23,63		6	1				
MO-101	39,85			7		1			
MO-102	513,17			6				1	
MO-103	386,01			6				1	
MO-104	284,32			10					1
MO-105	353,69			10					1
MO-106	199,43			6		1			
MO-107	274,14	274,14		6	1				
MO-108	330,89			10		1			
MO-109	889,90	889,90		10	1				
MO-110	151,80			7		1			
MO-111	104,35			10		1			
MO-112	25,99	25,99		6	1				
MO-113	772,10			10					1
MO-114	6.207,80			7		1			
MO-115	128,86	55,71		6	1				
MO-116	95,25			10		1			
MO-117	1.500,34			10		1			
MO-118	104,04			6		1			
MO-119	351,04			10					1
MO-120	478,63			10					1
MO-121	276,45	24,14		6	1				
MO-122	479,73			6		1			
MO-123	233,09			6		1			
MO-124	184,47			10		1			
MO-125	134,96			6					1
MO-126	137,15	137,15		10	1				
MO-127	16,73			10					1
MO-128	701,62	48,00		6	1				
MO-129	70,58	70,58		7	1				
MO-130	331,20	331,20		6	1				

MO-131	249,42			10		1			
MO-132	137,06			6					1
MO-133	349,14	234,35		6	1				
MO-134	209,31			10		1			
MO-135	249,44			7		1			
MO-136	229,06			6					1
MO-137	6,34			10		1			
MO-138	34,93			6				1	
MO-139	152,57			10		1			
MO-140	324,94			5		1			
MO-141	32,64	32,64		6	1				
MO-142	91,65			6				1	
MO-143	423,34	239,56		6	1				
MO-144	6,45			10		1			
MO-145	489,44			6				1	
MO-146	162,71			10		1			
MO-147	265,61	265,61		6	1				
MO-148	132,06	132,06		6	1				
MO-149	99,10	99,10		6	1				
MO-150	70,84			1				1	
MO-151	1.187,66	1.187,66		6	1				
MO-152	146,52			6				1	
MO-153	459,66			6				1	
MO-154	94,24	94,24		6	1				
MO-155	148,95			6					1
MO-156	1.023,12			10		1			
MO-157	683,61			6				1	
MO-158	283,36			6		1			
MO-159	118,95	118,95		6	1				
MO-160	99,68	94,42		6	1				
MO-161	318,61			5		1			
MO-162	358,27			6				1	
MO-163	48,45			6				1	
MO-164				10		1			
MO-165	56,42			6					1
MO-166	22,80			10		1			
MO-167	452,18			10		1			
MO-168	65,26	65,26		6	1				
MO-169	216,71		216,71	7			1		
MO-170	43,61	43,61		7	1				
MO-171	367,61			6				1	
MO-172	245,62	245,62		7	1				
MO-173	670,32	502,98		6	1				
MO-174	(922,48)			10					1
MO-175	432,91	342,91		5	1				

MO-176	105,80			6				1	
MO-177	116,24			5		1			
MO-178	2.332,27			6				1	
MO-179	2.888,40			10		1			
MO-180	8.340,05			6		1			
MO-181	1.450,64	1.450,64		6	1				
MO-182	5.571,06			10		1			
MO-183	41,39	41,39		7	1				
MO-184	18,65	18,65		6	1				
MO-185	177,99			10		1			
MO-186	152,61			6				1	
MO-187	84,80			6				1	
MO-188	29,59			6		1			
MO-189	40,81			6				1	
MO-190	45,66			10		1			
MO-191	436,77	25,09		10	1				
MO-192	310,46			6				1	
MO-193	104,06			6				1	
MO-194	81,95			10		1			
MO-195	139,65			6					1
MO-196	132,28			6				1	
MO-197	131,71			5		1			
MO-198	2.659,16			10		1			
MO-199	367,71			6				1	
MO-200	305,92			10					1
MO-201	184,61			6				1	
MO-202	43,71			6					1
MO-203	20,60			10		1			
MO-204	156,40	156,40		6	1				
MO-205	50,21			5		1			
MO-206	35,48			5		1			
MO-207	1.382,55			10		1			
MO-208	749,23			10		1			
MO-209	69,48			6				1	
MO-210	22,56	22,56		5	1				
MO-211	57,60			10		1			
MO-212	286,36			7		1			
MO-213	99,10			7		1			
MO-214	392,84			7		1			
MO-215	27,19			10		1			
MO-216	114,66			10		1			
MO-217	14,17			10		1			
MO-218	20,67	20,67		6	1				
MO-219	23,70	23,70		6	1				
MO-220	23,64	7,52		10	1				

<b>MO-221</b>	35,68			10		1			
<b>MO-222</b>	8,06			7		1			
<b>MO-223</b>	4,61			10		1			
<b>MO-224</b>	395,40			10					1
<b>MO-225</b>	52,13			9		1			
<b>MO-226</b>	141,13			10		1			
<b>MO-227</b>	83,34			6				1	
<b>MO-228</b>	151,63			9		1			
<b>MO-229</b>	79,66			6		1			
<b>MO-230</b>	28,81			10		1			
<b>MO-231</b>	32,72			10		1			
<b>TOTAL</b>	<b>103.583</b>	<b>9.428</b>	<b>2.156</b>		<b>45</b>	<b>111</b>	<b>5</b>	<b>36</b>	<b>34</b>
<b>%</b>					<b>19,5%</b>	<b>48,1%</b>	<b>2,2%</b>	<b>15,6%</b>	<b>14,7%</b>

## II. Mall Paseo Estación

N° OE	MONTOS (UF)			Costo Evitable			Obra Previsible	
	Aprobado	Evitable	Evitable Discutible	Si	No	Discutible	Si	Discutible
1	1.762,71				1			
2	252,98		252,98			1		
3	(13.956,09)				1			
4	170,60				1			
5	(1.936,80)				1			
6	557,37							1
7	(2.334,55)				1			
8	(3.924,94)				1			
9	(186,61)				1			
10.1	(1.249,11)				1			
10.2	(136,24)				1			
11	205,27	205,27		1				
12	150,51	150,51		1				
13,1	608,00	608,00		1				
14	1.216,04				1			
15	(1.108,59)				1			
16	3.523,68				1			
17	(236,82)				1			
18	(2.695,84)				1			
19	630,86						1	
20	565,14				1			
21	2.837,37				1			
22	403,44				1			
24,2	(2.002,67)				1			
25	(166,37)				1			
26	(8.258,04)				1			
29	(1.819,84)				1			
33	528,59							1
34	182,28							1
35	(51,82)							1
36	161,65				1			
37	10,43						1	
38	298,33						1	
39	20,01							1
40	64,73	35,58		1				
41	43,95	26,08		1				
43,2	(356,48)							1
44	34,24	16,42		1				
45	336,89							1
47	71,51				1			

49	24,80	24,80		1				
50	344,80				1			
51	(11,34)							1
53	1.359,60	33,70		1				
54	69,42	69,42		1				
55	290,35	290,35		1				
56	(280,60)				1			
57	114,58	16,42		1				
58	13,14		13,14			1		
59	20,90							1
62	72,18						1	
63	74,94	19,28		1				
64	(126,86)				1			
65	117,29						1	
67	112,94							1
70	17,88							1
71	10,34				1			
72	325,24				1			
72,1	101,71				1			
73	145,66	17,32		1				
76	717,37				1			
77	405,58	261,86		1				
78	40,50				1			
80	46,06						1	
81	13,11		13,11			1		
83	37,80						1	
84	47,29	8,13		1				
85	25,96	7,35		1				
86	295,52							1
87	354,79				1			
88	(394,84)				1			
89	57,33	32,25		1				
90	9,81				1			
91	24,00				1			
92	242,99							1
93	126,20							1
94	127,50							1
95	465,50							1
96	4,50							1
98	204,38				1			
99	167,39				1			
102	6,35				1			
104	250,19	89,53		1				
105	613,72				1			
106	52,17				1			

