

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**POTENCIANDO LA CAPACIDAD DE ANÁLISIS Y  
COMUNICACIÓN DE LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN,  
MEDIANTE HERRAMIENTAS VIRTUALES BIM 4D DURANTE LA  
ETAPA DE PLANIFICACIÓN**

Tesis para optar el Título de **INGENIERO CIVIL**, que presenta el bachiller:

**Raúl Ralph Eyzaguirre Vela**

**ASESOR:**  
**Ing. Danny Eduardo Murguía Sanchez**

Lima, noviembre de 2015

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de tesis introduce los conceptos generales relacionados a la metodología BIM, describiendo y enfocándose en la comunicación y gestión de la información, en el marco de la industria de la construcción del Perú.

Asimismo, se analiza el valor agregado en la información suministrada por herramientas BIM-4D, orientado, no solo a beneficios cualitativos provenientes de la visualización del proyecto, sino principalmente en los atributos que brinda un modelo virtual, en el que se apoyan distintas actividades, procesos y técnicas, correspondientes a una correcta y efectiva planificación; desde, obtención de metrados y logística de materiales; hasta, programaciones diarias y semanales, asignación de espacios durante la construcción (“site-layout”), análisis de los procesos constructivos, identificación e implementación de plan de seguridad en obra y toma de decisiones anticipadas por parte de los participantes del proyecto de construcción.

Se presenta un caso de aplicación BIM en un proyecto de edificaciones, llevando a la práctica lo planteado a lo largo del documento. El estudio evidencia aportes significativos en la etapa de planificación, logrando incrementar la confiabilidad de los planes, presentando oportunas y anticipadas decisiones, y contribuyendo a la constructabilidad, con el propósito de optimizar los proyectos haciéndolos más eficientes y sustentable.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>1</b>
1.1	<i>RESUMEN</i>	1
1.2	<i>INTRODUCCIÓN</i>	1
1.3	<i>ANTECEDENTES</i>	2
1.3.1	<i>Encuesta: Conocimientos BIM en la industria de la construcción</i>	3
1.4	<i>CONCEPTO BIM</i>	4
1.5	<i>BREVE HISTORIA BIM</i>	6
1.6	<i>CIFE&amp;VDC (VIRTUAL DESIGN CONSTRUCTION)</i>	7
<b>2</b>	<b>INTEGRACIÓN BIM EN LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN</b>	<b>9</b>
2.1	<i>FLUJO DE INFORMACIÓN EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN, OPTIMIZANDO LA INTERFACE DISEÑO-CONSTRUCCIÓN</i>	9
2.2	<i>IMPACTO EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN</i>	11
2.3	<i>VINCULACIÓN DEL CONCEPTO BIM CON LA CONSTRUCTABILIDAD</i>	12
2.4	<i>VINCULACIÓN DEL CONCEPTO BIM CON LA PLANIFICACIÓN</i>	14
<b>3</b>	<b>HERRAMIENTAS BIM 4D</b>	<b>16</b>
3.1	<i>CONCEPTO</i>	16
3.2	<i>VISUALIZACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN: HERRAMIENTAS BIM 4D</i>	17
3.3	<i>USOS Y BENEFICIOS DE LAS HERRAMIENTAS BIM 4D</i>	18
3.3.1	<i>Visualización de la etapa constructiva.</i>	18
3.3.2	<i>Diseños ilustrativos de las áreas de trabajo "site-layouts".</i>	19
3.3.3	<i>Reconocimiento de posibles riesgos durante la construcción.</i>	19
3.3.4	<i>Confiabilidad, control y análisis del cronograma maestro y programaciones de trabajo.</i>	21
3.3.5	<i>Logística de materiales y equipos.</i>	22
<b>4</b>	<b>INTEGRACIÓN BIM 4D Y LEAN CONSTRUCTION</b>	<b>24</b>
4.1	<i>INCORPORACIÓN DE HERRAMIENTAS BIM-4D A LA FILOSOFIA "LEAN CONSTRUCTION"</i>	24
<b>5</b>	<b>IMPLEMENTACIÓN Y NUEVOS PROCESOS BIM</b>	<b>29</b>

5.1	<i>SOFTWARE PARA EL DESARROLLO DE MODELOS BIM</i>	29
5.1.1	<i>Trabajo centralizado mediante modelos vinculados</i>	31
5.1.2	<i>Trabajo centralizado mediante "Worksets"</i>	33
5.1.3	<i>Interoperabilidad</i>	34
5.2	<i>SOFTWARE INTEGRADOR BIM PARA EL DESARROLLO DE MODELO 4D</i>	36
5.3	<i>ESTANDARIZACIÓN</i>	37
5.3.1	<i>Estandarización interna</i>	38
5.3.2	<i>Estandarización externa: interoperabilidad entre software</i>	39
5.4	<i>ESQUEMA DE FASES EN UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN</i>	40
5.4.1	<i>Detalle de la fase " Desarrollo del Diseño y Planificación"</i>	41
5.5	<i>IMPLEMENTACIÓN DE GESTIÓN BIM</i>	45
5.6	<i>DEFINICIÓN DE LOS PROCESOS BIM</i>	49
5.6.1	<i>Procesos BIM</i>	50
5.7	<i>ESQUEMA GENERAL DE PROCESOS</i>	61
<b>6</b>	<b>CASO DE ESTUDIO: APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS INTEGRADAS BIM 4D EN PROYECTO DE CONSTRUCCION</b>	<b>62</b>
6.1	<i>PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO</i>	62
6.2	<i>CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO</i>	62
6.3	<i>ESTRATEGIA BIM</i>	63
6.3.1	<i>Objetivos del modelado</i>	63
6.3.2	<i>Propósito</i>	64
6.3.3	<i>Recursos tecnológicos</i>	64
6.3.4	<i>Estructura Organizacional</i>	65
6.3.5	<i>Criterios de Modelado</i>	65
6.4	<i>GESTIÓN Y EJECUCIÓN BIM</i>	66
6.4.1	<i>Etapa de Diseño de Ingeniería</i>	66
6.4.2	<i>Etapa de Desarrollo del Diseño y Planificación</i>	66
6.5	<i>RESULTADOS DE LA EJECUCIÓN BIM</i>	71
6.6	<i>CONCLUSIONES DEL CASO DE ESTUDIO</i>	76
<b>7</b>	<b>DESAFIOS DE LA METODOLOGÍA BIM EN EL PERÚ</b>	<b>77</b>
7.1	<i>RESISTENCIA AL CAMBIO</i>	77

7.2	<i>EL CAMBIO DE CAD A BIM</i>	78
7.3	<i>ETAPA DE DISEÑO DIRECTAMENTE EN 3D</i>	79
7.4	<i>ESTÁNDARES</i>	79
7.5	<i>IMPLEMENTACIÓN Y ENTRENAMIENTO</i>	79
7.6	<i>INSTRUCCIÓN SUPERIOR EN LA PLANIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN MEDIANTE HERRAMIENTAS BIM-4D</i>	80
7.7	<i>PROVEEDORES COMPROMETIDOS CON BIM</i>	81
7.8	<i>COMO LLEVAR A OBRA EL BIM ELABORADO EN OFICINA</i>	81
7.9	<i>ACCESO REMOTO A INFORMACIÓN EN LA NUBE MEDIANTE INTERNET ("IN THE CLOUD")</i>	83
7.10	<i>TENDENCIAS BIM</i>	84
7.10.1	<i>Incorporación de la variable costo (5D)</i>	85
7.10.2	<i>Análisis de energía (Leed Certification):</i>	85
7.10.3	<i>Análisis estructural en base a un modelo de plataforma BIM</i>	85
<b>8</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>86</b>
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>92</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Fig. 1</b>	Diferencias entre la interface de diseño-construcción tradicional y moderna	2
<b>Fig. 2</b>	Principales causas de los problemas en un proyecto de construcción.	3
<b>Fig. 3</b>	Fundamentos de la metodología BIM.	5
<b>Fig. 4</b>	Centralización de la información mediante procesos BIM	5
<b>Fig. 5</b>	Niveles de adopción BIM en base a la cantidad de proyectos desarrollados con la tecnología BIM.	7
<b>Fig. 6</b>	Pilares de la filosofía VDC	8
<b>Fig. 7</b>	Distintas interpretaciones de los actores de un proyecto, debido a la incertidumbre generada por la información poco certera.	9
<b>Fig. 8</b>	Flujo de información en la industria de la construcción	10
<b>Fig. 9</b>	Indicadores del nivel de información en obra.	12
<b>Fig. 10</b>	Esfuerzo e impacto en costos en el proyecto mediante procesos tradicionales y BIM.	13
<b>Fig. 11</b>	Planificación orientada a la optimización de tiempo y recursos.	15
<b>Fig. 12</b>	Planificación maestra 4D en sótanos en proyecto Agora-Marcán	18
<b>Fig. 13</b>	Layout dinámico en etapa de vaciado de techo de sótanos.	19
	Obra Mara-Marcán	19
<b>Fig. 14</b>	Plan de seguridad, ubicación de barandas perimetrales y accesos de escalera a sótanos. Obra Mara-Marcán	20
<b>Fig. 15</b>	Plan de seguridad, acceso a descarga de materiales y señalización de vías ocupadas. Obra Mara-Marcán	21
<b>Fig. 16</b>	Tren de producción en 5 sectores. Obra Mara, torre Castillo-Marcán	22
<b>Fig. 17</b>	Ubicación de bomba estacionaria de concreto y tubería de impulsión en etapa de Sótanos. Obra Mara-Marcán	23
<b>Fig. 18</b>	Planificación semanal 4D, etapa de excavación de cimentaciones e inicio de encofrado de techo en sótanos. Obra Mara-Marcán	27
<b>Fig. 19</b>	Alternativas de sectorización mediante herramientas BIM-4D del proyecto Alba-Mara	28
<b>Fig. 20</b>	Integración BIM en el sistema Last Planner.	29
<b>Fig. 21</b>	Modelos BIM desarrollados en Revit de las especialidades de Estructuras, Arquitectura y ACI del proyecto AVA-Marcán	32
<b>Fig. 22</b>	Tren de modelado BIM en proyecto AVA-Marcán	33
<b>Fig. 23</b>	Sistema de trabajo basado en "Worksets".	33

<b>Fig. 24</b>	Aprovechando la clara distinción de tres torres independientes en el proyecto Mara, se pudo haber trabajado mediante “Worksets”.	34
<b>Fig. 25</b>	Interoperabilidad entre software BIM: Etabs y Revit	35
<b>Fig. 26</b>	Tabla de planificación desde Revit. Metrado de columnas y placas. Proyecto Mara-Marcán	35
<b>Fig. 27</b>	Interferencia detectada por Navisworks entre tubería contra incendio y alimentadores eléctricos. Proyecto Mara-Marcán	36
<b>Fig. 28</b>	Recorrido virtual en Navisworks en sótanos del proyecto Mara-Marcán	37
<b>Fig. 29</b>	Estandarización de la información en modelos BIM para resultados eficientes. Proyecto Alba-Marcán	38
<b>Fig. 30</b>	Interoperabilidad entre software BIM	40
<b>Fig. 31</b>	Planificación 4D de muros anclados mediante el uso de Navisworks. Proyecto Alba-Marcán.	43
<b>Fig. 32</b>	Presentación de opciones de sectorización de sótanos en obra Alba-Marcán. Se proyectó el modelo Revit en una pizarra acrílica, y conjuntamente se propusieron opciones de sectorización.	44
<b>Fig. 33</b>	Planteamiento del ingeniero Residente para la programación semanal mediante el uso de herramientas BIM. Obra Alba-Marcán	45
<b>Fig. 34</b>	Componentes de la implementación BIM	46
<b>Fig. 35</b>	Curva J de aprendizaje BIM	47
<b>Fig. 36</b>	Estados de madurez BIM	49
<b>Fig. 37</b>	Beneficios de implementar herramientas BIM-4D en la etapa de planificación.	63
<b>Fig. 38</b>	Estructura organizacional de obra.	65
<b>Fig. 39</b>	Comparativo visual entre modelo virtual y obra.	72
<b>Fig. 40</b>	Taller de capacitación de herramientas BIM en empresa Marcan	81
<b>Fig. 41</b>	Modelos asociados a planos mediante códigos QR, los cuales podrán ser visualizados mediante Smartphone, Tablet o Ipad.	83
<b>Fig. 42</b>	Álbum de fotos 3D entregadas a ingenieros de campo, maestros de obra y capataces en obra Mara-Marcán.	83
<b>Fig. 43</b>	Esquema de flujo de información en un proyecto de construcción mediante plataformas remotas. “In the Cloud”	84

## ANEXOS

- Anexo 1.** *Encuesta Conocimientos BIM en la industria de la construcción*
- Anexo 2.** *Esquema de procesos BIM*
- Anexo 3.** *Reunión Área de Desarrollo de Proyectos (ADP)*
- Anexo 4.** *Modelo de especialidad Arquitectura*
- Anexo 5.** *Modelo de especialidad Estructuras*
- Anexo 6.** *Modelo de especialidad de Instalaciones Sanitarias*
- Anexo 7.** *Modelo de especialidad de Instalaciones Eléctricas*
- Anexo 8.** *Modelo de especialidad de Instalaciones ACI*
- Anexo 9.** *Sesiones de coordinación BIM internas*
- Anexo 10.** *Lista de incompatibilidades de Estructuras y Arquitectura*
- Anexo 11.** *Sesiones de coordinación BIM con proyectistas*
- Anexo 12.** *Reporte de incompatibilidades de Instalaciones*
- Anexo 13.** *Proceso de sectorización en oficina central Marcan.*
- Anexo 14.** *Modelo sectorizado con metrados tipo A.*
- Anexo 15.** *Modelo sectorizado con metrados tipo B.*
- Anexo 16.** *Reuniones en obra analizando las opciones de sectorización.*
- Anexo 17.** *Plan de seguridad para obra.*
- Anexo 18.** *Plan de seguridad para vecinos.*
- Anexo 19.** *Planificación de espacios, equipos y obras provisionales.*
- Anexo 20.** *Proceso de modelado de planificación semanal 4D en etapa de sótanos.*
- Anexo 21.** *Planificación semanal 4D en etapa de sótanos.*
- Anexo 22.** *Presentación de sectorización de pisos superiores.*
- Anexo 23.** *Modelo sectorizado con metrados de pisos superiores*
- Anexo 24.** *Simulación 4D de tren de actividades de dos pisos consecutivos.*
- Anexo 25.** *Simulación 4D de tren de actividades en etapa de sótanos.*
- Anexo 26.** *Recorrido virtual mostrado en reunión de producción.*
- Anexo 27.** *Fotos comparativas: Real vs Modelo 3D*

- Anexo 28.** *Álbum imágenes 3D en obra*
- Anexo 29.** *Reunión de producción en obra Mara*
- Anexo 30.** *Medición general de productividad pre-BIM en pisos superiores (Carta Balance) – Fuente: Marcan*
- Anexo 31.** *Medición general de productividad post-BIM en pisos superiores (Carta Balance) – Fuente: Marcan*
- Anexo 32.** *Gráfico comparativo: Cantidad RFI preBIM vs RFI postBIM*
- Anexo 33.** *Horas hombre empleadas en el modelado 4D*
- Anexo 34.** *Cantidad por tipo de incompatibilidades encontradas*
- Anexo 35.** *Descripción de las fuentes de consulta*
- Anexo 36.** *Lista de índices de gravedad y costos asociados*
- Anexo 37.** *Procesos del Área de Desarrollo de Proyectos - Marcan*
- Anexo 38.** *Costo aproximado asignado a cada incompatibilidad encontrada antes de la obra con herramientas BIM.*

# 1 MARCO TEÓRICO

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Frente al creciente y firme desarrollo tecnológico, impulsado por la globalización, se presentan nuevos desafíos e impactos importantes para todas las unidades de negocio presentes en el Perú. Para llevar el paso de este continuo avance tecnológico, se necesita vencer la resistencia al cambio y abrir las puertas a la innovación, creando e incrementando el valor en los proyectos. Dicho esto, el sector construcción no puede quedar distante a las ventajas que brinda un mundo globalizado y en constante perfeccionamiento, de manera que, es incuestionable emprender nuevos esfuerzos en la adaptación del uso de las más avanzadas tecnologías informáticas, con el fin de optimizar la gestión y el flujo de información útil en la industria de la construcción.

En el Perú se evidencia poca motivación por invertir en investigación y un paulatino desarrollo del sector construcción. Los avances se han dado gracias a las mejoras en los flujos y procesos constructivos, sin embargo se ha dedicado muy poco trabajo a una implementación o mejora de tecnologías de gestión, las cuales ya se aplican en otros países desarrollados del mundo con éxito. Entre otros propósitos desarrollados posteriormente en este documento, estas nuevas estructuras de trabajo garantizarían una activa, continua y temprana integración de los grupos profesionales interdisciplinarios, que componen el equipo de trabajo en un proyecto de construcción, generando ahorros en tiempo y costo.

Según Alan Kay (1971), "La mejor forma de predecir el futuro es inventándolo". Actualmente las limitaciones que presentan las herramientas de visualización virtual basadas en Tecnologías e Información (TI), son mínimas, respecto al alcance en tecnología que requiere el sector construcción. Estas novedosas herramientas, brindan capacidades avanzadas de visualización y simulación beneficiando el flujo anticipado de información y simulando la realidad. (Rischmoller, 2002).

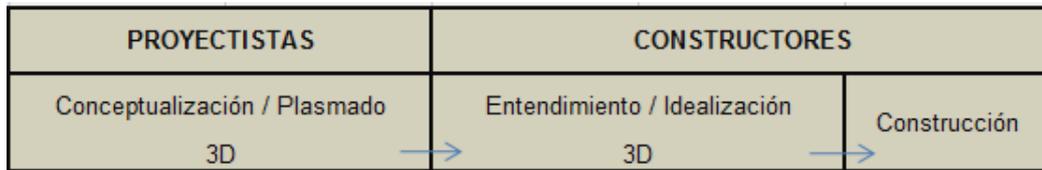
Al analizar la interface diseño-construcción en el Perú, los ingenieros proyectistas se imaginan un modelo en tres dimensiones, el cual lo plasman en un plano (dos dimensiones). Los ingenieros contratistas o constructores, entienden la idea basada en los planos y la proyectan en un modelo mental tridimensional, con el cual darán inicio la etapa de construcción. La idea es optimizar esta interface, minimizando la

ruta desde la conceptualización hasta la construcción, descartando pasos innecesarios, para lograr los objetivos propuestos.

- Interface tradicional



- Interface moderna



**Fig. 1** *Diferencias entre la interface de diseño-construcción tradicional y moderna.*  
*Fuente: Propia*

## 1.2 ANTECEDENTES

Debido a la poca y tardía integración interdisciplinaria involucrada en un proyecto de construcción, al constante y sostenido desarrollo de las tecnologías de información, a la necesidad de innovar e investigar en nuevas ideas de gestión de información, al aporte que el mundo demanda al ofrecer cambios y transiciones tecnológicas, y fundamentalmente, a los requerimientos de eficiencia, productividad, calidad, tiempo y costos que los proyectos de construcción exigen; por estas razones, el sector construcción no debe quedar ajeno a la proyección del crecimiento de la tecnología. Por lo tanto, es necesario implementar mejoras en la gestión de la construcción, aumentando la productividad de la mano de obra especializada y profesional, así como los medios y técnicas de planificación, con el fin de integrar a los participantes desde el inicio del proyecto, teniendo como base a la constructabilidad.

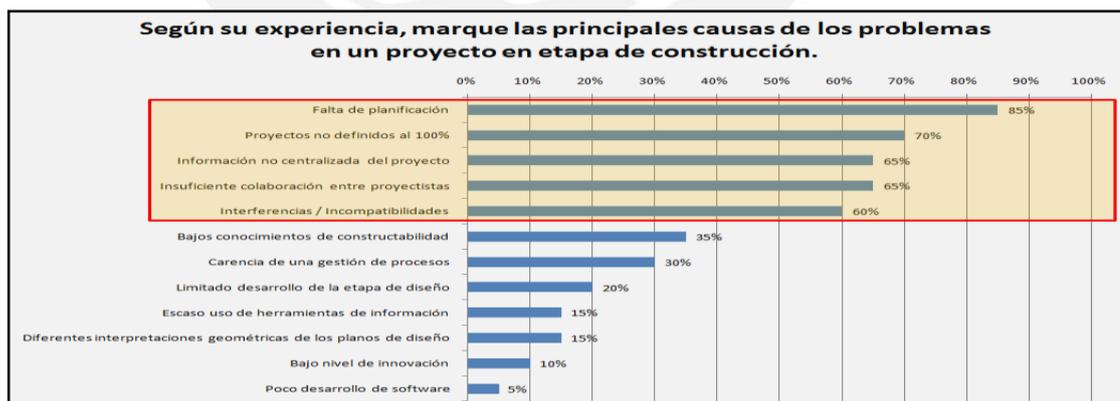
### 1.2.1 Encuesta: Conocimientos BIM en la industria de la construcción

Con la finalidad de conocer el estado actual de los conocimientos relacionados a la metodología BIM en la industria peruana de la construcción, se desarrolla una encuesta dirigida a 20 profesionales del medio, quienes cuentan con diferentes niveles de experiencia y funciones, en distintas empresas peruanas.