107	26,68				1			
109	14,38				1			
110	32,21				1			
111	232,54				1			
112	107,10	41,23		1				
113	70,01							1
114	14,18							1
115	79,62				1			
116	23,78				1			
117	18,58				1			
118	367,04				1			
119	6,39						1	
120	97,32				1			
121	(1.308,90)				1			
122	(660,58)				1			
124	753,67		175,574				1	
125	(427,08)				1			
126	(335,70)				1			
127	(473,63)				1			
129	(146,02)				1			
130	(278,09)				1			
131	(55,26)				1			
132	(210,51)				1			
133	(1.496,21)				1			
134	119,80				1			
136	81,59							1
137	251,24		64,14			1		
139	128,51							1
140	3.157,40							1
141	15,16				1			
142	219,25							1
144	42,67				1			
145	122,25	122,25		1				
146	9,64	9,64		1				
149	1,66				1			
150	29,12				1			
152	206,89				1			
153	73,89							1
154	60,38				1			
155	56,55				1			
157	156,52				1			
158	76,60	12,34		1				
159	105,64							
160	101,27				1			
161	129,85		129,85			1		

163	127,86	127,86		1				
164	157,24							1
165	29,63							
166	169,02	169,02		1				
167	146,26							
169	1.074,96							
170	171,42							
171	116,70							
172	112,12				1			
173	275,40							
174	233,43							
175	291,43	291,43		1				
177	456,78							
178	48,18		48,18			1		
179	226,17							
180	(677,26)				1			
181	3,79							
183	59,07		9			1		
184	34,94		34,94			1		
185	72,71							
186	279,01				1			
188	36,91				1			
189	184,28				1			
190	263,19				1			
191	26,02				1			
192	111,84							
193	310,00							1
195	170,38		170,38			1		
196	86,93				1			
197	32,94							
199	296,37						1	
200	70,25				1			
201	147,08				1			
202	9,17				1			
203	26,43							
204	121,48				1			
205	12,65	12,65		1				
206	261,52							
207	40,77							
209	11,56							
210	14,73	14,73		1				
212	84,47				1			
213	2,94				1			
214	76,00				1			
215	29,31				1			

217	76,42							
218	27,00							
219	156,18							
220	147,54							
221	172,78							
222	(3,42)							
223	94,37	6,27		1				
224	12,84							
225	61,61	4,23		1				
226	31,73	3,43		1				
227	50,89							
228	280,28							
229	69,65	69,65		1				
231	15,23	15,23		1				
232	9,20						1	
233	66,02							
234	(42,48)				1			
235	16,73							1
236	2,13							
237	7,32				1			
238	(721,61)				1			
239	(378,10)				1			
240	(583,54)				1			
241	(382,08)				1			
242	(626,09)				1			
243	(414,15)				1			
244	181,52		181,52			1		
245	296,52				1			
246	952,10				1			
247	21,70	21,70		1				
248	8,30	8,30		1				
249	(135,39)				1			
250	120,13							
251	(91,44)				1			
252	40,91							
253	94,22							
255	19,92							
256	(10,24)				1			
257	(588,11)							
258	27,54				1			
259	(125,13)				1			
260	(230,63)							
261	(217,33)				1			
263	(116,38)				1			
264	148,11							

265	2.000,00							
266	1.195,30							
267	49,67				1			
268	(219,93)				1			
269	97,25							
270	(326,73)				1			
270.1	(265,05)							
271	(25,36)							
272	(87,19)							
274	(20,59)							
275	(14,14)							
276	(49,42)				1			
277	(142,10)							
278	26,55							
279	114,10	114,103		1				
<b>TOTAL</b>	<b>(10.737,5)</b>	<b>2.956,32</b>	<b>1.092,81</b>	<b>35</b>	<b>106</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>27</b>
<b>%</b>				<b>18,5%</b>	<b>56,1%</b>	<b>5,3%</b>	<b>5,8%</b>	<b>14,3%</b>

Nota: N° OE sin evaluar: 52

### III. Proyecto Ángel Cruchaga

N°	MONTOS (UF)			Costo Evitable			Obra Previsible	
	Aprobado	Evitable	Evitable Discutible	Si	No	Discutible	Si	Discutible
1	331,80							1
2	2.849,19				1			
2,1	158,88				1			
3	10,00				1			
4	22,14				1			
5	1.635,56				1			
6	(978,98)				1			
7	423,36				1			
8	14,59				1			
9	64,97				1			
10	211,59							1
11	45,91				1			
11,1	10,76				1			
12	(45,11)				1			
13	69,94				1			
14	24,19							1
15,2	120,08	120,08		1				

16,2	(489,20)							1
17	12,24				1			
18	376,93				1			
18,1	18,00				1			
19	(3,35)	2,74		1				
20	7,13						1	
21	10,95						1	
22	116,99				1			
23,2	131,04				1			
24,1	28,78				1			
25	425,05				1			
26	227,84							1
27	4,42						1	
28	304,45							1
29	(151,11)				1			
30	173,45				1			
30,1	34,19				1			
31	525,61				1			
32	10,16				1			
33	38,52	2,67		1				
34	81,38				1			
35	143,42							1
36	70,46							1
37	43,81				1			
38	103,96	103,96		1				
39	29,68							1
40	26,90				1			
41	5,53				1			
42	284,02				1			
43	138,93						1	
44	37,84				1			
45	6,53						1	
46	106,85						1	
47	1.308,02				1			
48	7,42						1	
49	220,62				1			
50	6,44	3,09		1				
51	471,98				1			
52	21,04	21,04		1				
53	141,52	16,34		1				
54	0,75							1
55	25,66							1
56	47,20							1
57	13,86						1	
58	(186,78)				1			

59	22,76							1
60	21,81				1			
61	69,10							1
62	108,49				1			
63	212,10				1			
64	39,00				1			
65	175,29						1	
66	42,67							1
67	167,48							1
68	133,80				1			
69	6,77						1	
70	35,78		13,05			1		
71	6,20				1			
72	(93,94)				1			
73	67,26							1
74	28,74				1			
75	7,22				1			
76	180,49				1			
77	(396,69)				1			
78	301,90						1	
79	119,13				1			
80	12,58				1			
81	54,12		54,12			1		
82	29,19				1			
83	29,77				1			
84	12,25		6,13			1		
85	11,60						1	
86	3,26				1			
87	6,72						1	
88	19,24							1
89	8,78				1			
90	13,31				1			
91	148,05				1			
92	31,31				1			
93	3,87				1			
94	23,40				1			
95	0,29	0,29		1				
96	34,13				1			
97	54,74							1
98	12,77				1			
99	5,24				1			
100	7,53				1			
101	20,67							1
102	23,00	23,00		1				
103	13,52				1			

<b>104</b>	30,53				1			
<b>105</b>	3,83				1			
<b>106</b>	15,05				1			
<b>107</b>	11,52						1	
<b>108</b>	0,94							1
<b>109</b>	6,82				1			
<b>110</b>	25,37				1			
<b>111</b>	60,24		60,24			1		
<b>112</b>	59,74				1			
<b>113</b>	128,45				1			
<b>114</b>	1,75				1			
<b>115</b>	56,52							1
<b>TOTAL</b>	<b>12.163,47</b>	<b>293,19</b>	<b>133,53</b>	<b>9</b>	<b>70</b>	<b>4</b>	<b>14</b>	<b>22</b>
<b>%</b>				<b>7,6%</b>	<b>58,8%</b>	<b>3,4%</b>	<b>11,8%</b>	<b>18,5%</b>

**Nota:** 28 Extraordinarios que no son considerados como evitables, lo son potencialmente con una adecuada comunicación y coordinación en la etapa de diseño, especialmente utilizando modelos BIM como herramienta de comunicación.

## **ANEXO N° 3: DOCUMENTACIÓN DE REQUERIMIENTOS DE INFORMACIÓN**

A continuación se incorporará el listado de los RDI de los tres proyectos analizados en el informe y la clasificación de estos en forma resumida. La documentación completa esta en el CD anexo. Algunos comentarios/consideraciones a tener en cuenta:

- Existen RDI que pertenecen a más de un campo. Ejemplo: “En elevación del eje 52, plano 50, se aprecia viga 70/45. Esta viga está indicada como viga invertida en planta cielo 1° Subterráneo. Se solicita aclarar si la viga es invertida y se solicita, además, detallar los fierros inferiores, superiores, los estribos y los laterales de la viga” – El cual se puede clasificar como I o como II.
- Fue necesario entender e imaginar el contexto de la RDI, de acuerdo a toda la información que se tiene disponible (la cual muchas veces no era suficiente). Por esta razón, existen RDI en las cuales su clasificación: “si es que podría haberse detectado con BIM” quedan supeditadas al criterio del autor. La mayoría de estas RDI con insuficiente información quedan generalmente clasificadas como “Discutible” o “No” de tal forma que el análisis esté “por el lado seguro”.
- En general, RDI clasificadas como I, II y III se detectan, pero existen algunas que “No” o son “Discutibles”, en particular por el nivel de detalle (NDD) de los modelos. Como este es un análisis “ex post”, es imposible determinar cuál sería el NDD, por lo que muchas de estas RDI, que podrían detectarse dependiendo del NDD, se clasificarán como “discutible”.
- Notar que existen algunas RDI que son consecuencias de otras. Por ejemplo: RDI N° 88: “De acuerdo a respuesta a RDI N° 55 y en relación a RDI N° 83, se consulta por solución para interferencia en eje 1-G con muro medianero norte”. Las RDI N° 55 y N° 83 se podrían haber detectado. Y por ende esta RDI hecha para ratificar o explicar la solución dada a las RDI que se evitan, no debería por qué haberse efectuado en primera instancia y por lo tanto se clasifica como “Si”.
- RDI's del tipo “Se solicita se estudien los espesores de los tabiques para casos en que se tienen demasiados ductos de instalaciones, ya que en estos casos se tienen cruces que no caben dentro de los 4cm del tabique. Principalmente los tabiques húmedo-húmedo, que es el sector con más tuberías de instalaciones”. Estas podrían haberse resuelto con una reunión de coordinación 3D en la etapa de diseño, pero se dejarán como “Discutible”.

- Aunque se defina los planos como documento oficial de construcción, un modelo bien desarrollado, puede servir para evitar RDI del tipo. Ejemplo 1: “En plano C04 eje J/48, se solicita corregir puerta indicada en bodega BOD34C como PP01 a puerta tipo PP19”. Ejemplo 2: “Se solicita aclarar si bodega de aseo del piso 20 (plano C30, eje J/52) efectivamente tiene una puerta PP01 (puerta de acceso a departamentos)”. Dado que el modelo contiene esta información en forma clara y coherente.
- Clasificación de RDI para proyectos Gran Santiago y Ángel Cruchaga:
  - **(I) Incongruencias en planos, entre planos de la misma especialidad o diferentes especialidades y entre planos con especificaciones.**
  - **(II) Falta y Falla de Detalle / Especificación / Definición.**
  - **(III) Falta de Documentación / Falta de Actualización.**
  - **(IV) Proposiciones (de Cambio).**
  - **(V) Otras.**

## I. Gran Santiago

Podría detectarse con BIM	Nº RDI	Holgura	Tiempo Respuesta	Clasificación					Nivel de Riesgo	Respuesta a tiempo
				I	II	III	IV	V		
SI	1	1	1	1					Alto	SI
SI	1	1	1	1					Alto	SI
SI	1	1	1	1					Alto	SI
SI	1	1	1		1				Alto	SI
SI	2	5	6	1					Bajo	NO
SI	2	5	6	1					Bajo	NO
SI	2	5	6	1					Bajo	NO
SI	2	5	6		1				Bajo	NO
SI	2	5	6	1					Bajo	NO
SI	2	5	6	1					Bajo	NO
NO	2	5	6					1	Bajo	NO
SI	2	5	6	1					Bajo	NO
SI	2	5	6		1				Bajo	NO
SI	2	5	6		1				Bajo	NO
SI	2	5	6		1				Bajo	NO
SI	2	5	6		1				Bajo	NO
SI	2	5	6	1					Bajo	NO
SI	2	5	6		1				Bajo	NO
SI	2	5	6		1				Bajo	NO
DISCUTIBLE	2	5	6					1	Bajo	NO

SI	3	2	2	1					Alto	SI
SI	3	2	2		1				Alto	SI
SI	3	2	2	1					Alto	SI
SI	3	2	2	1					Alto	SI
SI	3	2	2		1				Alto	SI
SI	3	2	2		1				Alto	SI
NO	3	2	2		1				Alto	SI
DISCUTIBLE	4	1	1					1	Alto	SI
NO	5	1	1			1			Alto	SI
SI	5	1	1		1				Alto	SI
DISCUTIBLE	5	1	1					1	Alto	SI
SI	5	1	2		1				Alto	NO
SI	6	1	7	1					Alto	NO
DISCUTIBLE	6	1	7			1			Alto	NO
SI	6	1	7	1					Alto	NO
SI	6	1	7		1				Alto	NO
SI	6	1	12					1	Alto	NO
SI	6	1	12					1	Alto	NO
SI	7	1	7	1					Alto	NO
DISCUTIBLE	7	1	7					1	Alto	NO
DISCUTIBLE	7	1	7			1			Alto	NO
SI	8	1	12	1					Alto	NO
DISCUTIBLE	9	1	1			1			Alto	SI
SI	9	1	1	1					Alto	SI
SI	9	1	1		1				Alto	SI
SI	9	1	25		1				Alto	NO
SI	9	1	25	1					Alto	NO
SI	10	1	5	1					Alto	NO
SI	10	1	0		1				Alto	SI
DISCUTIBLE	10	1	0			1			Alto	SI
SI	10	1	0	1					Alto	SI
DISCUTIBLE	11	1	0			1			Alto	SI
SI	11	1	0	1					Alto	SI
SI	11	1	0	1					Alto	SI
SI	12	1	2	1					Alto	NO
SI	12	1	2			1			Alto	NO
SI	12	1	2		1				Alto	NO
SI	12	1	2		1				Alto	NO
SI	13	1	2	1					Alto	NO
SI	13	1	2	1					Alto	NO
SI	13	1	2	1					Alto	NO
SI	14	1	3	1					Alto	NO
SI	14	1	3	1					Alto	NO
SI	14	1	3	1					Alto	NO

SI	14	1	3		1				Alto	NO
SI	15	1	2	1					Alto	NO
SI	15	1	2		1				Alto	NO
SI	15	1	2		1				Alto	NO
SI	16	1	1					1	Alto	SI
SI	16	1	2					1	Alto	NO
SI	17	1	13					1	Alto	NO
NO	17	1	13				1		Alto	NO
SI	18	1	3		1				Alto	NO
SI	18	1	3		1				Alto	NO
SI	18	1	3		1				Alto	NO
SI	18	1	3	1					Alto	NO
SI	19	1	1		1				Alto	SI
SI	19	1	1	1					Alto	SI
SI	20	1	8					1	Alto	NO
SI	21	1	8					1	Alto	NO
SI	22	1	3		1				Alto	NO
SI	22	1	3	1					Alto	NO
SI	23	2	3		1				Alto	NO
NO	23	2	3					1	Alto	NO
SI	24	2	1	1					Alto	SI
NO	24	2	1					1	Alto	SI
NO	25	2	2					1	Alto	SI
NO	25	2	2				1		Alto	SI
SI	25	2	2		1				Alto	SI
NO	26	2	2	1					Alto	SI
DISCUTIBLE	26	2	2				1		Alto	SI
SI	27	1	1		1				Alto	SI
SI	27	1	1		1				Alto	SI
SI	27	1	1		1				Alto	SI
SI	28	1	1	1					Alto	SI
SI	28	1	1	1					Alto	SI
SI	28	1	1		1				Alto	SI
SI	28	1	1		1				Alto	SI
SI	29	0	5	1					Urgente	NO
SI	29	0	5		1				Urgente	NO
SI	30	0	1	1					Urgente	NO
SI	30	0	1		1				Urgente	NO
SI	30	0	1		1				Urgente	NO
SI	30	0	1					1	Urgente	NO
SI	31	1	6		1				Alto	NO
SI	32	3	6	1					Medio	NO
SI	32	3	6		1				Medio	NO