Este informe revela el bajo conocimiento de la industria en la metodología BIM, donde más del 50% de los entrevistados concluye que tiene conocimientos bajos a muy bajos, respecto a dicha tecnología. Sin embargo, más del 50% ha utilizado y conoce de herramientas BIM, sin saber que existe toda una metodología de trabajo detrás, con aun grandes beneficios por explorar.

Un punto resaltante se manifiesta en la pregunta que hace mención a las principales causas de los problemas en un proyecto en etapa de construcción, donde el 85% de los encuestados, atribuyen dicha preocupación a la limitada y subestimada etapa de planificación. Es decir, consideran que realizando una oportuna y adecuada planificación, podríamos disminuir considerablemente los inconvenientes en la etapa de ejecución.

Frente a estos resultados, claramente no exhaustivos, y además que considera una muestra pequeña de la industria; permite tener una primera impresión sobre la situación actual en la metodología BIM, e intentar percibir la visión en los próximos años.



**Fig. 2** Principales causas de los problemas en un proyecto de construcción.  
Fuente: Encuesta propia, Conocimientos BIM en la industria de la construcción.

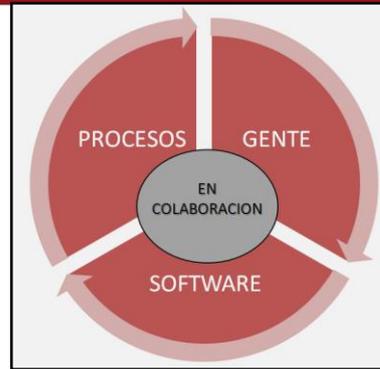
### Anexo 1. Encuesta Conocimientos BIM en la industria de la construcción

### 1.3 CONCEPTO BIM

El concepto BIM conlleva a numerosas definiciones según el enfoque y el contexto en el que se encuentre. Por un lado, se puede denominar BIM (Building Information Model) a un modelo geométrico tridimensional donde intervienen distintas disciplinas interrelacionadas con la capacidad de adquirir y proporcionar información a través de objetos parametrizados, lo cual además de facilitar una simple visualización de un proyecto de construcción, estima materiales, genera cualquier tipo de plano, compatibiliza todas las especialidades, entre otros. De igual modo, el mismo concepto BIM refiere al proceso de generar y aprovechar la información proveniente del modelo en las diferentes etapas de un proyecto de construcción. Sin embargo, para redondear la idea de lo que realmente define a BIM, es necesario establecer una nueva metodología y gestión de procesos asentada en herramientas tecnológicas, la cual será la plataforma para el desarrollo de un proyecto de construcción.

BIM permite crear y manejar información real, coordinada y confiable, con la que se podrá visualizar diseños, predecir las prestaciones con precisión y tomar decisiones en fases más tempranas del proceso. Hoy, profesionales de la construcción simplifican sus sistemas de trabajo, aumentan la productividad, creando proyectos de mayor calidad logrando una ventaja competitiva a nivel mundial.

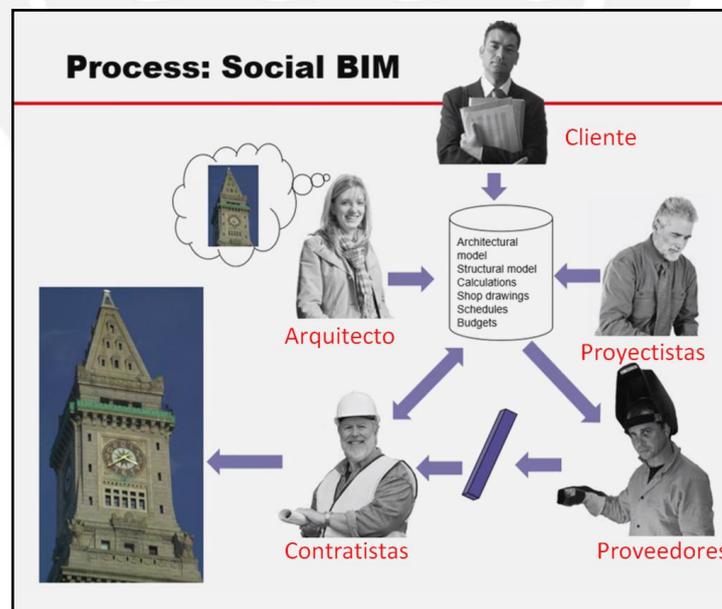
Este concepto no es únicamente la representación de modelos en 3D, refiere a campos muchos más amplios que la geometría propia, su gran funcionalidad dentro de un proyecto es debido a que permite darle información y propiedades a cada uno de los elementos de dibujo, generando internamente una base de datos completa del proyecto para ser utilizada por todos los integrantes. Datos como metrados de elementos estructurales y no estructurales; lista de materiales tales como tarrajeo o enchapes; información acerca del cronograma de obra, costos asociados a cada elemento; proveedores encargados de la manufactura; análisis de diseño estructural, energético, de flujo de aire y tuberías; reportes y documentación referida al proyecto; entre otras.



**Fig. 3** *Fundamentos de la metodología BIM.*  
Fuente: Propia

Teniendo como referencia la figura 3, definimos como "La Gestión BIM" al conjunto de estrategias, metodologías y gestión de procesos, cuyo objetivo es el de gestionar, mediante un modelo tridimensional parametrizado y utilizando eficazmente las herramientas BIM, un proyecto de construcción.

Por lo tanto, resultaría poco eficiente, aunque dependiendo de los objetivos y alcances del proyecto, generar un modelo BIM con toda su potencial información, aislarlo y no incorporarlo a un sistema de gestión con un enfoque BIM, en donde los principales beneficiados sean los Stakeholders, según indica el gráfico siguiente.



**Fig. 4** *Centralización de la información mediante procesos BIM*  
Fuente: *The Legal BIM Frontier*, McWilliams Rebeca (2014)

## 1.4 BREVE HISTORIA BIM

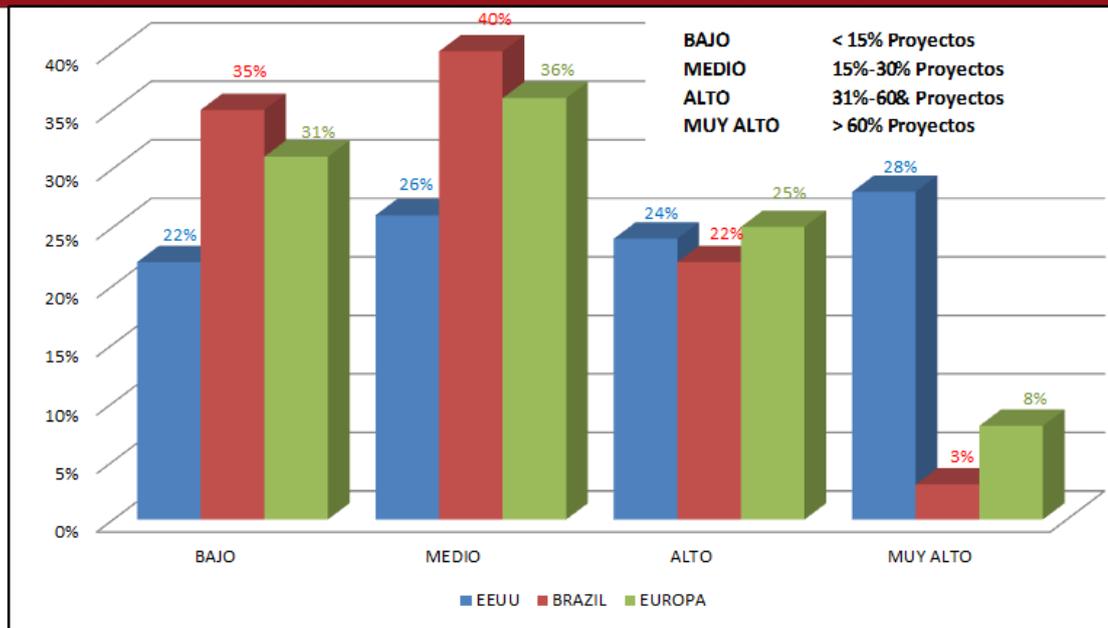
El concepto BIM se remonta al año 1962, donde el inventor estadounidense Douglas C. Engelbart da una visión diferente del futuro arquitectónico, asociando diseños basados en objetos con parámetros y una base de datos relacional. Años después, este concepto es tomado por la empresa Húngara, Graphisoft, la cual lanza en 1984, dos años después de su fundación, el primer software BIM en el mundo, denominado ArchiCAD. Cabe resaltar que este lanzamiento fue dos años después que la puesta en marcha del AutoCAD 2D.

Seguidamente, se generó una transición o evolución desde los tableros de dibujo y plumas al diseño en computadoras mediante software que simulaban un tablero de dibujo en el monitor. A pesar de ya existir un software que modelaba en 3D, esta se dio en mayor proporción hacia los modelos 2D, ya que resultaba más familiar para las personas que empezaban con esta nueva tecnología.

Finalizando los años 80's, la firma Graphisoft, cambiaría el paradigma de las personas, bajo la frase "Simula las edificaciones, no los tableros de dibujo". Es decir, cambia de CAD a BIM, lo que generó un cambio generacional en el diseño de edificaciones, asignándoles más dimensiones a estos, como documentación, costo, tiempo, etc.; estableciendo la diferencia entre modelos CAD 3D (los cuales derivaron fallidamente de los modelos CAD 2D), y los modelos BIM.

A partir del año 2005, según el estudio del Smart Market Report 2013, empieza a tomar fuerza los sistemas BIM, teniendo hoy en día varias alternativas en cuanto a plataformas y software para la implementación de este. Entre las más conocidas tenemos Autodesk Revit, ArchiCAD, Tekla, BentleySystems, Nemetschek-AllPlan y Vico Software.

Asimismo, hoy en día, Estados Unidos, Brasil y la mayoría de países europeos, están altamente comprometidos y enfocados en desarrollar productos y servicios utilizando la metodología BIM, según indica el gráfico siguiente.



**Fig. 5** Niveles de adopción BIM en base a la cantidad de proyectos desarrollados con la tecnología BIM.  
Fuente: Smart Market Report 2013

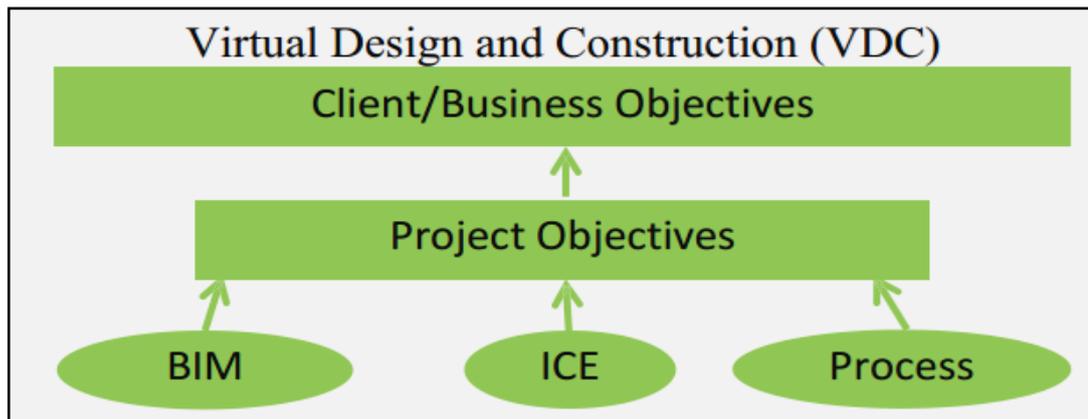
### 1.5 CIFE&VDC (VIRTUAL DESIGN CONSTRUCTION)

CIFE (Center for Integrated Facility Engineering), es un centro de investigación el cual busca apoyar las prácticas y gestiones de los proyectos de construcción basándose en un diseño virtual. Este centro, introdujo el término Diseño y Construcción Virtual (VDC) en el año 2001 en la Universidad de Stanford, como parte de la misión y los métodos de este. (Kunz and Fischer, 2012).

Según CIFE, el VDC propone la definición y alineamiento de metas de un proyecto, así como contribuir a la reducción de recursos innecesarios (tiempo, capacidad, inventarios) a lo largo de las etapas de definición, diseño e ingeniería, fabricación, instalación y entrega final, y así favorecer a la reducción de costos y tiempos.

Este sistema de gestión se centra en el manejo integrado multidisciplinario de modelos BIM para proyectos de construcción, a través de la gestión de los procesos, organización y evolución del producto final. CIFE conceptualiza los proyectos como un conjunto de flujos de información que pueden ser modelados y representados en un ordenador utilizando representaciones simbólicas de productos, organizaciones y procesos. (CIFE). A través de una simulación, se puede observar la interacción entre la función y comportamiento de estos, abordando problemas subyacentes que afectan a la productividad en la construcción.

Por lo tanto, el propósito del VDC consiste en alcanzar los distintos objetivos de negocio, mediante un entorno sostenido por nuevos procesos de trabajo, herramientas de visualización (BIM) y una ingeniería concurrente integrada (ICE); de manera que la comunicación e información entre los involucrados sea más eficiente, colaborativa e integrada.



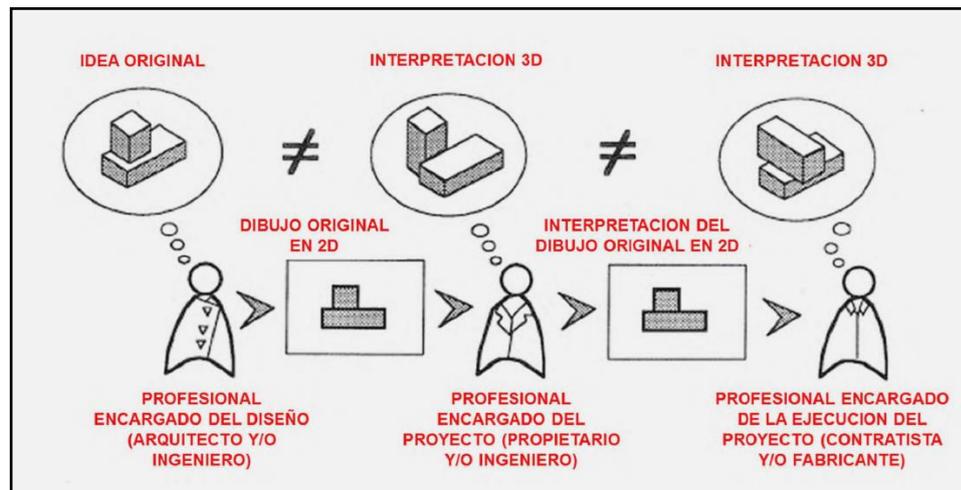
**Fig. 6** Pilares de la filosofía VDC  
Fuente: Fischer (2012)

Es importante recalcar, la importancia del término ICE en la filosofía del VDC, el cual está orientado al trabajo colaborativo entre la partes involucradas, compartiendo metas y beneficios comunes, brindando solución a los problemas de manera conjunta y consensuada, y a contar con un ambiente tecnológico que favorezca la colaboración multidisciplinaria, llevándola a niveles óptimos, con la finalidad de alcanzar los objetivos de los proyectos. Estas sesiones ICE, están directamente relacionadas con la gestión de la comunicación y la gestión de los involucrados en los procesos de un proyecto de construcción. La planificación de dichas sesiones de trabajo, la interacción y dinamismo dentro y fuera de las mismas, y el control de dicho proceso, permite una coordinación de proyecto acertada y con grandiosos beneficios.

## 2 INTEGRACIÓN BIM EN LOS PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN

### 2.1 FLUJO DE INFORMACIÓN EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN, OPTIMIZANDO LA INTERFACE DISEÑO-CONSTRUCCIÓN

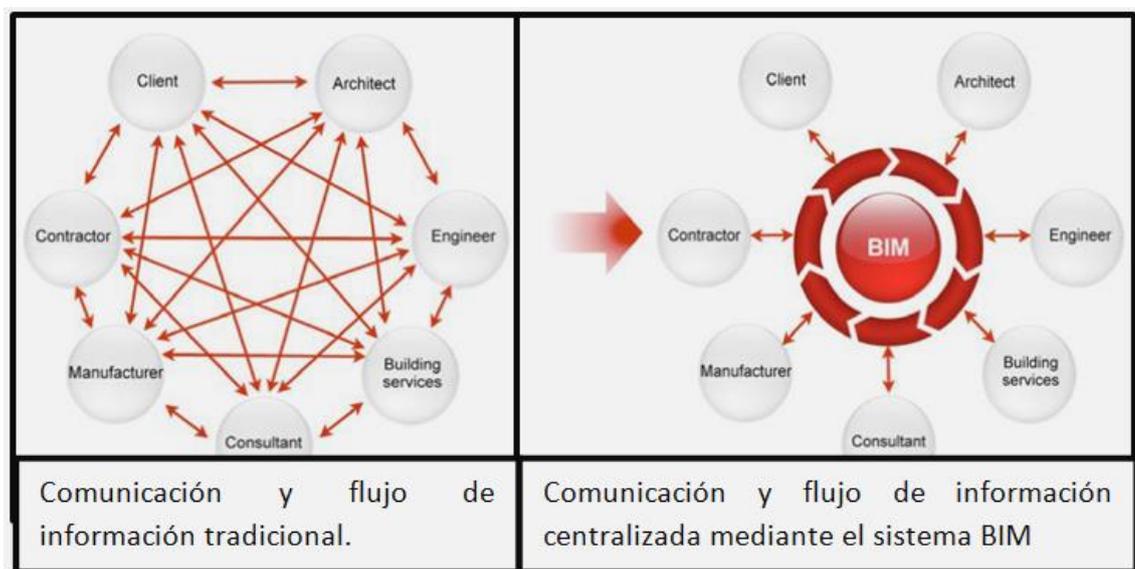
La industria de la construcción es conocida por ser un entorno de información intenso, abundante y único para cada proyecto, donde el trabajo en papel sigue siendo, desafortunadamente, la manera preferida de comunicar la información a los diferentes actores del proyecto.



**Fig. 7** *Distintas interpretaciones de los actores de un proyecto, debido a la incertidumbre generada por la información poco certera.*  
 Fuente: Adaptado de Saldías (Santiago, 2010)

Con la finalidad de explicar la figura anterior, el cliente intentará transmitir una idea al arquitecto, quien la interpreta y genera un modelo mental, plasmándolo en planos y especificaciones. Por lo general, esta entrega-recepción de información trae consigo diferencias en lo concerniente a los objetivos, alcances o intenciones del proyecto. Seguidamente, el ingeniero recibe la información del arquitecto, interpretando de forma distinta la idea principal, siguiendo la cadena del mal entendimiento con la que la idea fue concebida. Finalmente, la información llega al contratista quien expondrá sus dudas y formulará consultas, resultando como consecuencia retrasos, tiempos muertos y demoras en resolución de consultas. Esto sucede debido a la insuficiente plataforma de comunicación y al escaso lenguaje único de información que manejan los representantes.

Mencionado lo anterior, es común encontrar en proyectos de construcción un alto índice de consultas, cambios en obra, trabajos rehechos tanto en los equipos de diseño y de construcción conllevando a pérdidas de tiempo y aumento de costos. Esto sucede debido a diseños no completamente definidos o con mucha falta de información, cuyo problema raíz es la desordenada o nula interacción entre los equipos de diseño y construcción desde el inicio del proyecto. Consecuentemente, esta interfase basada en información clave para el correcto desarrollo del proyecto, sugiere y ofrece una gran oportunidad de mejora, de manera de encontrar un mejor sistema de coordinación, supervisión, control y estandarización de la información de diseño a través de la metodología BIM, como lo muestra la figura 8.



**Fig. 8** *Flujo de información en la industria de la construcción*  
Fuente: Allen Consulting Group (2010)

Con el fin de optimizar esta interfase, es recomendable obtener información acerca de las razones por las que se producen estos inconvenientes y plantear nuevas soluciones para la mejora. Determinar los defectos en los diseños y las posibles causas; conocer el impacto de estos en las obras, en cuanto a costos y tiempo empleados en mano de obra y maquinaria; e identificar formas de prevenir estos problemas, resultan ser procedimientos tradicionales que siguen sin generar algún efecto representativo. Resultaría aún más efectivo la incorporación, desde la etapa de diseño, de personal con experiencia en construcción, asimismo la adopción de estándares o criterios de diseño establecidos por el cliente y la implementación de una estructura organizacional que se enfoque en supervisar el desarrollo de la etapa de diseño, mediante el uso de herramientas de visualización, listas de verificación, esquemas de planificación para el diseño y reportes o informes para

fortalecer el sistema, retroalimentándolo. Estos nuevos esfuerzos enfocados en fortalecer esta interfase, favorecen tanto a los equipos de profesionales en oficinas de diseño como al de construcción, ya que se evitará los trabajos rehechos y congestiónamiento de información durante la ejecución del proyecto.

## 2.2 IMPACTO EN LA PRODUCTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN

En una economía regida cada vez más por la competitividad, donde las empresas partícipes del sector construcción buscan aumentar sus estándares de calidad, reducir costos al mínimo y ajustar sus cronogramas, la tendencia indica a mejorar la productividad disminuyendo todo aquello que signifique pérdidas, aumentando las acciones que generan valor para un proyecto.

En pro de aspirar a un crecimiento sostenido y a una permanencia en el mercado a un mediano o largo plazo, es imperiosa la adopción de nuevas técnicas y sistemas que impulsen el aumento de la productividad, identificando factores que impactan negativamente para poder actuar sobre ellos.

Dentro del ámbito de la construcción, la productividad es copartícipe de un proceso de transformación, donde los recursos necesarios para el desarrollo de un producto son parte fundamental; los materiales, mano de obra y equipos, no son los únicos participantes directos de este cambio, encontramos también un soporte de información el cual liga estos recursos con el producto final. Mencionado esto, a pesar que las mediciones de productividad recaen directamente sobre estos tres recursos fundamentales, en lo que refiere a la eficiencia en la mano de obra, eficiencia de los equipos y eficiencia en el uso de los materiales; correspondería también controlar y medir el nivel de la información alcanzada y presente entre los recursos, en la etapa de entrada de un proceso. La figura siguiente muestra lo expresado.



**Fig. 9** *Indicadores del nivel de información en obra.*  
*Fuente: Propia*

No solo en nuestro medio, sino también a nivel mundial, la productividad se encuentra afectada por problemas de incompatibilidades, indefinición integral del proyecto, demoras en la respuesta de consultas a proyectistas, criterios de diseño diferentes entre cliente-proyectista y a deficiencias en los documentos de diseño de ingeniería. La utilización de herramientas y procesos BIM, en etapas previas a la construcción misma, fortalecerían los indicadores mencionados y aumentarían los tradicionales.

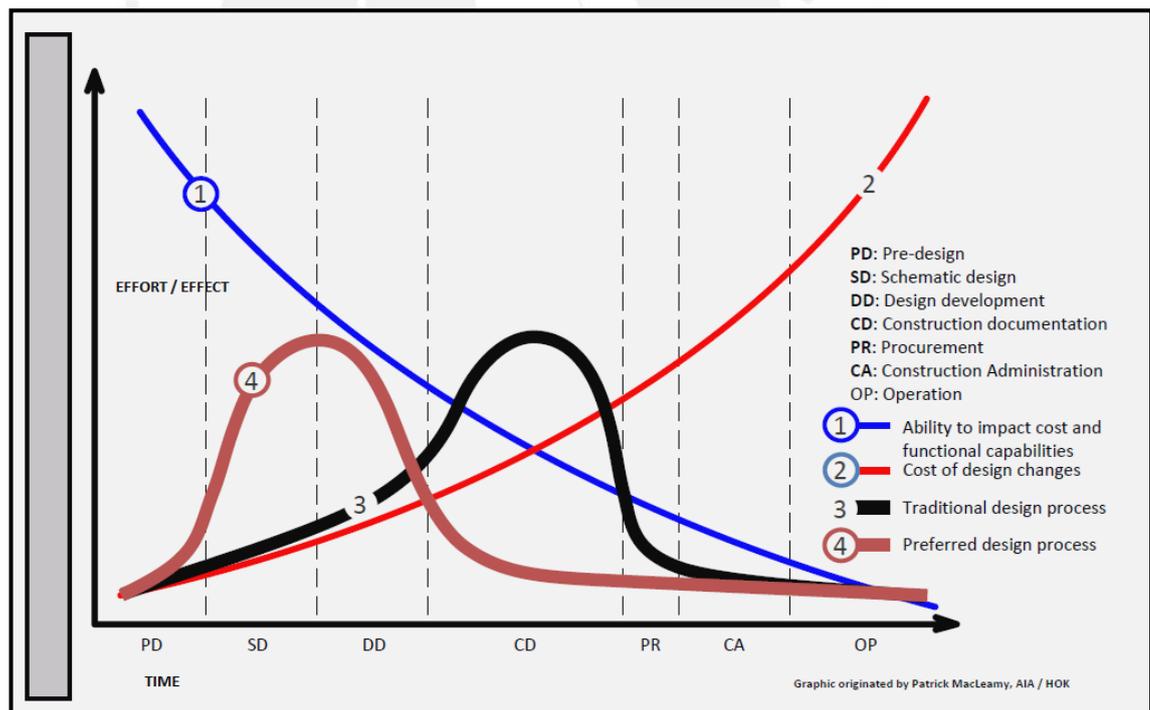
### 2.3 VINCULACIÓN DEL CONCEPTO BIM CON LA CONSTRUCTABILIDAD

El concepto de constructabilidad fue introducido por el "Construction Industry Institute" en 1986, bajo la premisa, "La constructabilidad es el uso óptimo de los conocimientos y experiencias en la planificación, diseño, procura y ejecución, con el fin de lograr los objetivos globales del proyecto de construcción. Los máximos beneficios prevalecerán en la medida que los actores se involucren anticipadamente al inicio de un proyecto".

Por un lado, el concepto BIM aporta en la colaboración de las distintas disciplinas y sistemas, identificando posibles interferencias, logrando agilizar los procesos constructivos. Mientras que la constructabilidad, asegura la cooperación de todos los actores desde el primer día de la etapa de diseño, ayudando a los participantes a tomar mejores decisiones, las cuales influirán positivamente a la calidad y eficiencia del proyecto en general.

Expuesto lo anterior, la metodología BIM se integra con la constructabilidad, logrando resolver anticipadamente problemas comunes y potenciales en las diferentes etapas del proyecto, impactando positivamente en el costo y tiempo de este. Expresado de otra forma, esta nueva metodología nos permite prever y resolver los posibles problemas en un modelo virtual, en lugar de encararlos en el campo mismo o en la etapa de construcción, lo que generaría un incremento en el costo y tiempo del proyecto. La intención que se busca en el pensamiento de los ingenieros es la de minimizar la tarea del "Solucionador de problemas en campo" o "improvisador en el campo", donde las opciones de decisión son muy limitadas. Caso contrario, el abanico de decisiones de diseño en las fases previas a la construcción se expande, debido a la incorporación de información y a la capacidad de los diseñadores de tomar mejores decisiones.

Innovar en ideas y tecnologías BIM que favorezcan la constructabilidad de un proyecto de construcción, conlleva a proporcionar herramientas de gran alcance para desarrollar una interface eficiente entre el diseño y la construcción, en base a la colaboración y comunicación temprana de los actores.



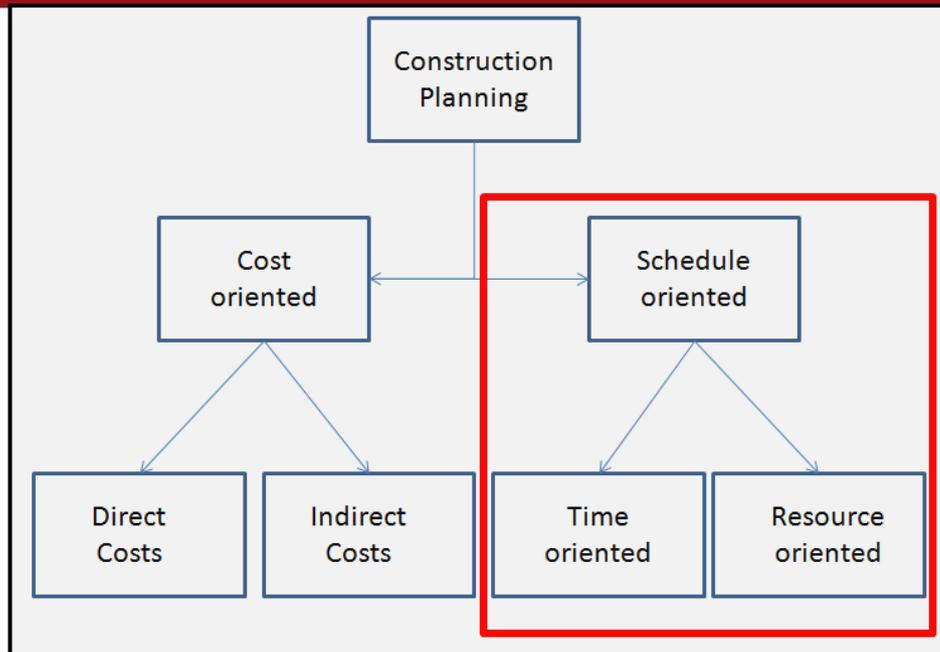
**Fig. 10** Esfuerzo e impacto en costos en el proyecto mediante procesos tradicionales y BIM.

Fuente: MacLeamy Patrick, Building Smart

Con la finalidad de representar lo mencionado anteriormente, en el gráfico se muestra en el eje horizontal las diferentes etapas de un proyecto a lo largo del tiempo, mientras que el eje vertical representa la incidencia o esfuerzos en cada una de las etapas para diferentes conceptos presentes en un proyecto. Podemos observar que para un proceso de diseño tradicional (Curva 3), los mayores esfuerzos se dan en una etapa muy cercana a la ejecución del proyecto, dando lugar a que posibles cambios impacten considerablemente en el costo total de este. Mientras que, para un proceso de diseño basado en BIM (Curva 4), en el que se propone un trabajo intenso en edades tempranas del proyecto, la incidencia en los costos (Curva 2) resultaría mínima. Evidentemente, se comprende que conforme el proyecto avance en sus diferentes etapas, el impacto en los costos aumentará exponencialmente (Curva 2), debido a que cambios en etapas avanzadas involucraría rehacer trabajos los cuales posiblemente ya han sido realizados a mayor detalle. Migrar de un enfoque tradicional a uno moderno ofrece grandes ventajas en cuanto a los costos y plazos, además de retos en cuanto a nuevos procesos en un proyecto de construcción.

## **2.4 VINCULACIÓN DEL CONCEPTO BIM CON LA PLANIFICACIÓN**

Una planificación eficaz es uno de los aspectos más importantes de un proyecto de construcción e influencia directamente en el éxito de un proyecto (Chevallier and Russell, 1998). La planificación en la construcción es el proceso de definir, coordinar y determinar el orden en que deben realizarse las actividades con el fin de lograr la más eficiente y económica utilización de los equipos y recursos que se dispone y además minimizar esfuerzos innecesarios (Andrés Nahmias, 2003).



**Fig. 11** *Planificación orientada a la optimización de tiempo y recursos.*  
Fuente: Adaptado de Hendrickson (2000)

Ciertas decisiones de planificación, en especial los relacionados con la planificación del espacio, se hacen sobre la base de la experiencia y la intuición, sin el apoyo de herramientas tecnológicas (Winch 2002). En el ámbito de la construcción, en el Perú se usan los cronogramas de obra que generalmente son diagramas de Gantt, la cual es una herramienta en la que se visualizan barras correspondientes a las distintas actividades y su incidencia en el tiempo del proyecto.

La importancia de comunicar y compartir la información es cada vez más importante a través de la vida de un proyecto de construcción. La extracción de la información, las distintas interpretaciones y en vista que los constructores o contratistas, recién son incorporados al equipo de trabajo en la etapa de ejecución, se generan brechas entre lo que los diseñadores pretenden y lo que los constructores ejecutan en el campo.

Por esta razón, y con la finalidad de minimizar esta diferencia, surgen los modelos de simulación 4D, logrando ensayar alternativos diseños y secuencias de construcción. Esta digitalización de la construcción, impacta proactivamente en la forma de comunicación entre los ingenieros, arquitectos y los clientes, donde se

busca compartir la información y centralizarla en un modelo, de donde subyacerán nuevas responsabilidades, métodos, planes de trabajo, coordinaciones, etc.

### 3 HERRAMIENTAS BIM 4D

#### 3.1 CONCEPTO

Un modelo 4D simula el proceso de transformación del espacio a través del tiempo, mediante el enlace de un modelo 3D y una programación de construcción. Es decir, involucra la representación gráfica de la información contenida en un cronograma, a través de objetos dinámicos, integrando los aspectos lógicos, temporales y espaciales de la planificación de la construcción (Fischer, 2006).

Al comunicar el cronograma mediante un modelo 4D, se simula virtualmente una construcción real, logrando una intuitiva visualización del proyecto a lo largo del tiempo, avizorando los posibles problemas que puedan impactar negativamente en el proyecto, identificando secuencias de construcción más efectivas, ensayando con distintos escenarios de construcción en busca de la eficiencia en los procesos constructivos, anticipándose y evaluando las contingencias respecto a la seguridad en obra a lo largo del proyecto.

Esta herramienta puede extenderse tanto como herramienta integradora y como herramienta de análisis. Los diseñadores y constructores pueden usar un modelo 4D para asegurar la consistencia de la información sobre el diseño y la construcción, lo que puede mejorar la comunicación y la colaboración entre los involucrados, debido al fácil entendimiento general del proyecto; así como también, pueden realizar nuevos análisis sobre costos, productividad, seguridad y asignación de recursos.

### 3.2 VISUALIZACIÓN DE LA PLANIFICACIÓN: HERRAMIENTAS BIM 4D

En el actual panorama de la construcción, donde los proyectos aceptan la complejidad y un alto manejo interdisciplinario, cabe insistir en mejorar e innovar en herramientas de planificación y comunicación, con el fin de lograr transmitir información más concisa, certera, útil y práctica. Por este motivo, es significativa la importancia que toman las herramientas BIM 4D para llegar a estos objetivos, ya que permitiría a los ingenieros interactuar con un modelo virtual en tiempo real, facilitando el rápido análisis de diferentes propuestas de planificación o iteraciones de diseño.

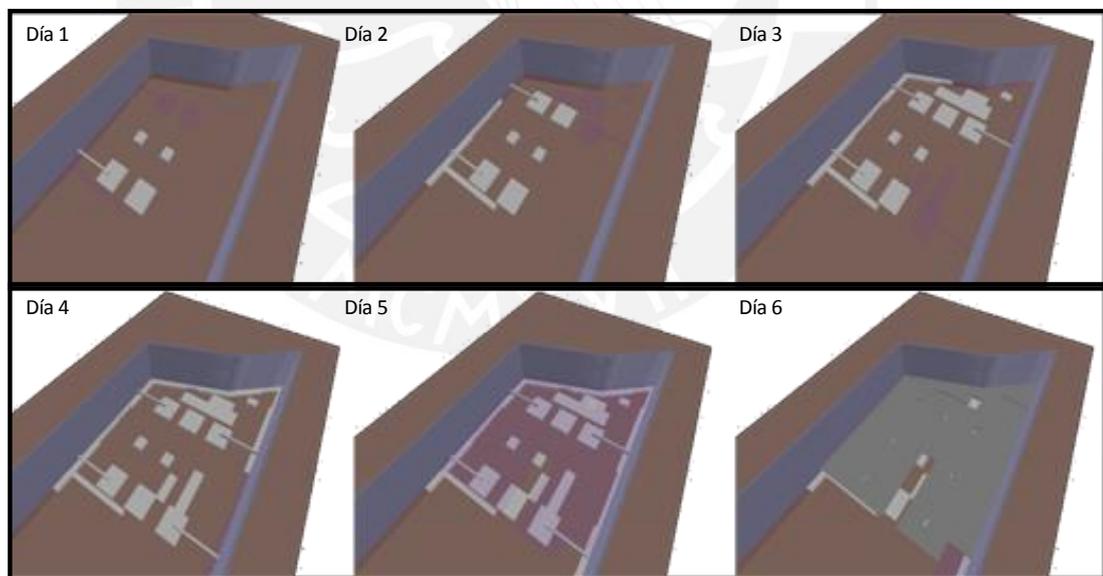
A manera de ejemplo, un ingeniero planificador que tiene dentro de sus principales tareas, generar un cronograma, considerar una secuencia constructiva práctica, plasmar un buen espacio logístico de trabajo y una correcta asignación de recursos, se enfrentará con muchas limitantes y dificultades para interpretar la información proveniente de planos 2D, debido a que deberá visualizar los componentes mentalmente para luego enlazarlos a las diferentes actividades. Todo este proceso de interpretación suele ser tedioso, además de consumir tiempo valioso. Paralelamente a este método tradicional, la documentación entregada no contiene información acerca de las secuencias de las actividades, por lo que los "site-layouts" iniciales que muestran la organización del sitio y la utilización, normalmente no se actualizan a medida que progresa la construcción. Los ingenieros planificadores por lo general sólo internamente conceptualizan nuevos arreglos en las instalaciones a manera que el proyecto se desarrolla. Esta falta de representación formal no debe reflejar el hecho de que el "site-layout" sea intuitivo.

### 3.3 USOS Y BENEFICIOS DE LAS HERRAMIENTAS BIM 4D

#### 3.3.1 Visualización de la etapa constructiva.

Los ingenieros planificadores 4D podrán visualizar la secuencia de los trabajos a realizarse anticipadamente a la etapa de construcción. A pesar de conocerse la gran cantidad de variables que dificultan este proceso y teniendo en cuenta las restricciones o limitaciones que ofrece un proyecto único de construcción, como por ejemplo el sitio de trabajo, el clima u otros limitantes del lugar; el ingeniero planificador tendrá la posibilidad de escoger, mediante rápidas iteraciones, la mejor secuencia constructiva.

Del mismo modo, estos sistemas tienen la capacidad de crear planes semanales o diarios 4D para el personal de obra encargado de la producción, logrando un fácil entendimiento de sus labores, solicitando información necesaria para realizar lo establecido y con la posibilidad de mejorar y proponer recomendaciones para futuros procesos constructivos.



**Fig. 12** *Planificación maestra 4D en sótanos en proyecto Agora-Marcán*  
*Fuente: Marcan*

### 3.3.2 Diseños ilustrativos de las áreas de trabajo "site-layouts".

Existen factores espaciales que podrían afectar el comportamiento de las grúas, equipos y actividades del personal obrero en el sitio de trabajo. Por esta razón, los ingenieros planificadores optimizarán el uso del espacio en el sitio, aumentando los índices de productividad, equilibrando las áreas de trabajo con las actividades o avances del personal obrero; evitando el congestionamiento de los espacios de trabajo.

Se busca una planificación dinámica espacial, orientada a establecer un eficiente esquema de trabajo, donde interviene el traslado y almacenamiento de materiales, actividades del personal obrero, movimiento de equipos, giro de grúas, rutas seguras para el personal, etc.; evitando la pérdida de la productividad, identificando áreas restringidas y regulando los recursos compartidos.



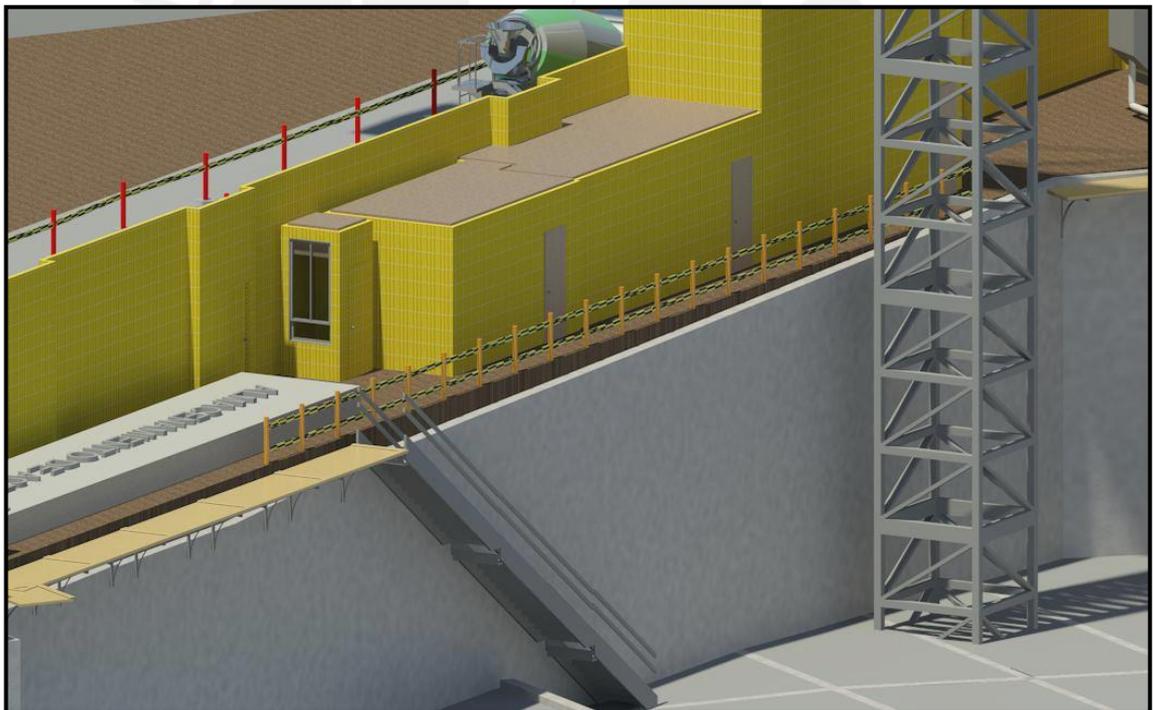
**Fig. 13** *Layout dinámico en etapa de vaciado de techo de sótanos.  
Obra Mara-Marcan  
Fuente: Marcan*

### 3.3.3 Reconocimiento de posibles riesgos durante la construcción.

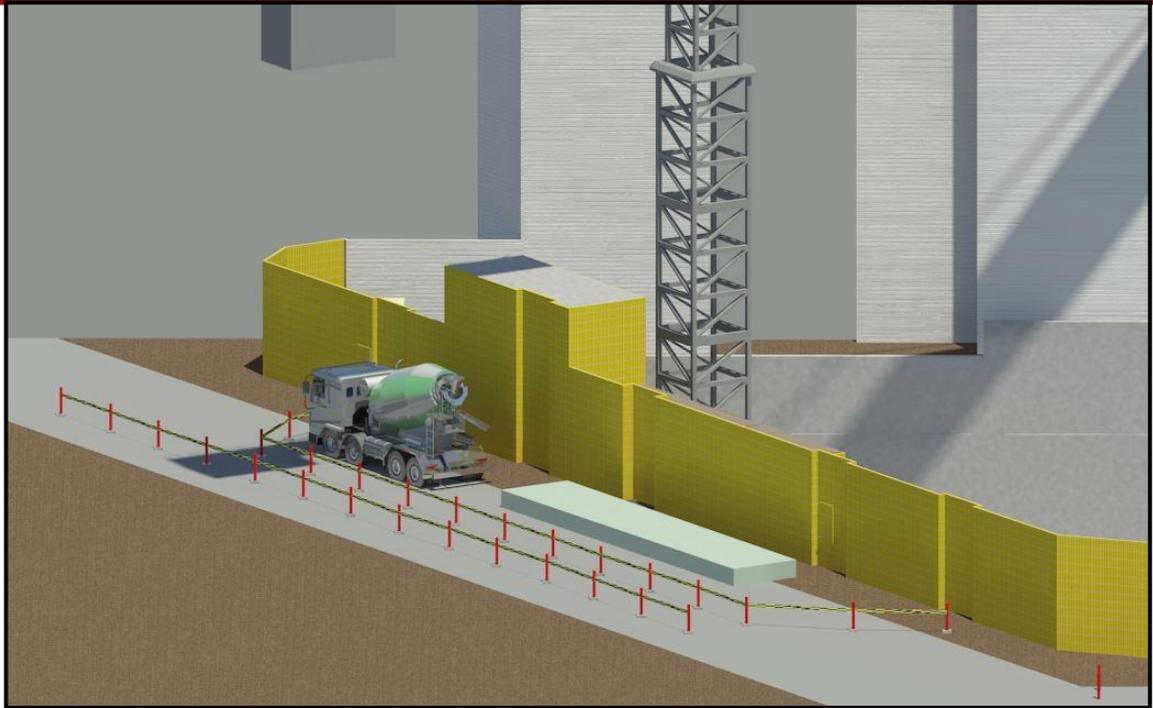
Debido a que en diversas ocasiones, las etapas de planificación y construcción se encuentran operacionalmente dissociadas, se presentan peligros o aumento en los

niveles de riesgo, debido a una escasa disponibilidad del espacio y en el peor de los casos a una nula o baja planificación espacial. Por otra parte, y debido a la constante presión que ejerce el cliente respecto al tiempo de duración de un proyecto, los ingenieros contratistas o constructores se ven obligados a acelerar el ritmo en sus actividades buscando reducir los intervalos de tiempo, acortando la duración de las tareas. Una de las consecuencias de esta lucha contra el reloj, fomenta que el personal obrero aumente, sobrecargando los espacios de trabajo, lo que finalmente conlleva a elevar los niveles de riesgo y posibles accidentes.