SI	33	1	4					1	Alto	NO
SI	33	1	4	1					Alto	NO
SI	34	1	1	1					Alto	SI
DISCUTIBLE	34	1	1			1			Alto	SI
SI	35	1	1					1	Alto	SI
SI	36	1	1	1					Alto	SI
SI	37	1	1		1				Alto	SI
NO	37	1	1				1		Alto	SI
SI	37	1	1	1					Alto	SI
SI	38	1	1	1					Alto	SI
SI	39	3	6	1					Medio	NO
SI	39	3	6	1					Medio	NO
NO	39	3	6					1	Medio	NO
SI	40	3	6	1					Medio	NO
NO	40	3	6					1	Medio	NO
SI	41	1	5	1					Alto	NO
SI	42	1	1	1					Alto	SI
SI	43	1	1	1					Alto	SI
NO	44	2	0				1		Alto	SI
SI	45	1	0	1					Alto	SI
SI	45	1	0	1					Alto	SI
SI	46	0	1					1	Urgente	NO
SI	47	1	1	1					Alto	SI
SI	48	1	1					1	Alto	SI
NO	49	3	11					1	Medio	NO
SI	50	3	3	1					Medio	SI
SI	50	3	3	1					Medio	SI
SI	50	3	3	1					Medio	SI
SI	51	3	3	1					Medio	SI
SI	51	3	3		1				Medio	SI
SI	52	1	0	1					Alto	SI
SI	53	1	4					1	Alto	NO
DISCUTIBLE	53	1	1					1	Alto	SI
SI	54	0	2					1	Urgente	NO
SI	55	1	1	1					Alto	SI
SI	55	1	1	1					Alto	SI
SI	56	1	23		1				Alto	NO
DISCUTIBLE	56	1	23					1	Alto	NO
NO	56	1	23					1	Alto	NO
SI	57	1	23		1				Alto	NO
NO	58	1	8				1		Alto	NO
SI	59	6	23	1					Bajo	NO
SI	59	6	23	1					Bajo	NO

DISCUTIBLE	59	6	23			1			Bajo	NO
DISCUTIBLE	59	6	23					1	Bajo	NO
SI	60	5	22	1					Bajo	NO
DISCUTIBLE	61	0	5					1	Urgente	NO
DISCUTIBLE	62	0	0		1				Urgente	SI
SI	63	1	3		1				Alto	NO
SI	63	1	1	1					Alto	SI
SI	63	1	1		1				Alto	SI
SI	64	1	1		1				Alto	SI
SI	65	1	2					1	Alto	NO
SI	66	1	9					1	Alto	NO
SI	67	1	1	1					Alto	SI
SI	67	1	1		1				Alto	SI
SI	68	1	1		1				Alto	SI
SI	68	1	1		1				Alto	SI
SI	68	1	1		1				Alto	SI
DISCUTIBLE	69	1	0					1	Alto	SI
NO	70	3	32				1		Medio	NO
DISCUTIBLE	71	1	3					1	Alto	NO
DISCUTIBLE	71	1	3					1	Alto	NO
SI	72	1	3					1	Alto	NO
SI	73	1	1					1	Alto	SI
NO	74	1	3			1			Alto	NO
SI	75	3	27		1				Medio	NO
SI	75	3	27					1	Medio	NO
SI	75	3	27		1				Medio	NO
SI	75	3	43		1				Medio	NO
SI	75	3	27		1				Medio	NO
SI	75	3	27		1				Medio	NO
SI	75	3	27		1				Medio	NO
SI	75	3	27		1				Medio	NO
SI	76	3	34		1				Medio	NO
SI	77	7	34		1				Bajo	NO
SI	78	3	27		1				Medio	NO
SI	78	3	27		1				Medio	NO
SI	79	4	4		1				Medio	SI
SI	79	4	4		1				Medio	SI
SI	80	2	36	1					Alto	NO
SI	81	3	21	1					Medio	NO
SI	82	3	27		1				Medio	NO
SI	83	5	25					1	Bajo	NO
SI	83	5	25					1	Bajo	NO
SI	83	5	25		1				Bajo	NO
DISCUTIBLE	83	5	25					1	Bajo	NO

NO	84	0	0			1			Urgente	SI
SI	85	1	2		1				Alto	NO
SI	86	3	10		1				Medio	NO
NO	87	3	10					1	Medio	NO
NO	87	3	10					1	Medio	NO
NO	88	3	10					1	Medio	NO
SI	89	1	18		1				Alto	NO
SI	89	1	18		1				Alto	NO
SI	89	1	18		1				Alto	NO
NO	90	1	29				1		Alto	NO
SI	91	1	8		1				Alto	NO
SI	91	1	8		1				Alto	NO
SI	92	3	8		1				Medio	NO
SI	92	3	8		1				Medio	NO
SI	93	3	7	1					Medio	NO
SI	94	3	3	1					Medio	SI
SI	95	3	3	1					Medio	SI
NO	96	3	0			1			Medio	SI
NO	96	3	0					1	Medio	SI
SI	96	3	0	1					Medio	SI
SI	96	3	0		1				Medio	SI
SI	96	3	0	1					Medio	SI
NO	96	3	13			1			Medio	NO
SI	97	1	2		1				Alto	NO
SI	97	1	2		1				Alto	NO
SI	98	1	6		1				Alto	NO
SI	98	1	6					1	Alto	NO
SI	99	1	6		1				Alto	NO
SI	99	1	6	1					Alto	NO
SI	100	1	2		1				Alto	NO
SI	100	1	2		1				Alto	NO
SI	101	1	2	1					Alto	NO
SI	102	1	5	1					Alto	NO
SI	102	1	102		1				Alto	NO
SI	102	1	5	1					Alto	NO
DISCUTIBLE	103	1	23					1	Alto	NO
NO	103	1	23				1		Alto	NO
SI	103	1	23			1			Alto	NO
SI	103	1	23		1				Alto	NO
SI	104	1	4		1				Alto	NO
NO	105	1	71			1			Alto	NO
NO	105	1	0					1	Alto	SI
NO	105	1	0					1	Alto	SI

NO	106	1	10					1	Alto	NO
SI	106	1	10		1				Alto	NO
SI	106	1	10		1				Alto	NO
SI	107	1	1					1	Alto	SI
NO	107	1	1					1	Alto	SI
SI	108	1	1		1				Alto	SI
SI	109	1	1	1					Alto	SI
SI	110	1	2					1	Alto	NO
DISCUTIBLE	110	1	2					1	Alto	NO
SI	111	3	0					1	Medio	SI
SI	112	1	1		1				Alto	SI
SI	112	1	1		1				Alto	SI
SI	113	1	2		1				Alto	NO
DISCUTIBLE	114	0	0			1			Urgente	SI
DISCUTIBLE	115	0	0			1			Urgente	SI
SI	115	0	0	1					Urgente	SI
SI	116	1	1	1					Alto	SI
SI	117	6	6		1				Bajo	SI
SI	118	7	6		1				Bajo	SI
SI	118	7	6		1				Bajo	SI
NO	118	7	6					1	Bajo	SI
SI	119	1	5	1					Alto	NO
SI	119	1	6	1					Alto	NO
NO	120	5	172					1	Bajo	NO
SI	120	5	172		1				Bajo	NO
DISCUTIBLE	121	0	7					1	Urgente	NO
DISCUTIBLE	121	0	7					1	Urgente	NO
SI	121	0	7	1					Urgente	NO
SI	121	0	7		1				Urgente	NO
SI	121	0	7	1					Urgente	NO
SI	122	0	0	1					Urgente	SI
SI	123	1	2					1	Alto	NO
SI	123	1	2					1	Alto	NO
SI	123	1	2					1	Alto	NO
SI	124	1	1		1				Alto	SI
DISCUTIBLE	125	1	1					1	Alto	SI
SI	126	1	7		1				Alto	NO
NO	127	1	2				1		Alto	NO
NO	128	1	71					1	Alto	NO
SI	128	1	71		1				Alto	NO
SI	129	1	1					1	Alto	SI
SI	130	0	3		1				Urgente	NO
SI	130	0	3	1					Urgente	NO