Se plantea la utilización de herramientas 4D como intermediario entre la seguridad y la planificación. Este trabajo conjunto, propone mejorar la seguridad en el trabajo marcando una conexión más estrecha entre los problemas más resaltantes de seguridad y la construcción; proporcionando sitios de trabajo más ilustrativos, estableciendo planes de seguridad, informando sobre el estado actual del sitio en cualquier estado del proyecto y anunciando futuros arreglos o advertencias de riesgos al departamento de seguridad.



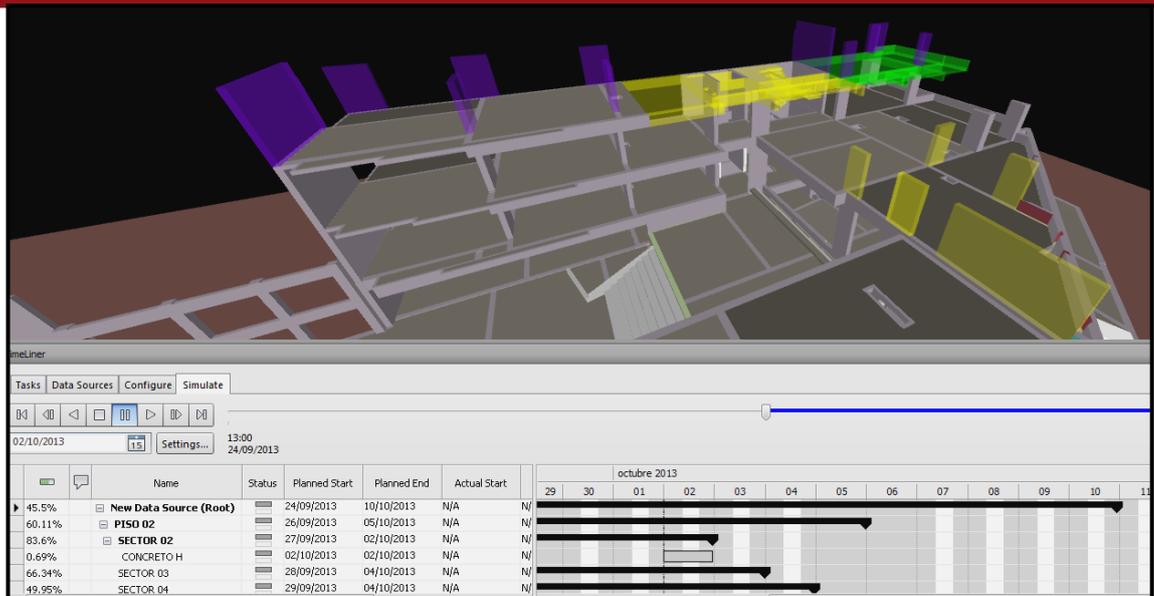
**Fig. 14** *Plan de seguridad, ubicación de barandas perimetrales y accesos de escalera a sótanos. Obra Mara-Marcán*  
*Fuente: Marcan*



**Fig. 15** *Plan de seguridad, acceso a descarga de materiales y señalización de vías ocupadas. Obra Mara-Marcan*  
*Fuente: Marcan*

### **3.3.4 Confiabilidad, control y análisis del cronograma maestro y programaciones de trabajo.**

Una manera de verificar el correcto funcionamiento de lo estipulado en el cronograma de obra, es construyéndolo virtualmente. La simulación 4D permite poner a prueba la secuencia constructiva antes de que se ejecute. De esta manera, ayuda a controlar el proceso de verificación de la secuencia con mayor dinamismo, además, fecha a fecha se podrá visualizar lo que está sucediendo en obra, logrando representar situaciones en las que el área de producción podrá objetar y recomendar un mejor proceso constructivo. Asimismo, esta simulación podrá ser editada fácilmente, incorporando nuevos elementos en caso se presenten re-programaciones en el cronograma o adicionales de obra. Por otro lado, aporta en gran medida al control del progreso de la obra tanto real como virtualmente, lográndose comparar el avance real en obra versus el avance programado virtualmente, identificando las zonas donde se debe dedicar mayor atención.



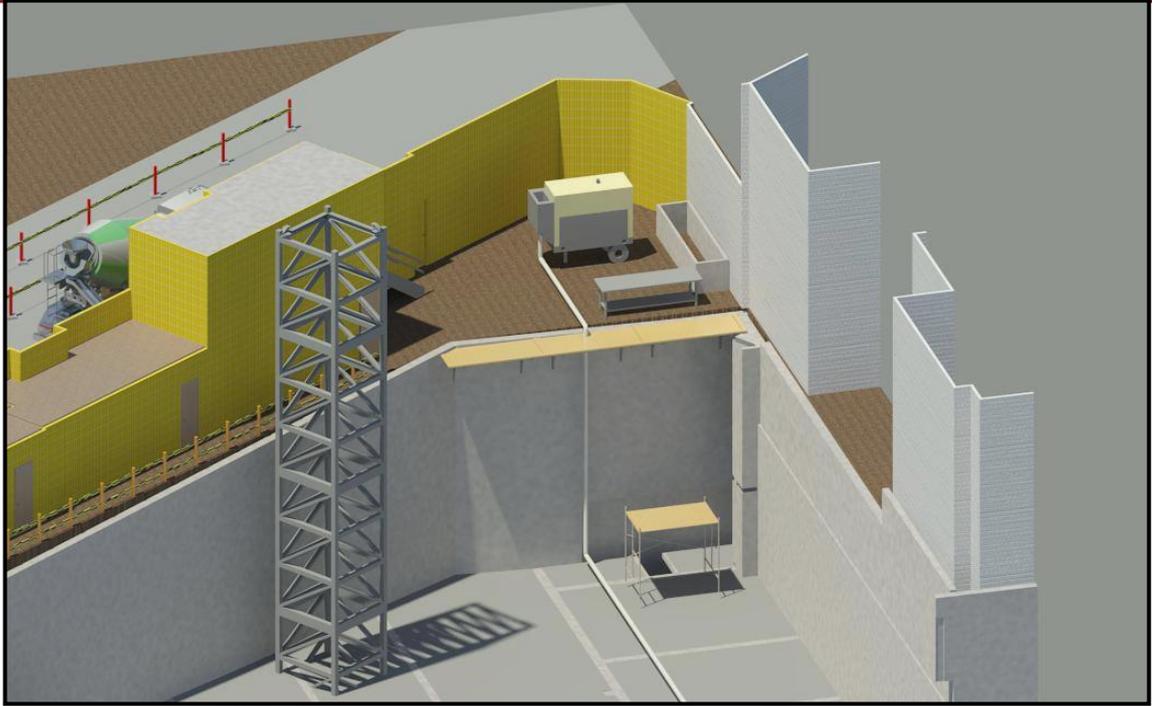
**Fig. 16** *Tren de producción en 5 sectores. Obra Mara, torre Castillo-Marcan*  
Fuente: Marcan

El trabajo conjunto con el sistema “Last Planner” es otro de los beneficios principales de estas herramientas, como por ejemplo al momento de levantar las observaciones de sitio en un análisis de restricciones, referentes a seguridad, materiales, actividades pre-requisito; las cuales podrían ser identificadas y resueltas fácilmente.

### 3.3.5 Logística de materiales y equipos.

Los recursos, equipos y los materiales necesitan ser almacenados y transportados durante el desarrollo del proyecto. Constante son las ocasiones, en la que estas actividades que demandan espacio y tiempo, son subestimadas por los ingenieros, ya que principalmente se enfocan en las actividades que aportan valor a la obra y se encuentran establecidas en el cronograma.

Asimismo el inventario de materiales, que conlleva a retrasos, inseguridad en obra, deterioro del material, ocupación de un espacio para el almacenamiento, mano de obra para el transporte y cuidado de este; puede devenir en la situación en la que se tengan recursos disponibles y por entregar pero no pueden utilizarse debido a una interferencia. Mediante un modelado en 4D, se podrá evitar estas situaciones anticipándonos al constante movimiento de materiales en la obra, estableciendo zonas de traslado seguras, formas del traslado (mediante grúas, plataformas, personal obrero, uso de “winche”) y asegurando la no acumulación de material en una zona.



**Fig. 17** *Ubicación de bomba estacionaria de concreto y tubería de impulsión en etapa de Sótanos. Obra Mara-Marcán*  
*Fuente: Marcan*

Tomando en consideración lo expresado sobre los grandes beneficios que estas novedosas herramientas ofrecen, resulta sumamente provechoso para los intereses de los proyectos, poder implementar estas potentes herramientas de información. La introducción de los modelos 4D, genera que los agentes participantes del proyecto, tengan una efectiva visualización, un correcto análisis y una fluida comunicación, en relación a aspectos secuenciales, temporales o espaciales, respecto al cronograma de la construcción.

## 4 INTEGRACIÓN BIM 4D Y LEAN CONSTRUCTION

### 4.1 INCORPORACIÓN DE HERRAMIENTAS BIM-4D A LA FILOSOFIA “LEAN CONSTRUCTION”

En vista de los desalentadores índices de productividad en la construcción evidenciados a lo largo de los últimos 30 años, donde, sin embargo, otras industrias han incrementado sus índices hasta en un 200%, el sector se vio en necesidad de buscar un mejor sistema de producción. Transcurridos varios años, el Perú ha adoptado nuevas filosofías de construcción, donde las principales empresas vienen aplicando e implementando nuevos modelos con la finalidad de lograr competitividad tanto a nivel nacional como internacional, y no perderle el ritmo a la industria mundial de la construcción.

El sistema “Lean Construction”, el cual fue introducido por el LCI “Lean Construction Institute” a través de un benchmarking al sistema de producción de Toyota, busca implementar una filosofía donde la ejecución de proyectos de construcción se asemeje más a un sistema de producción, enfocando sus esfuerzos en generar valor para el cliente, eliminando desperdicios en los procesos y optimizando los flujos de trabajo en la actividad de la construcción. Debido a sus grandes beneficios, ha logrado impactar positivamente en la industria peruana de construcción; permitiendo aumentar los niveles de calidad, reduciendo costos y plazos.

Frente a los antecedentes explicados y lo mencionado a lo largo del documento de tesis, el sistema BIM ha logrado también captar el gran interés de parte de las empresas proactivas e innovadoras de la construcción. Basándonos en la considerable aceptación de la filosofía Lean, cabe preguntarnos si este nuevo sistema de información BIM será tomado en consideración a corto o mediano plazo con el fin de su implementación y ejecución. Una justificación positiva, descansaría en los beneficios y alentadores resultados encontrados internacionalmente, donde hoy en día, el uso incondicional de estas herramientas ha llevado al éxito a distintos proyectos. Ya que en nuestro medio, la difusión de la filosofía Lean se ha diversificado exitosamente, donde cada grupo del sector construcción ha venido aplicándolo parcialmente según sus necesidades, cabe analizar cómo el sistema BIM se desenvolverá y desarrollará conjuntamente con esta.

Ante todo, señalar que estos sistemas no son dependientes uno de otro, es decir, cabe la posibilidad de implementar cualquiera de los dos sin la presencia incondicional del otro. Sin embargo, autores reconocidos en la teoría “Lean Construction”, sostienen que el máximo potencial para desarrollar los proyectos de construcción solo pueden ser alcanzados si se adoptan ambos sistemas en conjunto en la ejecución de proyectos (Sacks&Koskela, 2010). Por un lado, la filosofía Lean aporta en la creación de valor para el cliente, eliminando todo lo que no aporte al producto, optimizando el uso de recursos, y en la búsqueda constante de mejores procesos de transformación; mientras que BIM se enfoca en aumentar la colaboración entre los actores, bajo la utilización de herramientas de información las cuales gestionan, describen y establecen características del proyecto, formando un entorno de trabajo más favorable para la mejor toma de decisiones, teniendo como fin la más cercana aproximación a la completa definición del proyecto, convirtiéndolo en un proyecto confiable.

A continuación se presentarán argumentos donde los sistemas BIM complementan y fortalecen el sistema de ejecución de proyectos propuesto por la filosofía Lean (LPDS, Lean Project Delivery System).

El LPDS busca la participación desde la fase de diseño de todos los profesionales del proyecto. Mediante el uso de modelos BIM, los equipos de diseño podrán comunicar visualmente la apariencia del proyecto al cliente, asimismo compartir con los demás especialistas su funcionamiento y diseño, logrando intercambiar conocimientos y verificar si el diseño es el adecuado.

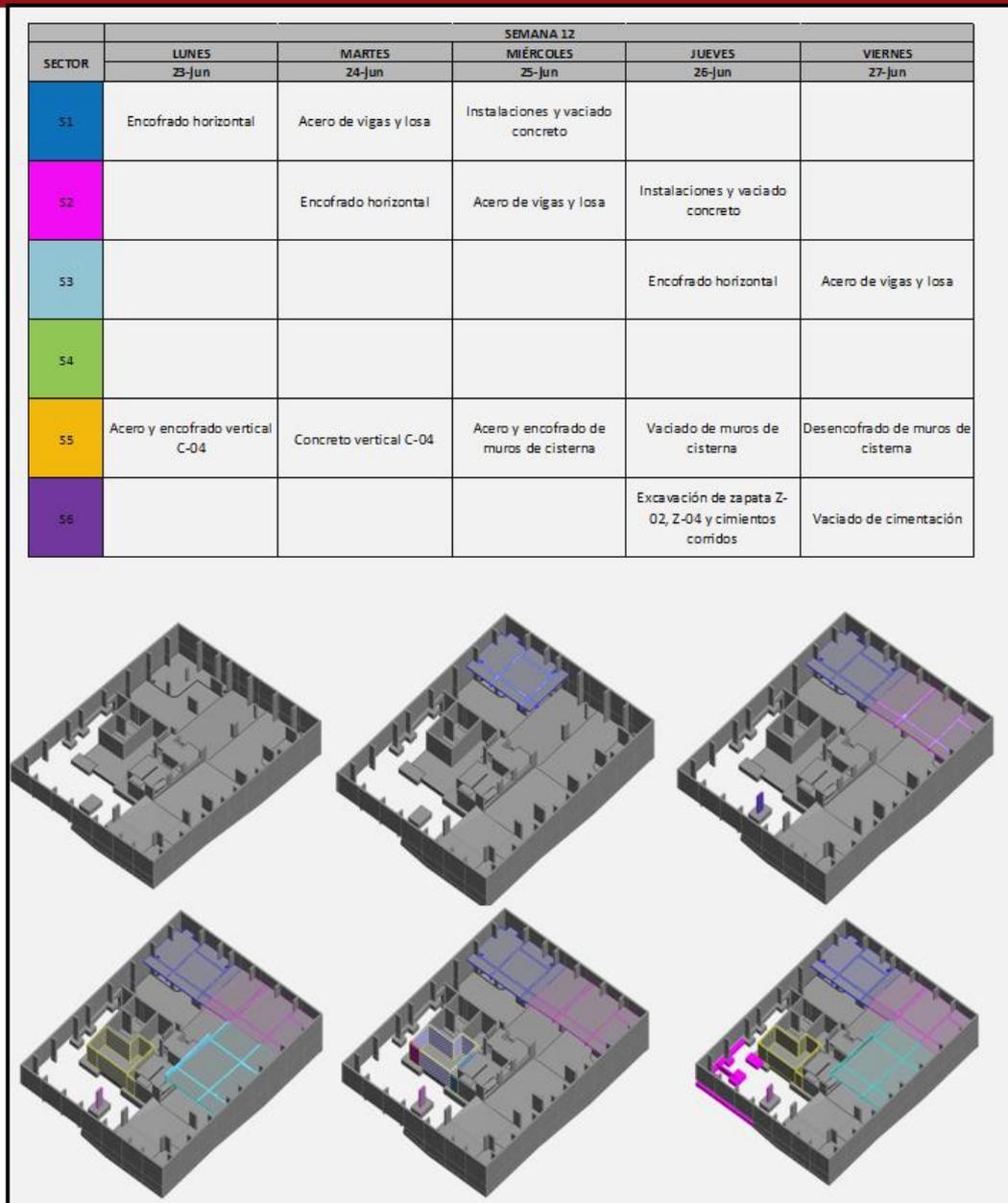
Al mismo tiempo, incorporar el conocimiento de los procesos constructivos en la etapa de diseño es fundamental para el LPDS. El uso de modelos BIM-4D, facilitaría la visualización de secuencias constructivas y la logística. Además, una simulación ayudaría a verificar las secuencias de trabajo antes de que se ejecute en obra y reconocer áreas con potenciales riesgos en la seguridad.

En lo que corresponde al “Sistema del Ultimo Planificador” o “Last Planner System”, el cual centra sus esfuerzos en garantizar un flujo de trabajo constante, mediante planificaciones intermedias con mayor confiabilidad y protegiendo el desarrollo de toda actividad de construcción (Fischer, 2006); también estará influenciado por la incorporación de tecnologías BIM-4D. A través de estas, se optimizaría el análisis de restricciones, siendo de gran utilidad para analizar y levantar las distintas restricciones presentes en el sitio, tales como trabajos previos necesarios o falta de seguridad. De esta manera, en comparación a un registro tradicional, se lograría

que los equipos de trabajo identifiquen exactamente y visualmente cuál es la restricción, resultando en soluciones más efectivas.