SI	131	0	6		1				Urgente	NO
SI	131	0	6	1					Urgente	NO
SI	132	0	6		1				Urgente	NO
SI	133	1	4					1	Alto	NO
SI	133	1	4		1				Alto	NO
SI	134	1	10		1				Alto	NO
SI	134	1	10	1					Alto	NO
SI	134	1	10		1				Alto	NO
SI	134	1	10		1				Alto	NO
SI	134	1	10		1				Alto	NO
SI	135	0	3		1				Urgente	NO
NO	136	0	1			1			Urgente	NO
SI	137	0	57		1				Urgente	NO
SI	137	0	57		1				Urgente	NO
SI	138	1	0					1	Alto	SI
SI	139	1	0	1					Alto	SI
SI	140	1	5		1				Alto	NO
SI	140	1	5		1				Alto	NO
SI	140	1	5		1				Alto	NO
NO	140	1	5					1	Alto	NO
SI	140	1	5		1				Alto	NO
SI	141	1	7		1				Alto	NO
SI	141	1	7		1				Alto	NO
SI	141	1	7		1				Alto	NO
NO	141	1	7			1			Alto	NO
DISCUTIBILE	142	1	41					1	Alto	NO
SI	142	1	41	1					Alto	NO
NO	143	1	4					1	Alto	NO
NO	144	1	43					1	Alto	NO
SI	144	1	43		1				Alto	NO
DISCUTIBILE	144	1	43					1	Alto	NO
SI	144	1	43	1					Alto	NO
SI	144	1	43		1				Alto	NO
SI	144	1	43		1				Alto	NO
NO	145	0	27					1	Urgente	NO
SI	146	0	0		1				Urgente	SI
NO	147	0	21			1			Urgente	NO
NO	147	0	21			1			Urgente	NO
SI	147	0	21	1					Urgente	NO
SI	148	0	13		1				Urgente	NO
SI	149	1	28	1					Alto	NO
SI	149	1	28	1					Alto	NO
SI	150	1	31		1				Alto	NO

NO	150	1	31			1			Alto	NO
DISCUTIBLE	150	1	31			1			Alto	NO
DISCUTIBLE	150	1	31			1			Alto	NO
SI	151	1	2	1					Alto	NO
SI	152	1	7		1				Alto	NO
SI	153	1	15		1				Alto	NO
SI	154	1	1		1				Alto	SI
SI	154	1	1		1				Alto	SI
NO	155	1	24					1	Alto	NO
SI	156	3	94					1	Medio	NO
NO	157	1	2			1			Alto	NO
NO	158	1	2					1	Alto	NO
NO	158	1	2					1	Alto	NO
SI	159	1	76					1	Alto	NO
SI	160	1	24		1				Alto	NO
SI	161	3	25	1					Medio	NO
SI	162	0	52		1				Urgente	NO
SI	163	0	5		1				Urgente	NO
DISCUTIBLE	164	3	52					1	Medio	NO
DISCUTIBLE	164	3	52					1	Medio	NO
DISCUTIBLE	165	2	5			1			Alto	NO
DISCUTIBLE	166	3	5			1			Medio	NO
SI	167	3	17		1				Medio	NO
SI	168	1	3	1					Alto	NO
SI	169	1	7	1					Alto	NO
SI	169	1	7		1				Alto	NO
NO	170	1	24					1	Alto	NO
NO	170	1	24					1	Alto	NO
NO	170	1	24					1	Alto	NO
SI	171	1	3	1					Alto	NO
SI	172	1	3	1					Alto	NO
SI	173	1	1		1				Alto	SI
SI	173	1	1		1				Alto	SI
SI	174	1	11		1				Alto	NO
NO	175	3	10					1	Medio	NO
NO	175	3	10					1	Medio	NO
SI	176	3	0	1					Medio	SI
SI	177	3	40		1				Medio	NO
SI	178	3	0	1					Medio	SI
NO	179	5	19				1		Bajo	NO
NO	180	2	5				1		Alto	NO
SI	180	2	5		1				Alto	NO
NO	180	2	5					1	Alto	NO

SI	181	1	14	1					Alto	NO
SI	181	1	14		1				Alto	NO
SI	181	1	14		1				Alto	NO
DISCUTIBLE	182	1	0					1	Alto	SI
SI	183	5	6	1					Bajo	NO
SI	183	5	6	1					Bajo	NO
SI	184	5	5		1				Bajo	SI
SI	185	5	6		1				Bajo	NO
SI	186	1	1	1					Alto	SI
SI	187	2	1	1					Alto	SI
SI	188	8	12					1	Bajo	NO
SI	188	8	12					1	Bajo	NO
SI	189	1	12		1				Alto	NO
NO	190	1	4					1	Alto	NO
SI	191	1	4		1				Alto	NO
SI	192	0	68	1					Urgente	NO
NO	193	1	1					1	Alto	SI
SI	194	3	22		1				Medio	NO
SI	195	1	7		1				Alto	NO
NO	196	3	17					1	Medio	NO
NO	197	3	12					1	Medio	NO
DISCUTIBLE	198	1	11				1		Alto	NO
DISCUTIBLE	198	1	11				1		Alto	NO
SI	198	1	11	1					Alto	NO
SI	199	1	4		1				Alto	NO
DISCUTIBLE	200	5	1					1	Bajo	SI
NO	201	4	3					1	Medio	SI
SI	202	4	4		1				Medio	SI
SI	203	1	22		1				Alto	NO
DISCUTIBLE	204	1	32					1	Alto	NO
SI	205	1	53		1				Alto	NO
SI	206	1	28	1					Alto	NO
SI	207	1	5		1				Alto	NO
SI	208	3	0	1					Medio	SI
SI	209	3	66		1				Medio	NO
SI	210	2	2	1					Alto	SI
NO	210	2	2					1	Alto	SI
NO	211	1	43					1	Alto	NO
NO	212	1	8					1	Alto	NO
SI	213	1	30		1				Alto	NO
SI	214	0	20		1				Urgente	NO
SI	215	1	1	1					Alto	SI
SI	216	1	1	1					Alto	SI

SI	216	1	1	1					Alto	SI
SI	217	3	47		1				Medio	NO
DISCUTIBLE	218	3	20		1				Medio	NO
NO	219	4	19					1	Medio	NO
NO	220	1	16				1		Alto	NO
SI	221	1	29		1				Alto	NO
SI	222	1	40		1				Alto	NO
NO	223	1	1				1		Alto	SI
NO	224	1	0				1		Alto	SI
SI	225	1	11		1				Alto	NO
NO	226	1	11			1			Alto	NO
NO	227	1	8					1	Alto	NO
SI	228	1	6	1					Alto	NO
SI	229	1	12		1				Alto	NO
NO	230	1	21				1		Alto	NO
NO	231	1	2					1	Alto	NO
NO	231	1	2					1	Alto	NO
NO	232	1	19					1	Alto	NO
NO	232	1	19					1	Alto	NO
NO	233	1	8					1	Alto	NO
NO	234	3	38				1		Medio	NO
NO	234	3	38				1		Medio	NO
NO	234	3	38				1		Medio	NO
NO	235	3	38					1	Medio	NO
SI	236	1	1		1				Alto	SI
DISCUTIBLE	237	1	14			1			Alto	NO
NO	238	1	1				1		Alto	SI
SI	239	1	21	1					Alto	NO
SI	240	1	6		1				Alto	NO
SI	241	1	6		1				Alto	NO
SI	242	1	12	1					Alto	NO
SI	243	1	6	1					Alto	NO
SI	244	1	6	1					Alto	NO
SI	245	1	12	1					Alto	NO
SI	246	1	7		1				Alto	NO
NO	247	1	6			1			Alto	NO
SI	248	1	5	1					Alto	NO
NO	249	1	5					1	Alto	NO
NO	250	1	5			1			Alto	NO
SI	251	1	6		1				Alto	NO
NO	252	3	69					1	Medio	NO
NO	253	1	2					1	Alto	NO
NO	254	0	1					1	Urgente	NO