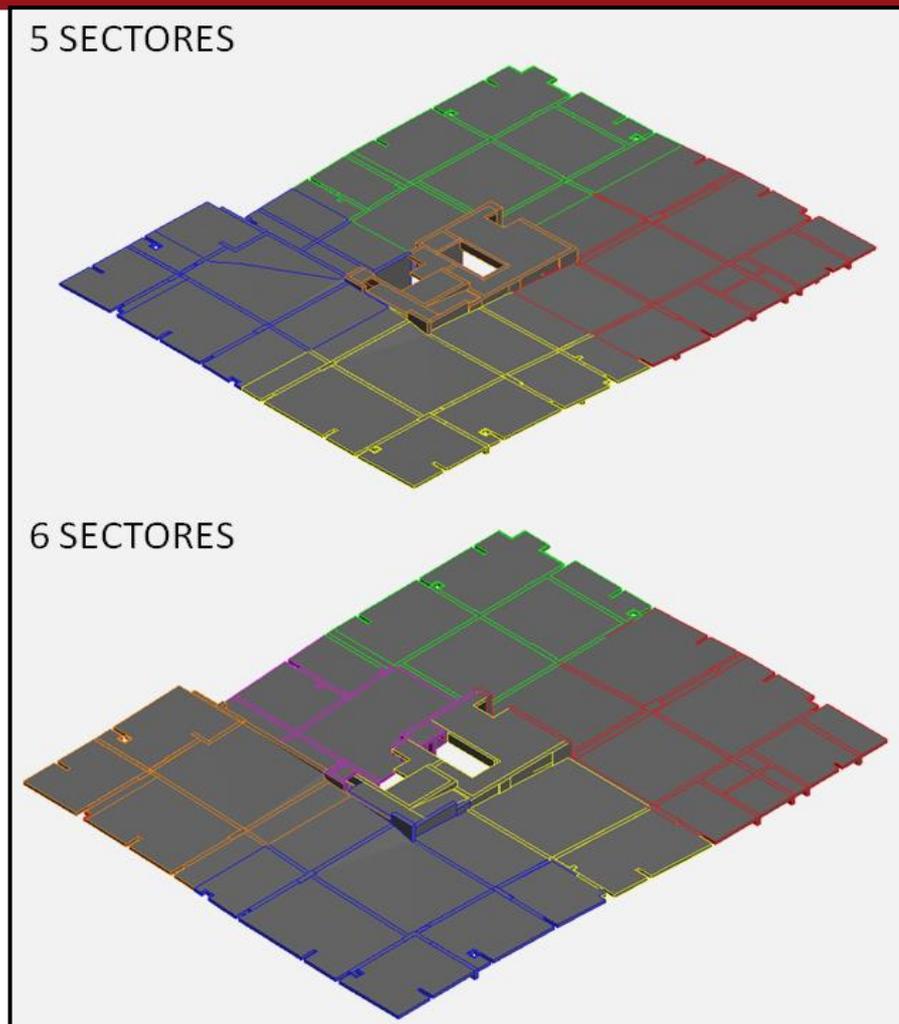
Por otro lado, en lo que respecta a la herramienta Lookahead, la cual se enfoca en desarrollar una programación intermedia proyectándose por lo general tres o cuatro semanas hacia el futuro con la finalidad de reducir la inherente variabilidad presente en el cronograma maestro (Fischer, 2006); las herramientas BIM-4D permiten analizar a mayor nivel de detalle y generar una mayor confiabilidad en la programación de la obra.

Hoy en día en el Perú, las herramientas Lean son aplicadas y representadas mediante diagramas de barras y tablas en Excel, tratando de simular la secuencia constructiva del proyecto. La inclusión de herramientas BIM-4D mediante micro planificaciones, las cuales complementen o reemplacen el método tradicional de representar el sistema Lookahead, agregaría gran valor a la planificación, logrando obtener mayor detalle de los procesos, identificando mejor las restricciones y además pone a disposición de todos los involucrados en el proyecto, la visualización de lo que se ejecutará en los próximos días, influyendo y aportando mediante sus conocimientos y experiencias pasadas a optimizar la planificación.



**Fig. 18** *Planificación semanal 4D, etapa de excavación de cimentaciones e inicio de encofrado de techo en sótanos. Obra Mara-Marcan  
Fuente: Marcan*

Cabe comentar igualmente, que el procedimiento para la sectorización y planificación por trenes de trabajo, se ve también favorecida por el sistema BIM, de manera que se logra una sectorización activa, móvil y con alto nivel de visualización constructiva. Asimismo, se pueden estudiar diferentes escenarios o trenes de trabajo, a manera de verificación, obteniendo metrados automáticos y horas hombre necesarias para llevar a cabo dicha tarea.



**Fig. 19** *Alternativas de sectorización mediante herramientas BIM-4D del proyecto Alba-Mara*  
*Fuente: Marcan*

Estas consideraciones han evidenciado la importancia de un trabajo interrelacionado entre Lean y BIM, estableciendo principios de producción para lograr proyectos satisfactorios. Asimismo, estas herramientas de información se presentan como las intermediarias para alcanzar los objetivos del “Lean Production”. La oportunidad de potenciar el sistema Lean con herramientas BIM está presente en nuestro medio y permitiría un avance en el desarrollo de proyectos de construcción.

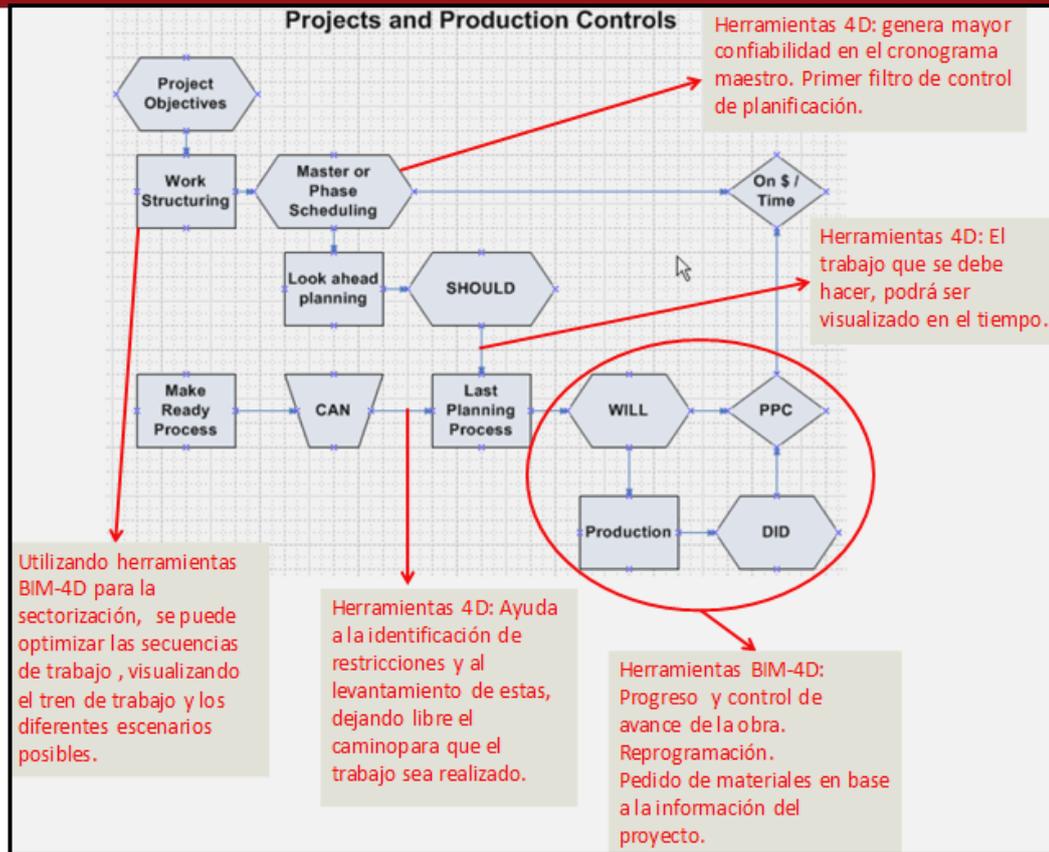


Fig. 20 Integración BIM en el sistema Last Planner.  
Fuente: Adaptado de Leanconstruction.org

## 5 IMPLEMENTACIÓN Y NUEVOS PROCESOS BIM

### 5.1 SOFTWARE PARA EL DESARROLLO DE MODELOS BIM

El sistema BIM es conocido y utilizado a nivel mundial por la mayoría de países desarrollados y en vía en desarrollo. Entre estos los más representativos son Estados Unidos, Canadá, Finlandia, Singapur, Irán, India, Corea del Sur, Francia, Holanda y el Reino Unido. En lo que respecta a Sudamérica, recién a partir del año 2006 se ha implementado el uso de las nuevas tecnologías en Brasil, para luego integrarse Chile, México y Colombia. Actualmente en el Perú, las empresas más prestigiosas del medio se encuentran en plena investigación, implementación, desarrollo y experimentación de estas innovadoras herramientas para el continente.

Se ha emprendido el manejo de plataformas BIM, con el software Revit, de la misma familia de Autodesk; debido a que resulta familiar para el sector construcción ya que se viene utilizando en su mayoría en lo que corresponde a diseño y elaboración de planos en AutoCAD. Este brinda una solución completa para el desarrollo de proyectos. Involucra productos de arquitectura, estructuras, mecánicas, eléctricas y sanitarias en su plataforma, logrando una interoperabilidad fundamental para el correcto desempeño de las comunicaciones en un proyecto.

Al realizar cambios de diseño en cualquier lugar del proyecto, el modelo se actualizará automáticamente en el proyecto entero, es decir, si en una vista en planta modifico un elemento, este se modificará en las otras vistas que tenga en el proyecto, ya sean elevaciones, cortes, etc. Asimismo, maneja elementos paramétricos reales de la industria de la construcción (vigas, columnas, losas, cimientos, puertas, ventanas, ductos, tuberías, etc.), trabajando con mayor detalle y precisión. Se pueden generar tablas de metrados automáticas, reportes de pérdidas de presión en tuberías y en ductos, análisis de cargas y de energía. Incluso, a manera de revisión, al recibir planos de las diferentes especialidades se pueden verificar los cálculos y diseños hechos por los proyectistas de manera sencilla; de tal manera que se optimice el diseño. Asimismo, en especialidades donde el trabajo es ejecutado por un subcontratista, tenemos la ventaja de poder contar con un metrado automático base o preliminar con el cual podremos comparar el presupuesto presentado por el tercero, el cual muchas veces no es estimado ni controlado, ya que le resultaría muy tedioso y laborioso.

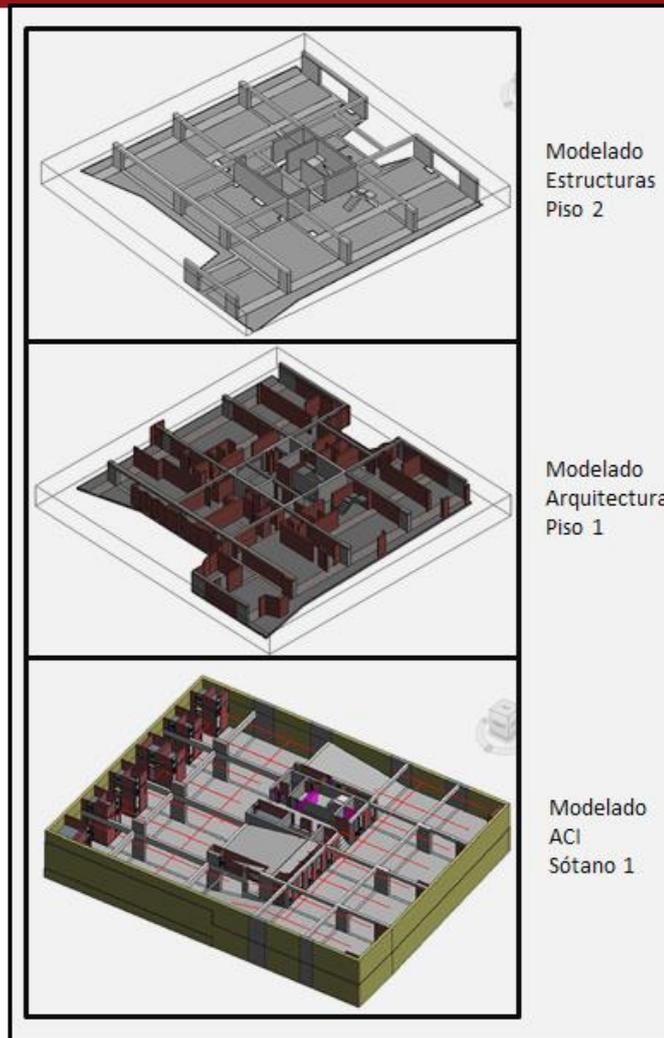
Otra de las ventajas que brinda un software de desarrollo de modelos BIM, es que funciona como una base de datos de todo el proyecto. Se puede guardar información sobre cada elemento modelado, incluso crear parámetros para identificarlos o clasificarlos según nuestra conveniencia. Por ejemplo a un muro se podría añadir información acerca del nivel donde está colocado, si su encofrado será a una o dos caras, si es muro perimetral, si cumple alguna función estructural en especial, el material predominante, que fecha está programada para su construcción, costo, o simplemente alguna descripción que lo identifique o diferencia de los demás. Indudablemente, mientras más alimentemos nuestro

proyecto, más nos acercamos a la completa definición de este. De esta forma, facilita la elaboración de metrados, presupuestos, cotizaciones con proveedores, identificación, características y ubicación de cada elemento en el proyecto.

Para que un diseño sea satisfactorio, es necesario empezar por los requerimientos del proyecto, en otras palabras, cuál es el objetivo principal por el cual elaboramos un modelo BIM. De esta manera se establecerán criterios de diseño y pautas para un correcto desarrollo del programa. Complementando lo anterior, si el propósito del modelo será solo para visualización, realizaremos un modelo con menor nivel de detalle, con columnas que van desde el primer piso hasta el último, losas macizas completas (sin divisiones de losa de concreto, contrapiso y acabado), entre otras. Sin embargo, si deseamos modelar para una simulación de construcción 4D, la cual posteriormente será utilizada en obra; criterios de construcción deberán ser tomados en consideración, como por ejemplo que el vaciado de columnas se hace a fondo de viga, lo que conlleva a que estas deberán modelarse por niveles y hasta el fondo de viga. Incluso para generar sectorizaciones, se recomendaría, si fuera el caso, modelar las vigas y losas con cortes a los tercios, en caso la sectorización indicase un corte, con la finalidad de obtener metrados coherentes, una planificación confiable y obtener el máximo beneficio del software.

### **5.1.1 Trabajo centralizado mediante modelos vinculados**

Revit permite y sugiere el uso de modelos unidos por un vínculo (Linked models). Es decir, si un "modelador BIM A" ha creado un proyecto de estructuras este puede ser reutilizado por otro "modelador BIM B" para empezar con la especialidad de arquitectura, haciendo que el modelo sea menos pesado y trabajable. Sucesivamente, las demás especialidades podrán ir avanzando en la modelación. Cabe resaltar, que si el "modelador BIM A" hace un cambio en el proyecto, el proyecto del "modelador BIM B" estará sujeto también a estos cambios, cuando actualice el modelo.



**Fig. 21** Modelos BIM desarrollados en Revit de las especialidades de Estructuras, Arquitectura y ACI del proyecto AVA-Marcan  
Fuente: Marcan

En la figura anterior se muestra un ejemplo de diseño-modelado a manera de ilustración, mediante un modelo vinculado (linked models). En este caso, la inclusión dentro del proyecto de las diferentes especialidades es progresiva, es decir, mientras el modelador “A” de la parte estructural va modelando los diferentes niveles de un proyecto, el modelador “B” encargado de la parte arquitectónica podrá ir modelando los pisos inferiores los cuales ya han sido modelados por “A”. Asimismo, el modelador “C” de las instalaciones de agua contra incendio, podrá ir modelando los pisos inferiores los cuales ya han sido modelados por “B”, y así sucesivamente con las demás especialidades. De esta manera se genera un tren de trabajo de modelado, donde el inicio está marcado por la parte estructural, tal como se muestra en la figura siguiente.

ESQUEMA DE TREN DE TRABAJO EN MODELADO EN REVIT, MEDIANTE EL USO DE MODELOS VINCULADOS (LINKED MODELS)												
	Sem 1	Sem 2	Sem 3	Sem 4	Sem 5	Sem 6	Sem 7	Sem 8	Sem 9	Sem 10	Sem 11	Sem 12
Modelado de ESTRUCTURAS	S2	S1	SS	P1	P2	P3	P4					
Modelado de ARQUITECTURA		S2	S1	SS	P1	P2	P3	P4				
Modelado de IIMM												
Modelado de sistema de ACI				S2	S1	SS	P1	P2	P3	P4		
Modelado de sistema de Extracción de monóxido				S2	S1	SS	P1	P2	P3	P4		
Modelado de IISS												
Modelado de sistema de AF					S2	S1	SS	P1	P2	P3	P4	
Modelado de sistema de AC					S2	S1	SS	P1	P2	P3	P4	
Modelado de sistema de Desague y ventilación					S2	S1	SS	P1	P2	P3	P4	
Modelado de IIEE												
Modelado de sistema de alumbrado					S2	S1	SS	P1	P2	P3	P4	
Modelado de sistema de tc					S2	S1	SS	P1	P2	P3	P4	
Modelado de sistema de alimentadores					S2	S1	SS	P1	P2	P3	P4	
Modelado de sistema de COM					S2	S1	SS	P1	P2	P3	P4	

Fig. 22 Tren de modelado BIM en proyecto AVA-Marcán  
Fuente: Marcan

### 5.1.2 Trabajo centralizado mediante “Worksets”

Cuando se manejan proyectos de mayor envergadura, tales como centros comerciales, complejos habitacionales o proyectos urbanos integrales con oficinas y viviendas; los modelos tienden a demandar mayor capacidad de almacenamiento de información, asimismo la velocidad de trabajo en el software puede verse afectada.

La incorporación de un sistema de trabajo más centralizado, refiere al uso de un servidor central, donde se crea un modelo principal o modelo central, que tiene la finalidad de compartir el trabajo, es decir, varios usuarios pueden acceder simultáneamente a un modelo compartido y trabajar en un sub-proyecto asignado. De esta manera, los modeladores se reparten un proyecto, asignándole a cada uno un área o especialidad de este.

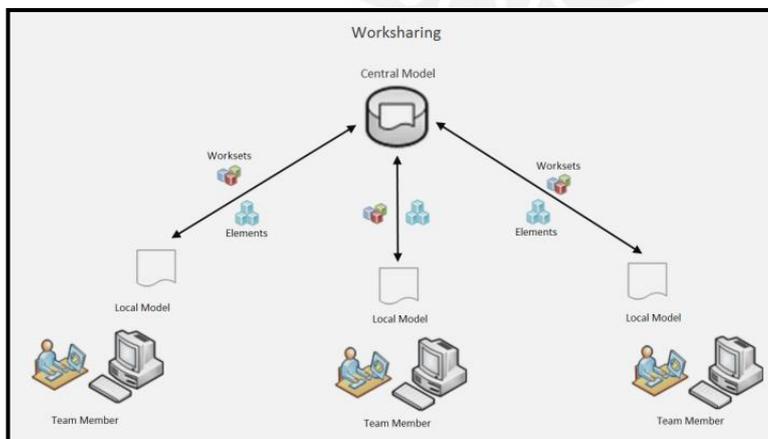
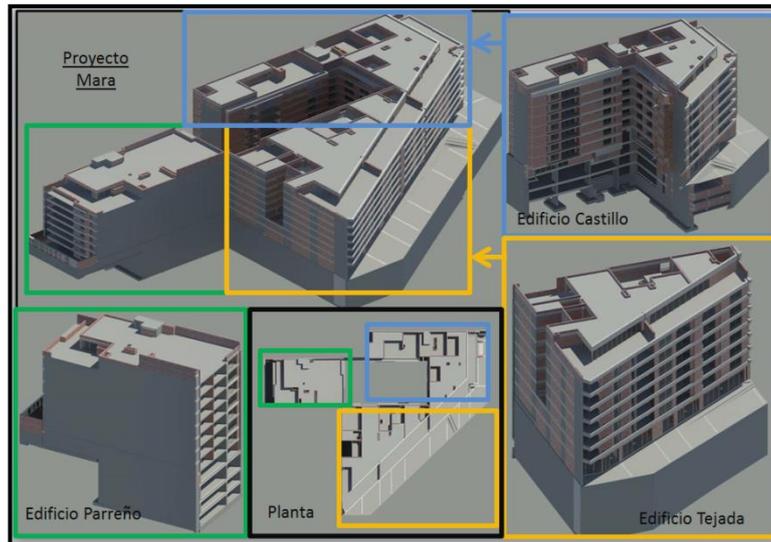


Fig. 23 Sistema de trabajo basado en “Worksets”.  
Fuente: Autodesk



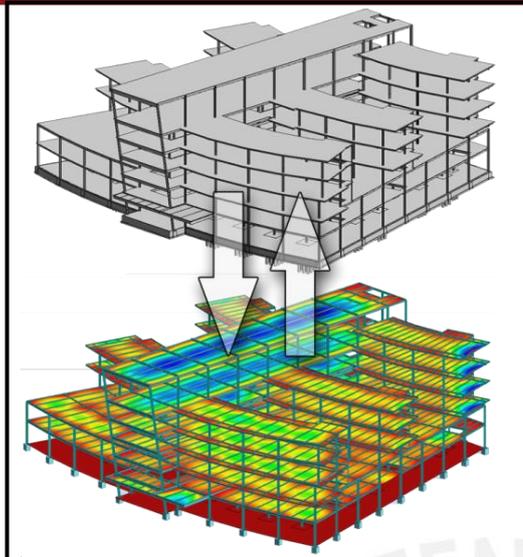
**Fig. 24** *Aprovechando la clara distinción de tres torres independientes en el proyecto Mara, se pudo haber trabajado mediante “Worksets”.*

*Fuente: Marcan*

### 5.1.3 Interoperabilidad

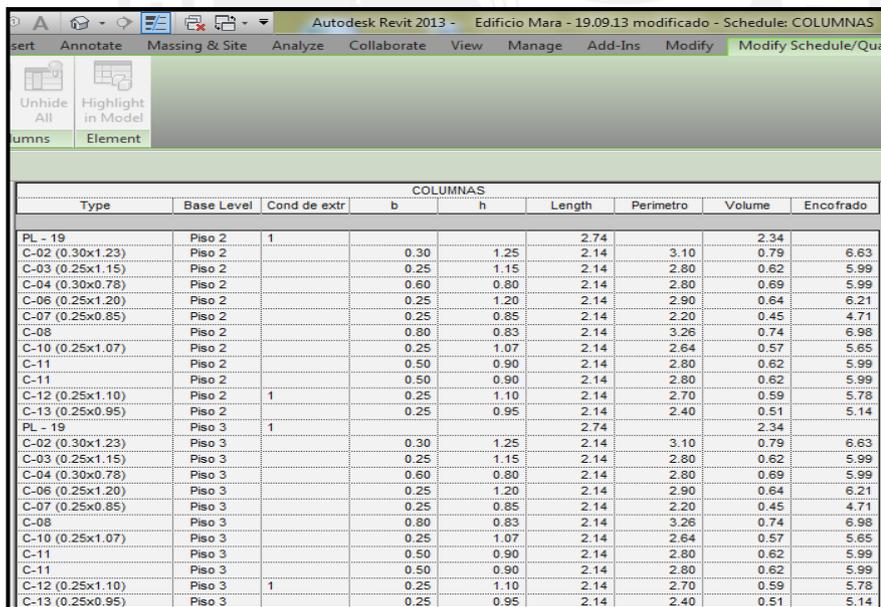
La interoperabilidad del software permite interactuar con variados programas utilizados frecuentemente en el ámbito de la construcción. De esta forma, involucra funciones como la de importar planos desde AutoCAD, como referencia para el modelado 3D, o en sentido opuesto, donde a partir del modelo podemos generar planos, los cuales podrán ser exportados a AutoCAD.

En lo correspondiente al ámbito estructural por ejemplo, un proyecto modelado en Etabs podrá ser importado por Revit, evitando duplicar esfuerzos en el modelado.



**Fig. 25** Interoperabilidad entre software BIM: Etabs y Revit  
Fuente: Blog Revit ST

Asimismo, la información obtenida del modelo (tablas de planificación), pueden ser exportadas a Excel con la finalidad de incluirlas en una hoja de cálculo ya establecida.



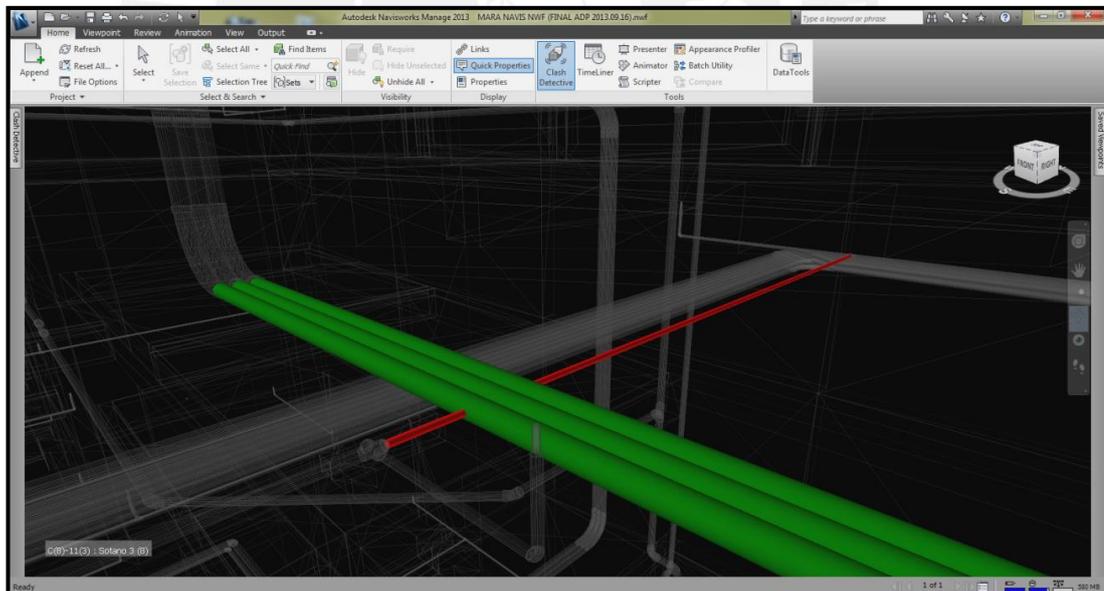
COLUMNAS									
Type	Base Level	Cond de extr	b	h	Length	Perimetro	Volume	Encofrado	
PL - 19	Piso 2	1			2.74		2.34		
C-02 (0.30x1.23)	Piso 2		0.30	1.25	2.14	3.10	0.79	6.63	
C-03 (0.25x1.15)	Piso 2		0.25	1.15	2.14	2.80	0.62	5.99	
C-04 (0.30x0.78)	Piso 2		0.60	0.80	2.14	2.80	0.69	5.99	
C-06 (0.25x1.20)	Piso 2		0.25	1.20	2.14	2.90	0.64	6.21	
C-07 (0.25x0.85)	Piso 2		0.25	0.85	2.14	2.20	0.45	4.71	
C-08	Piso 2		0.80	0.83	2.14	3.26	0.74	6.98	
C-10 (0.25x1.07)	Piso 2		0.25	1.07	2.14	2.64	0.57	5.65	
C-11	Piso 2		0.50	0.90	2.14	2.80	0.62	5.99	
C-11	Piso 2		0.50	0.90	2.14	2.80	0.62	5.99	
C-12 (0.25x1.10)	Piso 2	1	0.25	1.10	2.14	2.70	0.59	5.78	
C-13 (0.25x0.95)	Piso 2		0.25	0.95	2.14	2.40	0.51	5.14	
PL - 19	Piso 3	1			2.74		2.34		
C-02 (0.30x1.23)	Piso 3		0.30	1.25	2.14	3.10	0.79	6.63	
C-03 (0.25x1.15)	Piso 3		0.25	1.15	2.14	2.80	0.62	5.99	
C-04 (0.30x0.78)	Piso 3		0.60	0.80	2.14	2.80	0.69	5.99	
C-06 (0.25x1.20)	Piso 3		0.25	1.20	2.14	2.90	0.64	6.21	
C-07 (0.25x0.85)	Piso 3		0.25	0.85	2.14	2.20	0.45	4.71	
C-08	Piso 3		0.80	0.83	2.14	3.26	0.74	6.98	
C-10 (0.25x1.07)	Piso 3		0.25	1.07	2.14	2.64	0.57	5.65	
C-11	Piso 3		0.50	0.90	2.14	2.80	0.62	5.99	
C-11	Piso 3		0.50	0.90	2.14	2.80	0.62	5.99	
C-12 (0.25x1.10)	Piso 3	1	0.25	1.10	2.14	2.70	0.59	5.78	
C-13 (0.25x0.95)	Piso 3		0.25	0.95	2.14	2.40	0.51	5.14	

**Fig. 26** Tabla de planificación desde Revit. Metrado de columnas y placas.  
Proyecto Mara-Marcán  
Fuente: Marcán

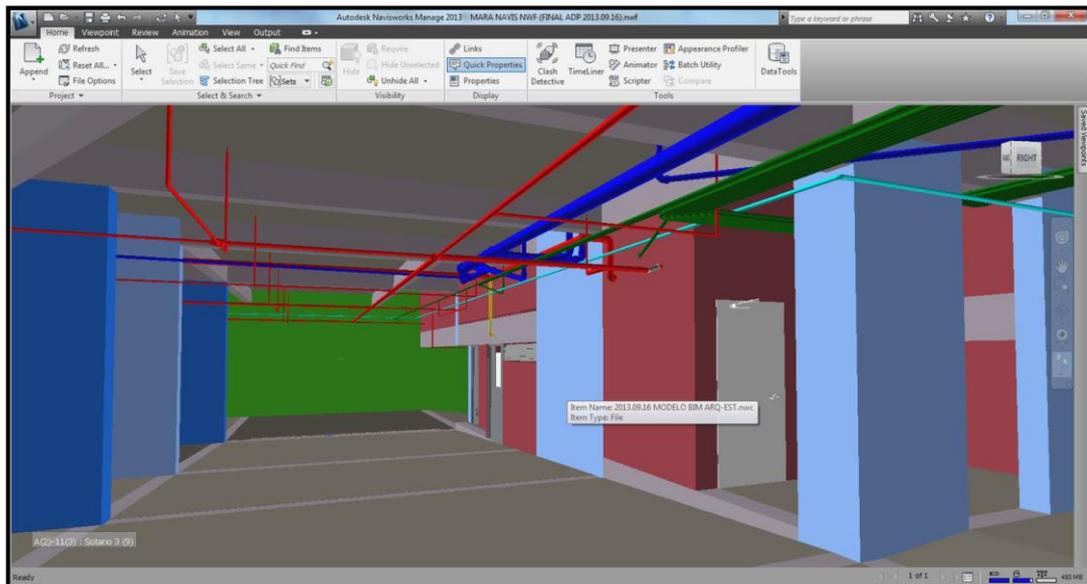
## 5.2 SOFTWARE INTEGRADOR BIM PARA EL DESARROLLO DE MODELO 4D

Un software integrador BIM, es una herramienta de gestión de proyectos que permite la completa integración de diferentes modelos BIM, logrando poner a disposición del usuario, la revisión de modelos 3D, herramientas de visualización, recorridos virtuales, detecciones de incompatibilidades o interferencias entre elementos y control de la planificación; antes y durante la construcción misma. Una de sus características fundamentales, es que sus modelos son más ligeros, ya que al importar los modelos de cualquier plataforma modeladora BIM, solo importan la geometría, mas no la información de cada elemento, lo que genera un mejor rendimiento a la hora del manejo. Adicionalmente, se pueden generar reportes completos acerca de las incompatibilidades.

Para fines de este proyecto de tesis, se utilizará para realizar simulaciones 4D, asociando a los modelos 3D una programación de obra en el programa Microsoft Project o Excel, con la finalidad de analizar los beneficios y oportunidades de mejora que nos brinda el desarrollo de esta simulación.



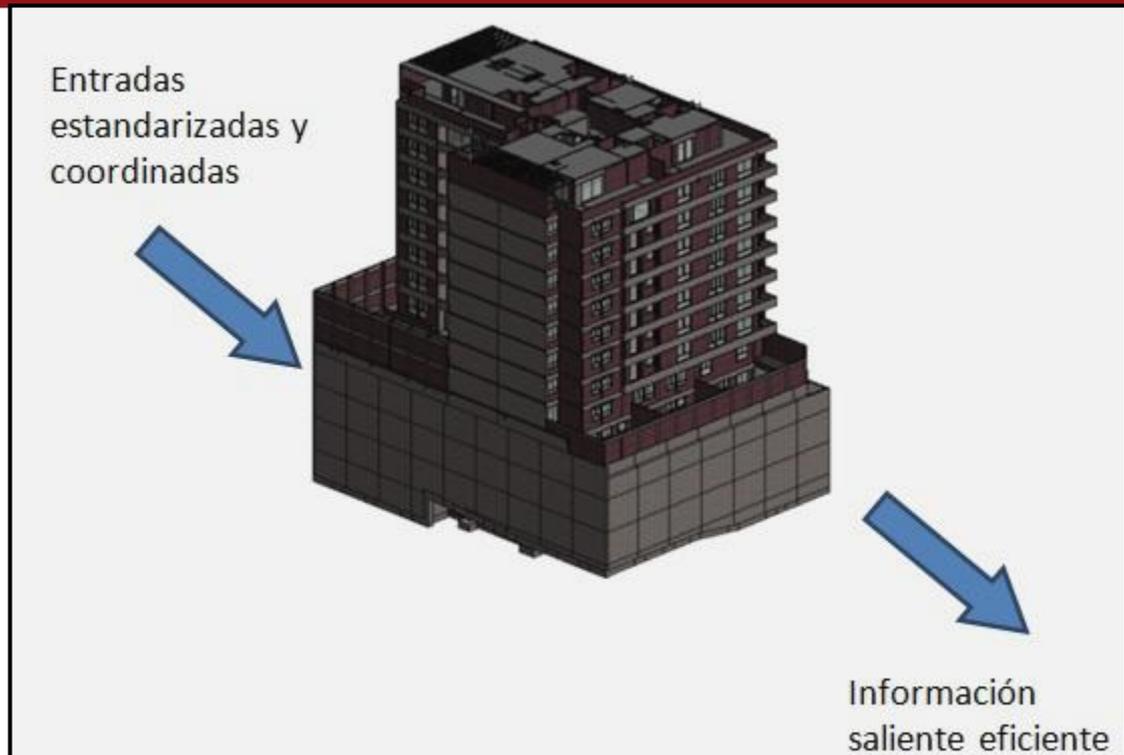
**Fig. 27** *Interferencia detectada por Navisworks entre tubería contra incendio y alimentadores eléctricos. Proyecto Mara-Marcan*  
Fuente: Marcan



**Fig. 28** Recorrido virtual en Navisworks en sótanos del proyecto Mara-Marcán  
Fuente: Marcan

### 5.3 ESTANDARIZACIÓN

Tanto los proyectos de arquitectura y estructura, como los materiales y la seguridad; se rigen bajo un conjunto de normas. Análogamente, resulta recomendable aplicar reglas básicas de modelado con la finalidad de ordenar los conocimientos dedicados a esta actividad y a la vez beneficiar la cooperación de todos los involucrados.



**Fig. 29** Estandarización de la información en modelos BIM para resultados eficientes. Proyecto Alba-Marcán  
Fuente: Marcan

Podemos agrupar a la estandarización en dos grupos:

### 5.3.1 Estandarización interna

A pesar de ser el lenguaje visual ya un lenguaje común para todos, es necesario establecer lineamientos básicos, plasmados en un documento propio de cada grupo de trabajo que indique las pautas a seguir para realizar un modelo predeterminado.

El objetivo de dicha estandarización es impulsar la uniformidad en los modelos, de tal manera que puedan beneficiarse todos los miembros de un proyecto y no solamente el encargado del modelado. De esta manera se propone que todos los involucrados, al momento de analizar el modelo, interpreten en un mismo lenguaje los elementos y la información presente en el modelo, logrando que la información esté al alcance de todos.

Para lograr este orden, se deben establecer lineamientos, donde se indique la manera de modelar, criterios, información acerca de la documentación extraída,

establecer plantillas de modelado propias de cada proyecto o empresa, secuencias de modelado, niveles de detalle, entre otras.

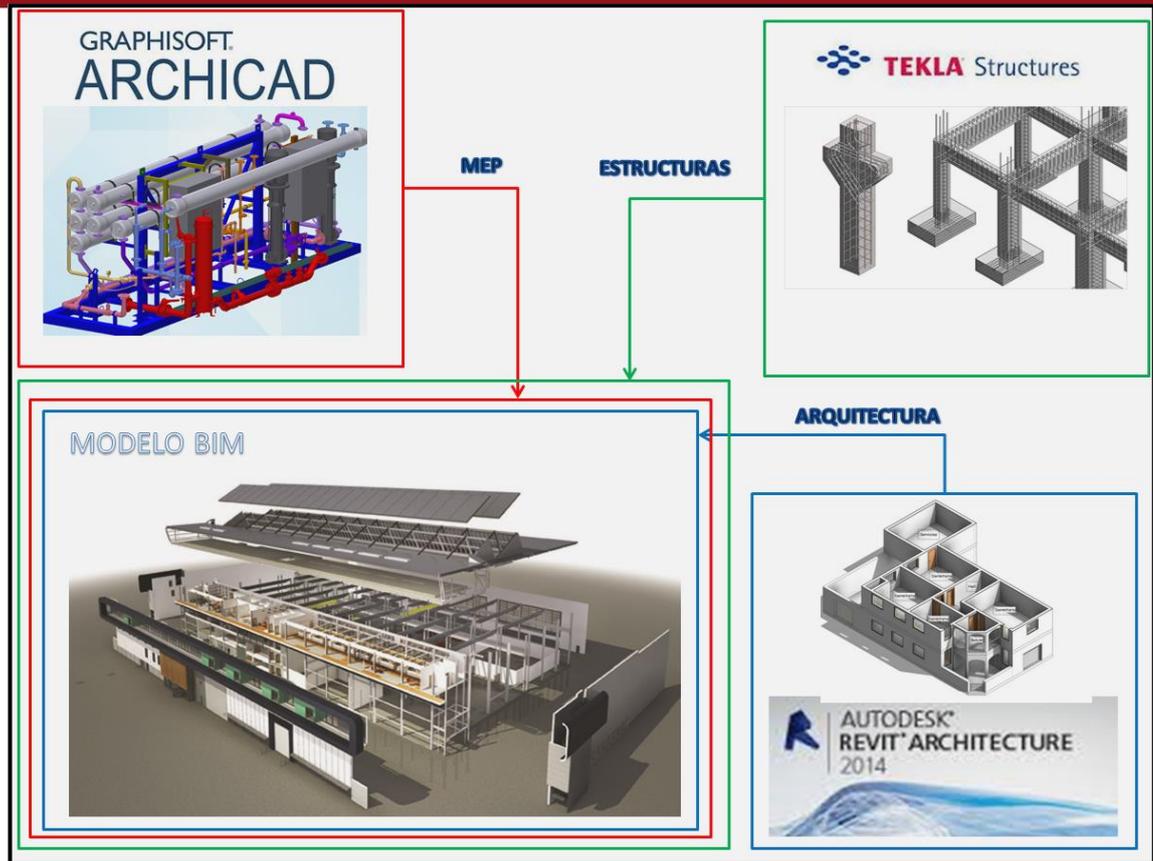
La idea fundamental es la de establecer un entorno de colaboración en base a un proyecto coordinado, donde prime la eficiencia en el flujo de la información, en otras palabras, que el desarrollo de procesamiento de información no se repita constantemente a lo largo del proyecto, manejando un sistema de información centralizado. Un ejemplo claro, es el repetitivo proceso de metrado, donde se metra para el presupuesto, para la sectorización y en obra para realizar el vaciado. La idea es reemplazar el esfuerzo de metrar tres veces, por una sola vez, y centralizarlo en un modelo BIM.

### **5.3.2 Estandarización externa: interoperabilidad entre software**

BuildingSMART International (BSI), es la organización internacional, pionera en desarrollar un esquema de datos común que hace posible el intercambio de datos entre software de diferentes marcas o propietarios. Se basa en el enfoque OPEN BIM, el cual orienta sus esfuerzos hacia un entorno de colaboración, realización y operación, con estándares y flujos de trabajo abiertos.

El formato de datos universal denominado IFC (Industry Foundation Classes), es el modelo estándar creado por BSI. De esta manera, distintas firmas creadoras de software, pueden acceder indistintamente a este formato, siendo este neutral e independiente.

La importante ventaja de estos estándares, es que el cliente no se limita a utilizar una misma marca de software para elaborar sus proyectos. Dicho de otro modo, podrá elegir el software Tekla para la parte estructural, Revit para arquitectura y Archicad para mecánicas, y los tres modelos estarán sujetos a un mismo formato o lenguaje informático, de manera que al trabajar conjuntamente no se presenten errores de compatibilización entre software.



**Fig. 30** Interoperabilidad entre software BIM  
Fuente: Propia y adaptada de Open BIM

## 5.4 ESQUEMA DE FASES EN UN PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN

La etapa previa a la construcción, cuyo valor significativo y trascendental es muchas veces subestimado por los actores del proyecto, exige mayor atención precisamente para elevar el nivel de desarrollo de la información proporcionada en la etapa de diseño, minimizando las incidencias en adelante.

Bajo este propósito, se pretende potenciar la fase de planificación y desarrollo del diseño, buscando definir dentro de sus posibilidades, la totalidad del proyecto, integrando anticipadamente a la construcción, todas las especialidades involucradas; despejando dudas provenientes de la etapa de diseño, disminuyendo la incertidumbre y aumentando los índices de confianza, revisando el cumplimiento de requerimientos basado en los criterios de diseño establecidos por el cliente y garantizando el flujo constante en los procesos siguientes de la etapa de construcción.

## DISEÑO

- Diseño preliminar
- Documentos contractuales con profesionales proyectistas
- Documentos de diseño / Planos finales de diseño

## DESARROLLO DEL DISEÑO Y PLANIFICACION

- Verificación de criterios mínimos de diseño.
- Modelado del proyecto mediante herramientas BIM-3D.
- Procesamiento de consultas y reuniones con proyectistas.
- Definición del proyecto y planos finales para construcción
- Planificación de la construcción mediante herramientas BIM-4D.

## PRE-CONSTRUCCIÓN

- Presupuesto de obra
- Procura

## CONSTRUCCIÓN

- Ejecución del proyecto

### 5.4.1 Detalle de la fase " Desarrollo del Diseño y Planificación"

#### Verificación de criterios mínimos de diseño

Corroborar la funcionalidad del proyecto, si el diseño cumple los objetivos que este demanda. Además, cada proyecto tiene sus propios criterios de diseño los cuales los proyectistas deberán cumplir. En caso se cuente con un "Check-list", deberá ser considerado.

### **Modelado del proyecto mediante herramientas BIM-3D**

Antes de empezar el modelado mismo del proyecto se deberá establecer la estrategia BIM, mencionando el objetivo del modelado y su propósito final, con el fin de dar a conocer a todos los involucrados el nivel de detalle y los criterios de modelado correspondientes al objetivo. Posteriormente se empezará con el modelado del proyecto, teniendo como modelo base inicial la especialidad de Estructuras.