NO	255	1	1			1			Alto	SI
NO	256	1	12					1	Alto	NO
SI	257	1	6		1				Alto	NO
SI	257	1	6	1					Alto	NO
SI	257	1	6		1				Alto	NO
SI	258	1	5	1					Alto	NO
SI	258	1	5					1	Alto	NO
SI	258	1	5					1	Alto	NO
SI	258	1	5	1					Alto	NO
NO	259	0	11					1	Urgente	NO
NO	259	0	11					1	Urgente	NO
NO	259	0	11					1	Urgente	NO
SI	260	1	4	1					Alto	NO
SI	261	0	6	1					Urgente	NO
SI	262	3	0		1				Medio	SI
SI	263	1	35	1					Alto	NO
SI	264	1	22	1					Alto	NO
SI	264	1	22	1					Alto	NO
NO	265	1	0				1		Alto	SI
NO	266	32	0					1	Bajo	SI
NO	266	32	0				1		Bajo	SI
NO	267	0	0					1	Urgente	SI
DISCUTIBLE	268	1	14			1			Alto	NO
SI	269	1	4		1				Alto	NO
SI	270	3	12		1				Medio	NO
NO	271	3	12				1		Medio	NO
SI	271	3	12			1			Medio	NO
SI	272	3	14					1	Medio	NO
NO	272	3	14			1			Medio	NO
SI	273	3	12	1					Medio	NO
SI	274	0	0	1					Urgente	SI
NO	275	0	32				1		Urgente	NO
SI	275	1	32	1					Alto	NO
SI	276	1	7		1				Alto	NO
SI	277	1	41		1				Alto	NO
NO	278	1	25				1		Alto	NO
SI	279	1	7		1				Alto	NO
SI	280	2	14		1				Alto	NO
NO	281	2	0					1	Alto	SI
SI	282	2	21		1				Alto	NO
SI	282	1	21	1					Alto	NO
NO	283	1	5				1		Alto	NO
SI	284	1	9	1					Alto	NO

SI	284	1	9	1					Alto	NO
NO	284	1	9			1			Alto	NO
DISCUTIBLE	285	1	9					1	Alto	NO
SI	286	1	17		1				Alto	NO
SI	287	1	2		1				Alto	NO
SI	288	1	5	1					Alto	NO
NO	289	1	12			1			Alto	NO
NO	290	1	56		1				Alto	NO
SI	291	1	3		1				Alto	NO
SI	292	1	1		1				Alto	SI
DISCUTIBLE	292	1	1					1	Alto	SI
DISCUTIBLE	293	1	6		1				Alto	NO
DISCUTIBLE	293	1	6		1				Alto	NO
SI	294	3	5					1	Medio	NO
DISCUTIBLE	295	3	56		1				Medio	NO
SI	295 B	3	42		1				Medio	NO
SI	295 B	3	42		1				Medio	NO
SI	295 B	3	42		1				Medio	NO
SI	295 B	3	42		1				Medio	NO
SI	296	1	0					1	Alto	SI
SI	297	1	2	1					Alto	NO
NO	298	1	9				1		Alto	NO
SI	299	2	6	1					Alto	NO
NO	300	4	60					1	Medio	NO
DISCUTIBLE	300	4	60					1	Medio	NO
SI	301	6	37		1				Bajo	NO
SI	301	6	37		1				Bajo	NO
SI	302	6	17		1				Bajo	NO
DISCUTIBLE	303	6	6				1		Bajo	SI
SI	304	1	11		1				Alto	NO
SI	304	1	11	1					Alto	NO
SI	304	1	11		1				Alto	NO
SI	304	1	11		1				Alto	NO
SI	304	1	11		1				Alto	NO
DISCUTIBLE	304	1	11				1		Alto	NO
SI	305	1	13		1				Alto	NO
SI	305	1	13		1				Alto	NO
SI	305	1	13					1	Alto	NO
SI	306	1	9		1				Alto	NO
SI	306	1	9		1				Alto	NO

SI	307	1	6	1					Alto	NO
SI	308	1	58		1				Alto	NO
SI	309	1	58		1				Alto	NO
DISCUTIBLE	310	1	43		1				Alto	NO
SI	311	1	6		1				Alto	NO
SI	311	1	6		1				Alto	NO
SI	312	1	17		1				Alto	NO
NO	313	1	13					1	Alto	NO
SI	314	1	3		1				Alto	NO
SI	315	1	6		1				Alto	NO
SI	316	1	6		1				Alto	NO
SI	317	1	6		1				Alto	NO
SI	318	1	23	1					Alto	NO
NO	319	1	10					1	Alto	NO
DISCUTIBLE	320	sin resp	sin resp					1	Bajo	NO
NO	320	sin resp	sin resp				1		Bajo	NO
SI	321	1	13		1				Alto	NO
SI	322	1	3		1				Alto	NO
SI	323	0	3	1					Urgente	NO
SI	324	0	3	1					Urgente	NO
SI	325	0	3	1					Urgente	NO
SI	325	0	3	1					Urgente	NO
SI	325	0	3	1					Urgente	NO
SI	326	0	3	1					Urgente	NO
SI	326	0	3	1					Urgente	NO
SI	326	0	3	1					Urgente	NO
SI	326	0	3	1					Urgente	NO
SI	327	0	3	1					Urgente	NO
SI	327	0	3	1					Urgente	NO
SI	328	0	3	1					Urgente	NO
SI	328	0	3	1					Urgente	NO
SI	328	0	3	1					Urgente	NO
SI	329	0	3	1					Urgente	NO
SI	329	0	3	1					Urgente	NO
SI	329	0	3	1					Urgente	NO
SI	330	0	3	1					Urgente	NO
SI	330	0	3	1					Urgente	NO
SI	331	0	3	1					Urgente	NO
SI	331	0	3	1					Urgente	NO
SI	331	0	3	1					Urgente	NO
SI	332	0	3	1					Urgente	NO
SI	332	0	3	1					Urgente	NO
SI	333	0	6		1				Urgente	NO
SI	334	0	6		1				Urgente	NO

DISCUTIBLE	335	2	36			1			Alto	NO
DISCUTIBLE	335	2	36			1			Alto	NO
DISCUTIBLE	336	sin resp	sin resp			1			Bajo	NO
SI	337	2	30		1				Alto	NO
SI	337	2	30		1				Alto	NO
NO	337	2	30				1		Alto	NO
SI	338	1	39	1					Alto	NO
SI	338	1	39	1					Alto	NO
NO	339	1	25					1	Alto	NO
NO	339	1	25					1	Alto	NO
NO	340	1	28					1	Alto	NO
SI	341	1	34		1				Alto	NO
SI	342	3	7		1				Medio	NO
SI	343	3	10		1				Medio	NO
SI	344	3	33		1				Medio	NO
SI	345	1	37		1				Alto	NO
SI	346	1	24					1	Alto	NO
DISCUTIBLE	347	1	14					1	Alto	NO
DISCUTIBLE	347	1	14					1	Alto	NO
SI	348	1	5		1				Alto	NO
SI	348	1	5		1				Alto	NO
SI	349	0	16	1					Urgente	NO
SI	350	1	2					1	Alto	NO
DISCUTIBLE	351	1	7					1	Alto	NO
NO	352	1	8			1			Alto	NO
SI	353	1	8		1				Alto	NO
DISCUTIBLE	354	1	14					1	Alto	NO
SI	355	1	7	1					Alto	NO
SI	356	1	13		1				Alto	NO
DISCUTIBLE	357	1	7					1	Alto	NO
SI	358	1	13		1				Alto	NO
SI	359	0	4		1				Urgente	NO
SI	360	0	22		1				Urgente	NO
NO	361	0	4					1	Urgente	NO
SI	362	1	4		1				Alto	NO
NO	362	1	4				1		Alto	NO
NO	363	1	4					1	Alto	NO
SI	364	1	2		1				Alto	NO
SI	364	1	2		1				Alto	NO
SI	365	1	2		1				Alto	NO
NO	366	1	21			1			Alto	NO
SI	367	1	4					1	Alto	NO
SI	368	1	15		1				Alto	NO

SI	369	2	1		1				Alto	SI
SI	370	1	7		1				Alto	NO
SI	371	2	5		1				Alto	NO
DISCUTIBLE	372	1	13					1	Alto	NO
DISCUTIBLE	372	1	13					1	Alto	NO
SI	373	sin resp	sin resp		1				Bajo	NO
SI	374	1	1	1					Alto	SI
DISCUTIBLE	375	1	13					1	Alto	NO
DISCUTIBLE	376	1	12					1	Alto	NO
NO	377	1	7					1	Alto	NO
DISCUTIBLE	378	1	10		1				Alto	NO
SI	379	sin resp	sin resp		1				Bajo	NO
SI	379	sin resp	sin resp		1				Bajo	NO
SI	379	sin resp	sin resp		1				Bajo	NO
SI	379	sin resp	sin resp		1				Bajo	NO
SI	379	sin resp	sin resp					1	Bajo	NO
SI	380	1	7					1	Alto	NO
NO	381	3	6					1	Medio	NO
DISCUTIBLE	382	sin resp	sin resp					1	Bajo	NO
NO	383	3	4					1	Medio	NO
SI	384	1	5					1	Alto	NO
SI	384	2	5		1				Alto	NO
SI	385	sin resp	sin resp		1				Bajo	NO
SI	386	sin resp	sin resp		1				Bajo	NO
SI	387	1	1		1				Alto	SI
SI	388	1	1		1				Alto	SI
SI	389	1	1					1	Alto	SI
NO	390	1	7			1			Alto	NO
SI	391	1	7	1					Alto	NO
SI	392	sin resp	sin resp					1	Bajo	NO
SI	392	sin resp	sin resp		1				Bajo	NO
NO	393	1	0				1		Alto	SI
NO	394	1	2				1		Alto	NO
NO	395	0	11					1	Urgente	NO
NO	396	sin resp	sin resp				1		Bajo	NO
SI	397	sin resp	sin resp		1				Bajo	NO
SI	398	1	0		1				Alto	SI
DISCUTIBLE	400	1	0		1				Alto	SI
DISCUTIBLE	401	sin resp	sin resp		1				Bajo	NO
<b>TOTAL</b>					<b>172</b>	<b>247</b>	<b>45</b>	<b>37</b>	<b>156</b>	
(%)					<b>26,</b>	<b>37,</b>	<b>6,</b>	<b>5,</b>	<b>23,</b>	
					<b>2</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	



## II. Ángel Cruchaga

Podría detectarse con BIM	N° RDI	Tiempo de Respuesta	Clasificación					Respuesta a tiempo (A)	Respuesta a tiempo (B)
			I	II	III	IV	V		
DISCUTIBLE	1	40					1	NO	NO
SI	2	14					1	NO	NO
NO	3	14			1			NO	NO
NO	4	14					1	NO	NO
NO	5	sin fecha resp				1		NO	SI
SI	6.1	1			1			SI	SI
NO	6.2	sin fecha resp					1	NO	SI
SI	7	sin fecha resp	1					NO	SI
SI	8.1	sin fecha resp		1				NO	SI
NO	8.2	sin fecha resp					1	NO	SI
SI	9	sin fecha resp		1				NO	SI
SI	10	sin fecha resp	1					NO	SI
SI	11.1	sin fecha resp		1				NO	SI
NO	11.2	sin fecha resp				1		NO	SI
SI	12	261		1				NO	NO
NO	13	sin fecha resp					1	NO	SI
NO	14	sin fecha resp				1		NO	SI
NO	15	25					1	NO	NO
SI	16	sin fecha resp	1					NO	SI
SI	17	3	1					NO	NO
DISCUTIBLE	18	sin fecha resp					1	NO	SI
SI	19	sin fecha resp	1					NO	SI
SI	20	sin fecha resp		1				NO	SI
SI	21	sin fecha resp		1				NO	SI
SI	22	7		1				NO	NO
SI	23	2		1				SI	SI
NO	24	1				1		SI	SI
NO	25	sin fecha resp				1		NO	SI
NO	26	sin fecha resp				1		NO	SI
SI	27	2	1					SI	SI
SI	28	1	1					SI	SI
NO	29	24				1		NO	NO
SI	30	0		1				SI	SI
SI	31	0	1					SI	SI
SI	32	0					1	SI	SI
SI	33	6		1				NO	NO
SI	34	6		1				NO	NO
SI	35	sin fecha resp		1				NO	SI
SI	36	sin fecha resp	1					NO	SI
SI	37	0	1					SI	SI
DISCUTIBLE	38	6				1		NO	NO

SI	39	sin fecha resp		1				NO	SI
SI	40	sin fecha resp	1					NO	SI
SI	41	153		1				NO	NO
DISCUTIBLE	42	11					1	NO	NO
NO	43	7					1	NO	NO
NO	44	0					1	SI	SI
DISCUTIBLE	45	0					1	SI	SI
NO	46	0					1	SI	SI
DISCUTIBLE	47	79					1	NO	NO
SI	48	79					1	NO	NO
NO	49	98					1	NO	NO
SI	50	8					1	NO	NO
DISCUTIBLE	51	sin fecha resp		1				NO	SI
NO	52	sin fecha resp					1	NO	SI
DISCUTIBLE	53	19					1	NO	NO
SI	54	3		1				NO	NO
NO	55	3					1	NO	NO
DISCUTIBLE	56	0					1	SI	SI
NO	57	0					1	SI	SI
NO	58	1					1	SI	SI
NO	59	1					1	SI	SI
SI	60	1	1					SI	SI
DISCUTIBLE	61	1					1	SI	SI
SI	62	1	1					SI	SI
NO	63	1					1	SI	SI
NO	64	0					1	SI	SI
NO	65	0					1	SI	SI
DISCUTIBLE	66	25					1	NO	NO
SI	67	1		1				SI	SI
SI	68	1	1					SI	SI
DISCUTIBLE	69	sin fecha resp		1				NO	SI
SI	70	2		1				SI	SI
NO	71	2					1	SI	SI
SI	72	2		1				SI	SI
DISCUTIBLE	73	2					1	SI	SI
DISCUTIBLE	74	sin fecha resp					1	NO	SI
DISCUTIBLE	75	2		1				SI	SI
SI	75			1				SI	SI
SI	76	2		1				SI	SI
SI	77	2		1				SI	SI
SI	78	2		1				SI	SI
SI	79	58		1				NO	NO
NO	80	0					1	SI	SI
NO	81	1	1					SI	SI
NO	82	1					1	SI	SI