### **Procesamiento de consultas y reuniones con proyectistas**

Durante la etapa de modelado se presentarán consultas, incompatibilidades, dudas y propuestas de mejora, las cuales deberán ser presentadas en un documento a los proyectistas durante sesiones de coordinación con los involucrados en el proyecto. Estas sesiones, fueron adoptadas de la filosofía VDC, las cuales se realizarán en un entorno colaborativo e integrado, con ayuda de los modelos 3D, planos entregados y si fuese necesario modelos 4D o documentos entregados por los diseñadores; visualizados en dos o tres proyecciones, con la finalidad de llegar a soluciones constituidas por la cooperación de todos los involucrados.

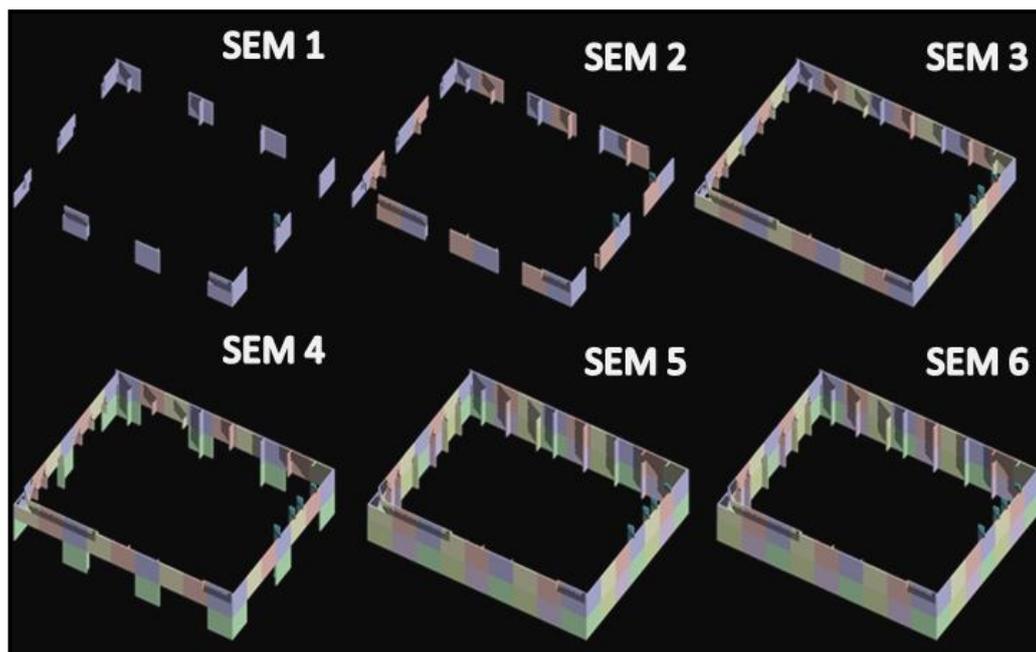
### **Definición del proyecto y planos finales para construcción**

Asumiendo que se han resuelto la mayoría de la totalidad de incompatibilidades en el proyecto (ya que posiblemente se presenten problemas en obra, aunque mínimos), podemos asumir que el proyecto ha llegado a un nivel de definición satisfactorio para dar inicio a la ejecución del proyecto. Durante este proceso, se realizan las correcciones a los planos, en base a las observaciones encontradas en los modelos 3D. Asimismo, se mantiene un ejercicio de actualización tanto de planos como de los modelos.

### **Planificación de la construcción mediante herramientas BIM-4D**

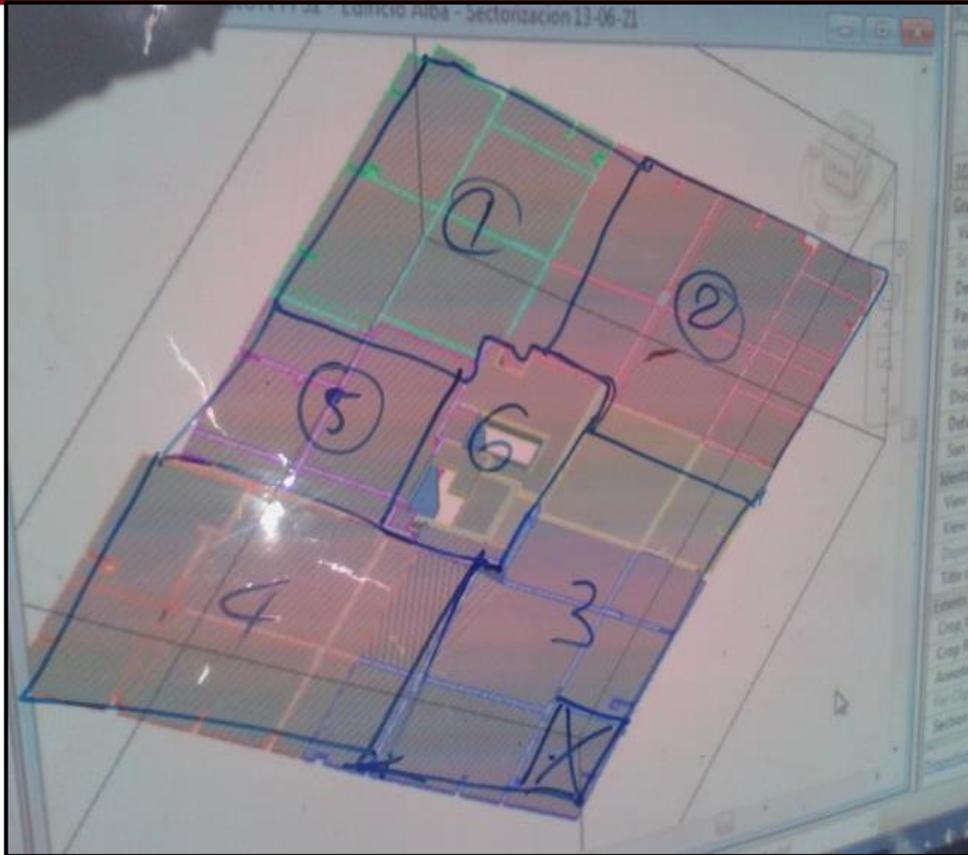
El objetivo de este novedoso planeamiento ofrece la elaboración de un cronograma visualmente comprensible y confiable, donde utilizaremos conjuntamente herramientas BIM y un software de planeamiento (Microsoft Project, Primavera

Project o Microsoft Office Excel). Teniendo en cuenta que el proceso de planificación requiere mucha interpretación de información por parte de los ingenieros planificadores, manejo de gran cantidad de datos del proyecto, dirección de los involucrados en la ejecución y gran demanda de tiempo; el propósito de vincular el modelo 3D con una planificación constructiva procura aminorar la brecha entre lo real y lo planeado, brindando mayor confiabilidad al proceso y ofreciendo herramientas de calidad a los ingenieros para considerar, comunicar y evaluar diferentes alternativas constructivas, así como proporcionar suma flexibilidad a la reprogramación y generar rápidamente planificaciones concretas y efectivas.



**Fig. 31** *Planificación 4D de muros anclados mediante el uso de Navisworks. Proyecto Alba-Marcán. Fuente: Marcan*

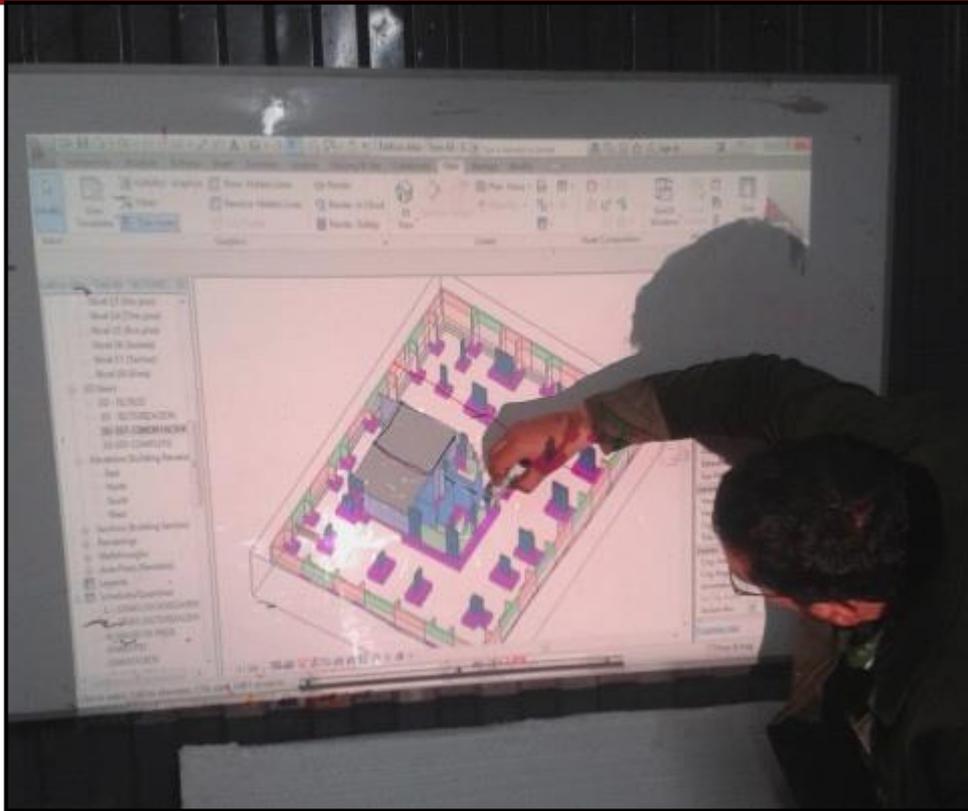
Para la sectorización del proyecto, básicamente se utilizan herramientas proporcionados por Revit, y en casos excepcionales donde se requiere mayor detalle de secuencias constructivas utilizaremos Navisworks. A través de una metodología simple que reside en asignar características (colores) a los elementos en el mismo modelo 3D dinamizamos el proceso de sectorización, logrando modificar rápidamente los sectores, obteniendo metrados inmediatos y automáticos, facilitando la labor de decisión por la mejor opción y distribución de trabajo.



**Fig. 32** *Presentación de opciones de sectorización de sótanos en obra Alba-Marcán. Se proyectó el modelo Revit en una pizarra acrílica, y conjuntamente se propusieron opciones de sectorización. Fuente: Marcan.*

Análogamente, y con el propósito de potenciar las herramientas proporcionadas por el Lean Construction, en este caso el “Last Planner”, se plantea generar adicionalmente una programación de obra 4D, en donde estos modelos acompañen y refuercen la visualización de la programación en obra. Obteniendo así una herramienta integrada a la que denominamos Lookahead 4D. Asimismo, se presentarán análisis de restricciones más precisos y a mayor detalle, las cuales se podrán identificar y analizar a fondo a través de reuniones internas con los involucrados en las tareas a realizar, en base a programaciones semanales.

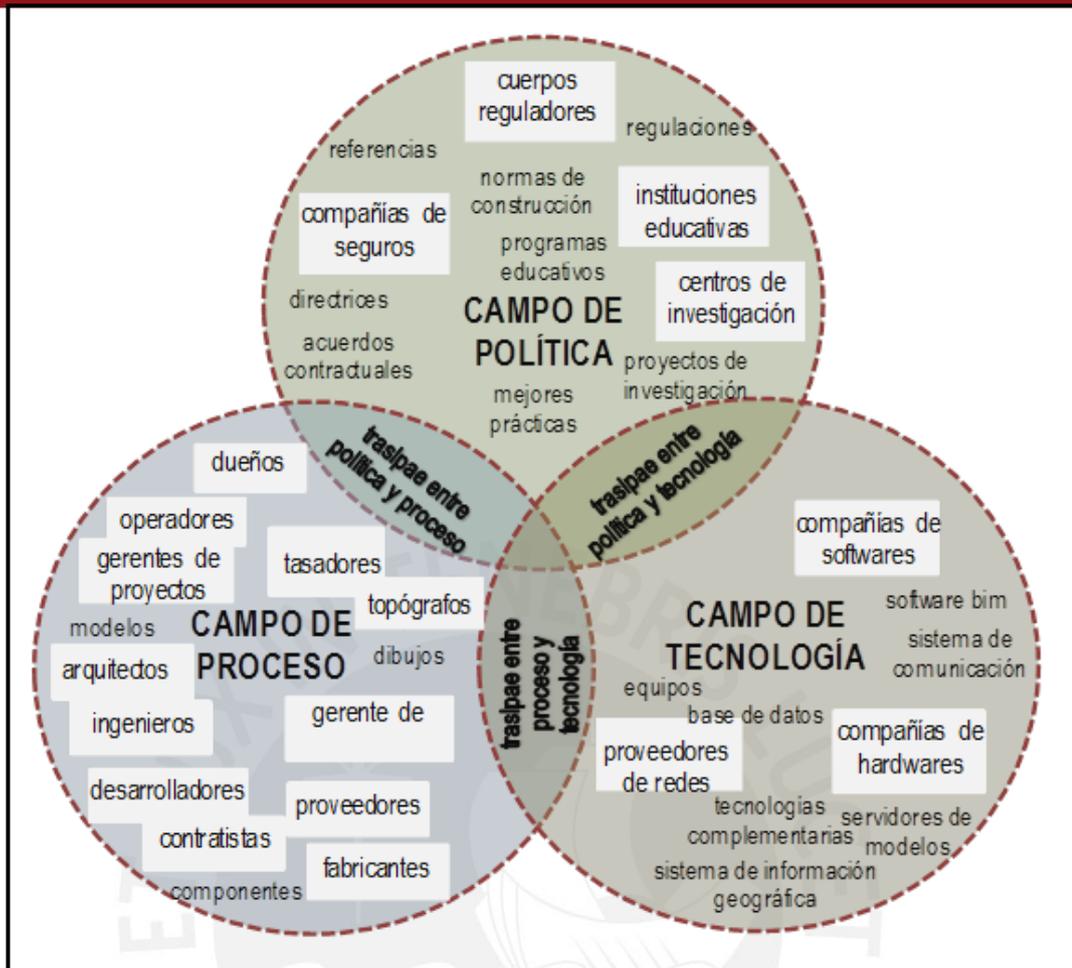
Asimismo, se incorporará la planificación de la seguridad en los diferentes estados de la obra, principalmente en etapa de sótanos y pisos superiores.



**Fig. 33** *Planteamiento del ingeniero Residente para la programación semanal mediante el uso de herramientas BIM. Obra Alba-Marcan*  
*Fuente: Marcan*

## 5.5 IMPLEMENTACIÓN DE GESTIÓN BIM

Reforzando lo representado en la figura 34, la implementación BIM requiere más que sólo adquirir paquetes de software de modelado, de información o de visualización, y capacitar a los futuros ingenieros BIM; es necesario una re-estructuración de los procesos en la organización, respaldado por una serie de políticas, directrices y estrategias innovadoras, con el fin de lograr beneficios significativos transformando el negocio de la construcción. (AUGI, 2013)



**Fig. 34** Componentes de la implementación BIM  
Fuente: Adaptado de Bilal Succar, *Maturity Matrix* (2009)

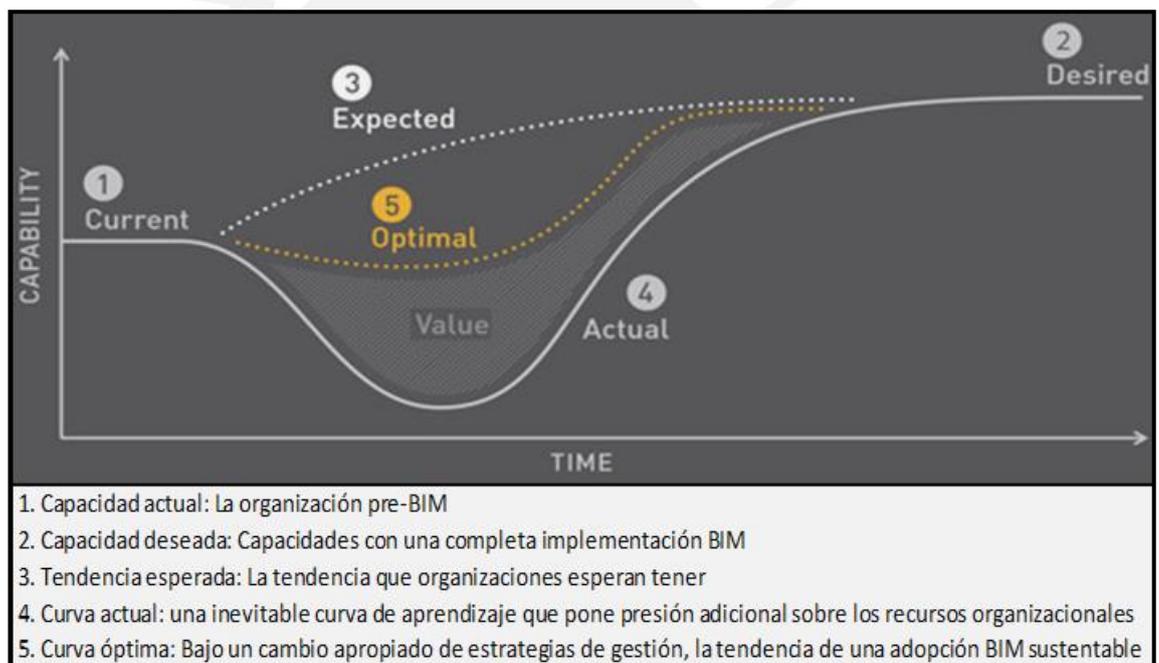
Este cambio en la gestión de la construcción, involucra la elaboración de un plan de implementación como también flexibilidad por parte de los involucrados en la organización para adaptarse a nuevas ideas, metodologías y procesos, con el fin de sobreponerse a los desafíos que este propone.

Se presentarán algunas ideas a tomar en cuenta para lograr una exitosa implementación BIM. Claro está, que dependerá directamente de las actividades a las que se dedica la empresa y los objetivos que se deseen alcanzar.

El incentivo para la adopción BIM, se debe ver reflejado desde los altos mandos de la organización, previamente ilustrados, por lo general, por ingenieros de mandos medio, quienes son los que en la mayoría de empresas siguen las tendencias y mejoras de la industria constructora. Cabe afirmar, que el compromiso debe ser adoptado por todos los niveles de la empresa, siempre con visión investigadora e innovadora.

Paralelamente, requiere tomar en cuenta la exigencia de recursos técnicos y humanos, se debe contemplar los posibles impactos de la implementación, así como los riesgos potenciales mientras se persigue el objetivo. Solamente identificando claramente los beneficios y riesgos, se tendrá una mejor definición de lo que se necesita para la organización; en lo que corresponde a alcances y objetivos.

Tener en consideración, que toda adopción de nuevos conocimientos y puesta en práctica, está vinculada a una curva de aprendizaje. Para alcanzar una curva óptima, es primordial tener claros los objetivos y alineados a los actores principales de la implementación. (Ver Figura 35)



**Fig. 35** Curva J de aprendizaje BIM  
 Fuente: Adaptado de ANGL Consulting

La formación del equipo líder es fundamental, se debe acertar con profesionales comprometidos y entusiastas con el proyecto, con instinto innovador y con habilidades propias para adquirir nuevos conocimientos. Se aconseja contar con un

profesional con experiencia (BIM Manager), que lidere el grupo y además encargarse de asignar los roles y responsabilidades a los miembros del equipo.

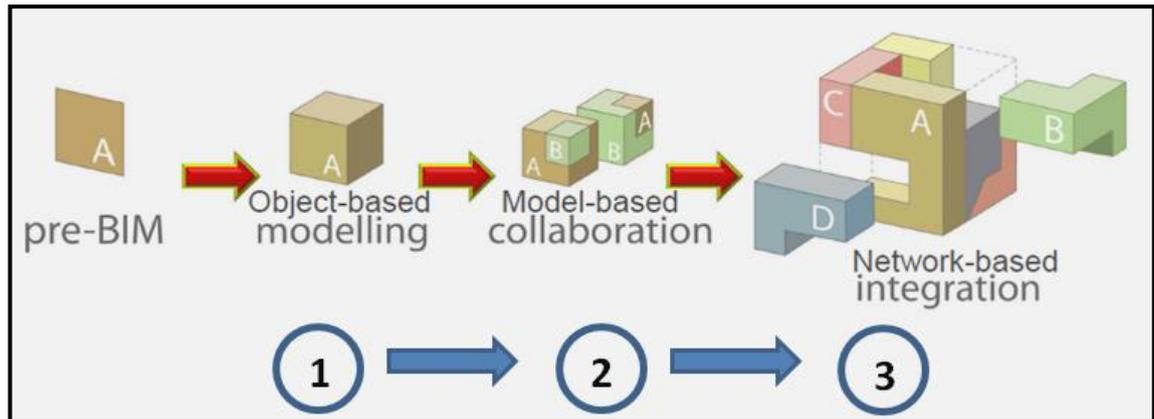
Un manual de estandarización asegura la confiabilidad de la información, tanto proporcionada al modelo, como la obtenida de este. Se busca uniformizar criterios e información, haciéndola más consistente y eficiente. No sólo debe estar enfocado en el proceso de modelado, si no en los nuevos procesos internos en general que nacerán de la implementación. Se debe evitar la duplicidad de esfuerzos, donde cualquier profesional de la organización pueda entender lo que otro ha elaborado, simplemente conociendo el manual de estándares.