SI	83	1	1					SI	SI
SI	84	10	1					NO	NO
NO	85	0					1	SI	SI
SI	86	6		1				NO	NO
SI	87	2		1				SI	SI
SI	88	1		1				SI	SI
DISCUTIBLE	89	2					1	SI	SI
DISCUTIBLE	90	0		1				SI	SI
SI	91	8	1					NO	NO
NO	92	4					1	NO	NO
SI	93	14		1				NO	NO
DISCUTIBLE	94	1					1	SI	SI
SI	95	1					1	SI	SI
SI	96	81					1	NO	NO
SI	97	4	1					NO	NO
SI	98	4					1	NO	NO
SI	99	3	1					NO	NO
SI	100	0	1					SI	SI
SI	101	1		1				SI	SI
SI	102	0	1					SI	SI
NO	103	3			1			NO	NO
NO	104	3					1	NO	NO
DISCUTIBLE	105	3			1			NO	NO
DISCUTIBLE	106	1			1			SI	SI
SI	107	sin fecha resp		1				NO	SI
SI	108	0		1				SI	SI
NO	109	77					1	NO	NO
NO	110	2				1		SI	SI
NO	111	2					1	SI	SI
SI	112	4	1					NO	NO
DISCUTIBLE	113	100					1	NO	NO
NO	114	1					1	SI	SI
SI	115	1					1	SI	SI
NO	116	1			1			SI	SI
NO	117	42					1	NO	NO
NO	118	1					1	SI	SI
SI	119	45					1	NO	NO
SI	120	74		1				NO	NO
SI	121	sin fecha resp	1					NO	SI
NO	122	1					1	SI	SI
DISCUTIBLE	123	19					1	NO	NO
NO	124	21			1			NO	NO
NO	125	1					1	SI	SI
DISCUTIBLE	126	sin fecha resp					1	NO	SI
SI	127	sin fecha resp	1					NO	SI

NO	128	59					1	NO	NO
SI	129	57		1				NO	NO
SI	130	57		1				NO	NO
SI	131	57		1				NO	NO
SI	132	sin fecha resp	1					NO	SI
SI	133	1	1					SI	SI
SI	134	sin fecha resp		1				NO	SI
DISCUTIBLE	135	8					1	NO	NO
NO	136	1	1					SI	SI
SI	137	sin fecha resp			1			NO	SI
NO	138	3				1		NO	NO
SI	139	1		1				SI	SI
SI	140	1		1				SI	SI
DISCUTIBLE	141	47			1			NO	NO
NO	142	47			1			NO	NO
NO	143	1					1	SI	SI
SI	144	0		1				SI	SI
SI	145	42	1					NO	NO
SI	146	42	1					NO	NO
SI	147	39	1					NO	NO
SI	148	39		1				NO	NO
SI	149	2					1	SI	SI
SI	150	2		1				SI	SI
DISCUTIBLE	151	2			1			SI	SI
SI	152	36		1				NO	NO
SI	153	13		1				NO	NO
NO	154	3					1	NO	NO
SI	155	3		1				NO	NO
SI	156	3			1			NO	NO
SI	157	3		1				NO	NO
SI	158	17		1				NO	NO
SI	159	2	1					SI	SI
NO	160	16					1	NO	NO
NO	161	16					1	NO	NO
DISCUTIBLE	162	15					1	NO	NO
SI	163	16	1					NO	NO
SI	164	14		1				NO	NO
SI	165	sin fecha resp	1					NO	SI
NO	166	sin fecha resp					1	NO	SI
NO	167	14			1			NO	NO
NO	168	1					1	SI	SI
NO	169	4					1	NO	NO
SI	170	11		1				NO	NO
NO	171	2					1	SI	SI
SI	172	19	1					NO	NO

SI	173	3	1					NO	NO
NO	174	1					1	SI	SI
NO	175	0			1			SI	SI
SI	176	2		1				SI	SI
SI	177	6	1					NO	NO
NO	178	1					1	SI	SI
NO	179	1				1		SI	SI
NO	180	sin fecha resp				1		NO	SI
NO	181	12					1	NO	NO
SI	182	0	1					SI	SI
NO	183	11					1	NO	NO
DISCUTIBLE	184	11		1				NO	NO
DISCUTIBLE	185	sin fecha resp			1			NO	SI
SI	186	sin fecha resp		1				NO	SI
SI	187	2		1				SI	SI
SI	188	2		1				SI	SI
SI	189	sin fecha resp	1					NO	SI
SI	190	sin fecha resp		1				NO	SI
SI	191	sin fecha resp		1				NO	SI
SI	192	1		1				SI	SI
SI	193	3		1				NO	NO
SI	194	sin fecha resp		1				NO	SI
SI	195	1		1				SI	SI
NO	196	2					1	SI	SI
SI	197	39					1	NO	NO
SI	198	sin fecha resp		1				NO	SI
SI	199	0		1				SI	SI
SI	200	4					1	NO	NO
NO	201	9			1			NO	NO
DISCUTIBLE	202	6					1	NO	NO
DISCUTIBLE	203	6		1				NO	NO
SI	204	6		1				NO	NO
SI	205	6		1				NO	NO
SI	206	6					1	NO	NO
DISCUTIBLE	207	sin fecha resp					1	NO	SI
SI	208	0	1					SI	SI
SI	209	5	1					NO	NO
SI	210	36		1				NO	NO
NO	211	13					1	NO	NO
SI	212	6	1					NO	NO
DISCUTIBLE	213	0		1				SI	SI
SI	214	sin fecha resp		1				NO	SI
SI	215	5		1				NO	NO
SI	216	sin fecha resp		1				NO	SI
SI	217	2		1				SI	SI

NO	218	4				1	NO	NO
NO	219	sin fecha resp				1	NO	SI
DISCUTIBLE	220	1			1		SI	SI
NO	221	1				1	SI	SI
NO	222	42				1	NO	NO
SI	223	sin fecha resp	1				NO	SI
DISCUTIBLE	224	42		1			NO	NO
DISCUTIBLE	225	sin fecha resp		1			NO	SI
NO	226	sin fecha resp			1		NO	SI
SI	227	1		1			SI	SI
DISCUTIBLE	228	sin fecha resp			1		NO	SI
DISCUTIBLE	229	sin fecha resp				1	NO	SI
NO	230	4				1	NO	NO
SI	231	4	1				NO	NO
DISCUTIBLE	232	4			1		NO	NO
NO	233	4				1	NO	NO
NO	234	4				1	NO	NO
SI	235	4		1			NO	NO
SI	236	sin fecha resp		1			NO	SI
SI	237	4		1			NO	NO
NO	238	sin fecha resp				1	NO	SI
NO	239	8		1			NO	NO
DISCUTIBLE	240	8		1			NO	NO
DISCUTIBLE	241	8		1			NO	NO
SI	242	7		1			NO	NO
SI	243	4		1			NO	NO
SI	244	sin fecha resp		1			NO	SI
SI	245	2		1			SI	SI
SI	246	2		1			SI	SI
NO	247	9				1	NO	NO
NO	248	sin fecha resp				1	NO	SI
NO	249	1				1	SI	SI
DISCUTIBLE	250	sin fecha resp				1	NO	SI
SI	251	1		1			SI	SI
SI	252	sin fecha resp		1			NO	SI
DISCUTIBLE	253	sin fecha resp		1			NO	SI
NO	254	sin fecha resp				1	NO	SI
SI	255	sin fecha resp				1	NO	SI
SI	256	7		1			NO	NO
NO	257	sin fecha resp				1	NO	SI
NO	258	1				1	SI	SI
DISCUTIBLE	259	sin fecha resp				1	NO	SI
SI	260	sin fecha resp		1			NO	SI
DISCUTIBLE	261	sin fecha resp		1			NO	SI
DISCUTIBLE	262	0		1			SI	SI

NO	263	1					1	SI	SI
NO	264	1					1	SI	SI
SI	265	sin fecha resp			1			NO	SI
NO	266	sin fecha resp			1			NO	SI
NO	267	1					1	SI	SI
DISCUTIBLE	268	sin fecha resp					1	NO	SI
NO	269	1					1	SI	SI
NO	270	1					1	SI	SI
DISCUTIBLE	271	0		1				SI	SI
SI	272	0	1					SI	SI
<b>TOTAL</b>			<b>45</b>	<b>95</b>	<b>21</b>	<b>19</b>	<b>96</b>		
(%)			<b>16,3</b>	<b>34,4</b>	<b>7,6</b>	<b>6,9</b>	<b>34,8</b>		