Tal como se mencionó al inicio de esta sección, asumir que BIM es netamente tecnología es un grave error. Considerar el impacto de estas nuevas herramientas tecnológicas en los procesos del negocio constructor es primordial para una implementación exitosa. Empezar a ser parte del universo BIM, involucra cambio en los procesos; tales como la forma como se desarrollan los proyectos, la comunicación y colaboración entre los participantes, documentación presentada, entre otros que serán explicados a mayor detalle en la siguiente sección.

Alinear al equipo líder en un conocimiento conjunto acerca de los principios de lo que realmente es BIM, es uno de los desafíos que la implementación propone. Es necesaria, una capacitación externa dirigida al equipo líder BIM, con la finalidad de conocer y manejar el software o herramientas que el mercado ofrece y al mismo tiempo analizar cual se ajusta a los objetivos de la organización. Asimismo, una capacitación interna, dirigida a los usuarios BIM; ingenieros residentes, ingenieros de campo, ingenieros planificadores, gerentes de proyecto y superintendentes de obra. Esto con la finalidad de comprometer a todo el equipo de la organización y hacer que BIM sea el centro de información de los proyectos logrando el acceso y aplicación por parte de todos.

Por último, debemos tomar en cuenta el proyecto con el que conjuntamente se implementará la nueva metodología BIM, siendo de preferencia un proyecto análogo a algún otro anteriormente ejecutado, de manera que se pueda poner

mayor énfasis en la implementación que en el proyecto mismo. Por otro lado, y debido a la poca difusión BIM en el Perú, es conveniente convocar oportunamente a ingenieros proyectistas con la actitud adecuada y con la predisposición de adquirir nuevos conocimientos. Cabe resaltar que, el proceso de adopción BIM no será repentino, por lo contrario, se dará durante un periodo de tiempo, siempre bajo un buen control documentario, buscando la mejora continua y una curva de aprendizaje.



**Fig. 36** Estados de madurez BIM  
Fuente: Bilal Succar (2009)

Bilal Succar, a través del gráfico mostrado, establece tres estados de madurez BIM, precedidos por la etapa Pre-BIM; caracterizada por la forma tradicional de trabajo mediante representaciones en 2D, flujos de trabajo lineales basada en documentos y comunicación no simultánea. La etapa uno, se refiere a la implementación de un software de modelado basado en objetos. El siguiente estado, supone involucrar a la organización a ser parte de este nuevo proyecto multidisciplinario y colaborativo. Finalmente, para alcanzar el tercer estado, la organización debe utilizar una solución basada en una nueva red de procesos, con el fin de transferir información (modelos) entre especialidades.

## 5.6 DEFINICIÓN DE LOS PROCESOS BIM

El Desarrollar un procedimiento de mapeo de procesos BIM para la ejecución de un proyecto, guía al equipo del proyecto para responder específicamente "qué" información debe ser intercambiada, "cuando" durante el proyecto de construcción,

y "quién" es responsable de la creación de la información (BIM Project Execution Planning).

El mapear los procesos permite establecer una base y punto de partida para llevar a cabo una gestión BIM. Se necesita una clara identificación del intercambio de información, de los objetivos, metas, alcances y entregables de cada proceso, con la finalidad de obtener resultados relevantes y confiables; de manera que los involucrados en la gestión BIM puedan entender y gestionar exitosamente la información.

### 5.6.1 Procesos BIM

El siguiente esquema de procesos está basado en la estrategia de trabajo adoptada en la empresa MARCAN INMOBILIARIA CONSTRUCTORA. La misma, establece herramientas 2D para el diseño de ingeniería y posteriormente ser modelados tridimensionalmente, mediante las herramientas BIM.

Cabe recalcar, que el cambio hacia una metodología de diseño abordada inicialmente mediante modelos 3D, involucraría cambios en el esquema.

**ETAPA 01**

**Participación en reuniones de coordinación en etapa de proyecto y diseño**

<b>Entrada</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presentación del nuevo proyecto a realizarse.</li> <li>- Alcance del proyecto.</li> <li>- Equipamiento para desarrollo de la ingeniería.</li> <li>- Acabados para desarrollo de la ingeniería.</li> <li>- Projectistas designados.</li> </ul>

<b>Proceso</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaboración de criterios de diseño para las instalaciones.</li> <li>- Elaboración de cuadro de acabados.</li> <li>- Elaboración de especificaciones técnicas del proyecto.</li> </ul>

<b>Salida</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planos de diseño pre-finales de las diferentes especialidades</li> </ul>

**ETAPA 02**

**Modelado estructural y arquitectónico (tren de trabajo)**

<b>Entrada</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planos de diseño pre-finales de estructuras y arquitectura.</li> <li>- Designación de modeladores a cada especialidad.</li> <li>- Estrategia de trabajo y modelado.</li> </ul>

<b>Proceso</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisión preliminar de planos.</li> <li>- Utilización de plantillas y familias en REVIT.</li> <li>- Modelado estructural.</li> <li>- Modelado arquitectónico.</li> <li>- Elaboración de lista de incompatibilidades durante el modelado.</li> <li>- Establecer contacto con el encargado del proyecto por parte de la empresa proyectista</li> </ul>

<b>Salida</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modelo estructural y arquitectónico en REVIT.</li> <li>- Programar sesiones internas.</li> <li>- Revisión integral de lista de incompatibilidades.</li> <li>- Entrega de Metrados preliminares para presupuesto.(tablas de planificación)</li> </ul>

**ETAPA 03**  
**Sesiones de Coordinación BIM internas**

<b>Entrada</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lista de incompatibilidades</li> <li>- Programación de sesión interna con ingenieros/arquitectos/gerentes de proyecto internos.</li> </ul>

<b>Proceso</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisión de lista de incompatibilidades.</li> <li>- Validación de las consultas para sesión de coordinación.</li> </ul>

<b>Salida</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lista de incompatibilidades preliminar</li> <li>- Programación de sesión de coordinación con proyectistas e ingenieros internos.</li> </ul>

**ETAPA 04**  
**Sesiones de Coordinación BIM**

<b>Entrada</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lista de incompatibilidades preliminar.</li> <li>- Habilitación de sala BIM.</li> <li>- Documentación entregada a proyectistas presentes.</li> <li>- Programación de sesión de coordinación con proyectistas e ingenieros internos.</li> </ul>
<b>Proceso</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisión de lista de incompatibilidades.</li> <li>- Presentación de incompatibilidades.</li> <li>- Visualización del modelo y planos.</li> <li>- Aporte de constructabilidad.</li> <li>- Absolución integral de consultas.</li> </ul>
<b>Salida</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lista de incompatibilidades resuelta.                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Parcialmente; convocar a una nueva sesión de coordinación.</li> <li>• Totalmente; cerrar sesiones de coordinación y quedar a la espera de nuevos planos replanteados.</li> </ul> </li> <li>- Envío, seguimiento y control de proyectistas. (Tiempo de respuesta).</li> <li>- Ampliación de lista de incompatibilidades (nuevas consultas).</li> </ul>

**ETAPA 05****Recepción de planos replanteados**

<b>Entrada</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Lista de incompatibilidades resuelta parcial/totalmente.</li><li>- Planos replanteados por proyectistas.</li></ul>
<b>Proceso</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Verificación de consultas levantadas 1x1 de la lista de incompatibilidades.</li></ul>
<b>Salida</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Lista de incompatibilidades levantada:<ul style="list-style-type: none"><li>• Parcialmente; exigir nuevo replanteo de planos.</li><li>• Totalmente; planos enviados a obra.</li></ul></li><li>- Actualizar modelos en base a nuevos planos.</li></ul>

**ETAPA 06****Revisión de planos de las especialidades de instalaciones****Tipo A – Revisión de planos en físico**

<b>Entrada</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planos de instalaciones eléctricas, sanitarias, ACI, mecánicas, gas.</li> <li>- Impresión de planos.</li> <li>- Recibir cambios en el proyecto por parte de gerencia de proyectos.</li> </ul>

<b>Proceso</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificación de cumplimiento de criterios de diseño entregados a los proyectistas en la etapa de proyecto.</li> <li>- Verificación de recorridos líneas de desagüe, agua, eléctricas, etc.</li> <li>- Ubicación de aparatos según arquitectura.</li> <li>- Ubicación de tableros en dptos. U otras áreas.</li> <li>- Verificación de esquema de tablero unifilar.</li> <li>- Verificación de ubicación de montantes de desagüe.</li> </ul>

<b>Salida</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entrega de planos en físico a proyectistas con nuevos recorridos y observaciones.</li> <li>- Entrega de lista de observaciones a proyectistas.</li> <li>- Seguimiento a proyectistas para entrega de planos replanteados.</li> </ul>

**Tipo B – Revisión de planos en AutoCAD**

<b>Entrada</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planos de instalaciones eléctricas, sanitarias, ACI, mecánicas, gas.</li> <li>- Recibir cambios en el proyecto por parte de gerencia de proyectos.</li> </ul>

<b>Proceso</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verificación de cumplimiento de criterios de diseño entregados a los proyectistas en la etapa de proyecto.</li> <li>- Verificación de recorridos líneas de desagüe, agua, eléctricas, etc.</li> <li>- Ubicación de aparatos según arquitectura.</li> <li>- Ubicación de tableros en dptos. U otras áreas.</li> <li>- Verificación de esquema de tablero unifilar.</li> <li>- Verificación de ubicación de montantes de desagüe.</li> <li>- Nubes de observaciones en planos para replanteo.</li> </ul>

<b>Salida</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entrega de planos en AUTOCAD a proyectistas con observaciones.</li> <li>- Seguimiento a proyectistas para entrega de planos replanteados.</li> </ul>

**ETAPA 07**  
**Modelado MEP**

<b>Entrada</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Planos replanteados de las especialidades: IISS, IIEE, IIMM, IIGG.</li></ul>

<b>Proceso</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Utilización de plantillas y familias en REVIT.</li><li>- Modelado de cada especialidad mediante modelos vinculados.</li><li>- Elaboración de lista de incompatibilidades durante el modelado.</li></ul>

<b>Salida</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Modelo MEP del proyecto en REVIT de cada especialidad.</li><li>- Programar sesión interna para levantar observaciones.</li><li>- Replanteo de planos.</li></ul>

**ETAPA 08**  
**Compatibilización en Navisworks**

<b>Entrada</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planos replanteados de todas las especialidades.</li> <li>- Modelos actualizados de todas las especialidades.</li> </ul>
<b>Proceso</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Importar todos los modelos de REVIT al NAVISWORKS.</li> <li>- Hacer recorridos virtuales en sesiones internas.</li> <li>- Hacer detección de cruces físicos.</li> </ul>
<b>Salida</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modificar planos (cotas, recorridos) para evitar cruces entre especialidades.</li> <li>- Consultas a los proyectistas, en caso involucre el diseño.</li> <li>- Entrega de planos finales a obra.</li> <li>- Entrega de modelo NAVISWORKS a obra.</li> </ul>

**ETAPA 09**  
**Planificación 4D (Estructuras)**

<b>Entrada</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Planos finales de estructuras.</li> <li>- Modelo final en REVIT de estructuras.</li> <li>- Esquema de sectorización.</li> <li>- Planteamiento inicial de ejecución de obra.</li> </ul>
<b>Proceso</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sectorización dinámica 4D en REVIT.</li> <li>- Planificación maestra 4D en NAVISWORKS.</li> <li>- Presentación de Site-Layouts para obra.</li> </ul>
<b>Salida</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sectorización 4D con cargas de trabajo balanceadas y Metrados precisos.</li> <li>- Ejecución virtual de la obra en NAVISWORKS.</li> <li>- Verificación del tren de trabajo de la sectorización en 4D.</li> <li>- Presentación de seguridad de obra y vecinos.</li> </ul>

**ETAPA 10**  
**BIM en obra**

<b>Entrada</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Planos finales de estructuras.</li><li>- Modelos finales en REVIT de estructuras.</li><li>- Modelos finales en NAVISWORKS.</li></ul>

<b>Proceso</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Elaboración de planes semanales 4D.</li><li>- Elaboración de Lookahead 4D.</li><li>- Elaboración de nuevos Site-Layouts para diferentes estados de la obra.</li></ul>

<b>Salida</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Entrega a Maestro de obra o capataces, imágenes en 3D de zonas con alto nivel de interpretación geométrica.</li><li>- Panel fotográfico en obra con la planificación propuesta en 3D.</li><li>- Reuniones de obra utilizando una simulación 4D.</li></ul>

## ESQUEMA GENERAL DE PROCESOS

### Anexo 2. Esquema de procesos BIM

## 6 CASO DE ESTUDIO: APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS INTEGRADAS BIM 4D EN PROYECTO DE CONSTRUCCION

### 6.1 PRESENTACIÓN DEL ESTUDIO

Este caso de éxito evidenció los beneficios de las herramientas BIM 4D en la etapa de planificación y control de una obra, así como su impacto positivo en la calidad y tiempo de los procesos constructivos. Paralelamente se potenciaron las herramientas Last Planner de la filosofía Lean Construction, las cuales se vieron fortalecidas mediante modelos de visualización.

### 6.2 CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

El proyecto Mara es un edificio multifamiliar gerenciado y construido por la empresa Marcan. Se ubica en la Av. Tejada 430 en el distrito de Barranco, Lima, Perú. Consta de un área techada de 11,316 m<sup>2</sup> en un terreno de 1,514 m<sup>2</sup>. Cuenta con 7 pisos (N+23.24) y 3 sótanos (N-12.15).

Debido a su distribución basada en tres torres y un patio central, hicieron que el proyecto tenga una geometría y estructura compleja e independiente, con varios frentes y fachadas; vigas invertidas de gran peralte y elementos verticales con geometrías variables; haciendo del proyecto un gran reto constructivo, dándose un plazo de 18 meses para la entrega de la obra.

#### Datos adicionales:

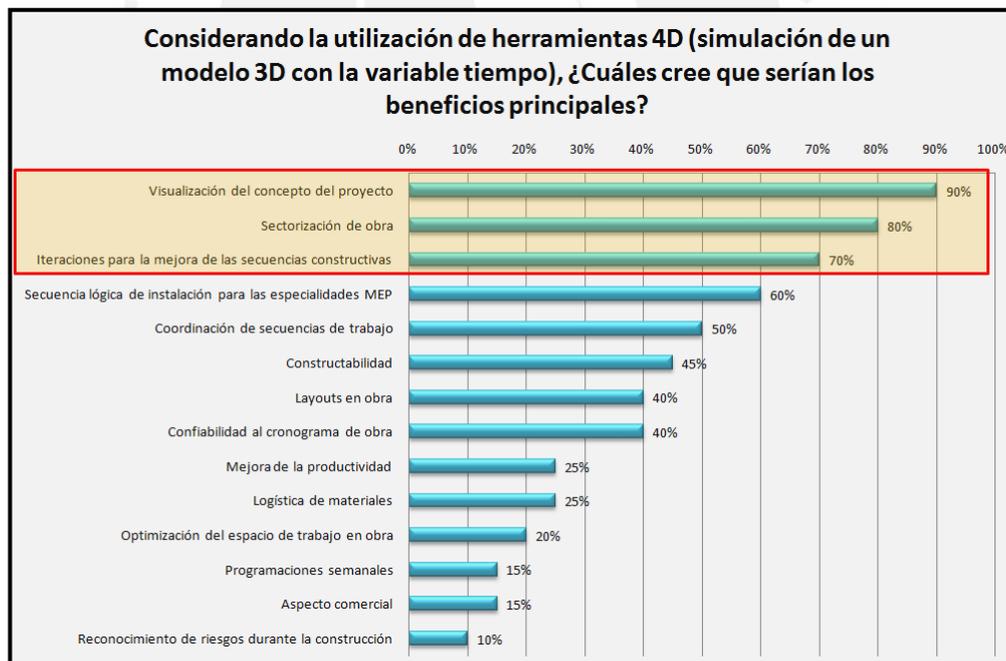
- 28,076m<sup>2</sup> de Encofrado.
- 3,218m<sup>3</sup> de Concreto.
- 208 toneladas de Acero.

### 6.3 ESTRATEGIA BIM

#### 6.3.1 Objetivos del modelado

- Visualización y análisis de la planificación de obra.
- Mejor entendimiento de lo programado para las actividades a ejecutar.
- Mejorar el flujo de información entre los participantes incorporando herramientas de visualización en obra.
- Mejorar el entorno y medio de comunicación entre los involucrados en obra.
- Identificación de problemas durante el flujo de la obra.
- Empezar la práctica de la ingeniería integrada mediante reuniones con todos los participantes en la obra.
- Mejorar la productividad del personal obrero, haciendo un análisis antes y después de implementar herramientas BIM de planificación.

Se buscó alinear los objetivos del estudio con los resultados obtenidos en la encuesta presentada al inicio del documento.



**Fig. 37** Beneficios de implementar herramientas BIM-4D en la etapa de planificación.  
Fuente: Encuesta propia, Conocimientos BIM en la industria de la construcción.

### 6.3.2 Propósito

Incorporar herramientas BIM-4D en la etapa de planificación antes y durante la ejecución de obra; con el fin de optimizar la comunicación entre oficina técnica y personal obrero, aumentar la productividad en la ejecución de las actividades e integrar BIM con las herramientas de planificación.

### 6.3.3 Recursos tecnológicos

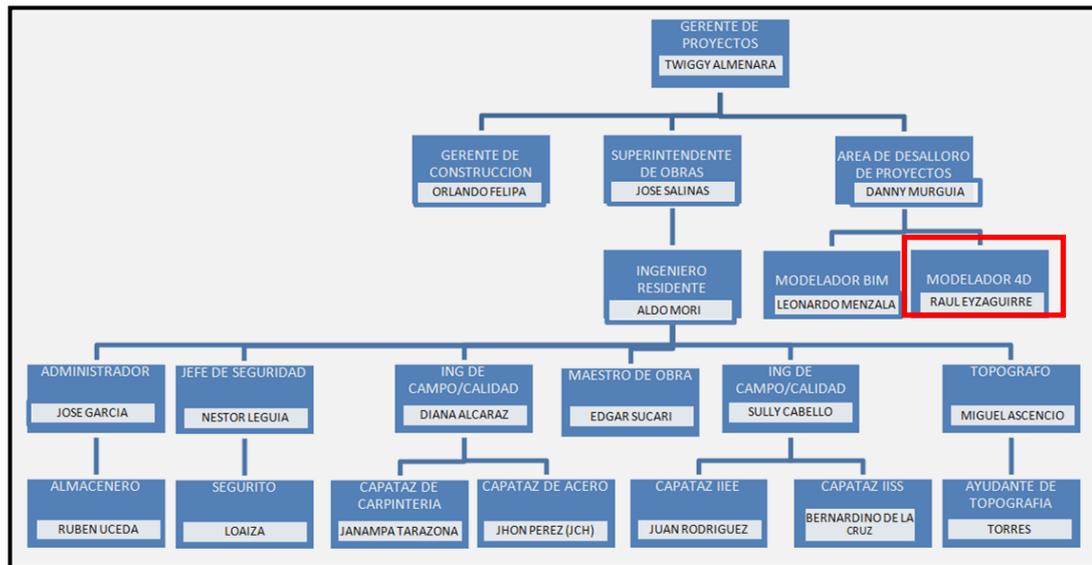
En lo correspondiente al software, se utilizó básicamente el Revit 2013; como software base de modelado y el Navisworks 2013 como software integrador BIM, principalmente para la vinculación del cronograma de obra con el modelo 3D.

En lo correspondiente al hardware, se utilizó una desktop con las siguientes características básicas:

- 6GB Memoria RAM
- 1GB Video
- Procesador i7
- Monitor 22" 1080p

Asimismo, se utilizó la sala de reuniones de obra para llevar a cabo las sesiones de Coordinación BIM.

### 6.3.4 Estructura Organizacional



**Fig. 38** Estructura organizacional de obra.  
 Fuente: Obra Mara, Marcan Inmobiliaria y Constructora

### 6.3.5 Criterios de Modelado

En casos donde el modelo en 3D no se encuentre bajo condiciones propicias para elaborar un modelo 4D, se modificarán algunos criterios de modelado con el fin de optimizar la precisión del modelo final. Cabe recalcar, que al empezar a modelar un proyecto, se debe establecer previamente, cuál será su finalidad, de tal manera se podrá afinar o desestimar algunos elementos propios del modelo (nivel de detalle), permitiéndonos ahorrar tiempo en el proceso de modelado.

En el presente caso de estudio, el modelo 3D no alcanzaba el nivel de detalle deseado para elaborar un modelo 4D, por lo que se adoptaron algunas medidas de corrección al modelo para realizar una planificación precisa.

Se presentan criterios básicos del modelado 4D:

- Vigas cortadas a los tercios para sectorización.
- Losas cortadas a los tercios (en caso se sectorice el vaciado de concreto, para el encofrado no es necesario)
- Columnas modeladas hasta el fondo de viga, generando un nudo entre viga y columna; con la finalidad de afinar los Metrados.
- Placas cortadas a fondo de viga, generando un nudo entre viga y placa; con la finalidad de afinar los Metrados.

- Creación de nuevos parámetros para los elementos. Ejemplos: Día programado, Día ejecutado, Sector, Torre.
- Tablas de planificación en base a los sectores o días programados.
- Creación de filtros para asignación de colores en base a la sectorización, logrando una mejor distinción entre sectores o áreas.
- Creación de parámetros de planificación y asignación de fases de construcción.

## 6.4 GESTIÓN Y EJECUCIÓN BIM

### 6.4.1 Etapa de Diseño de Ingeniería

Se desarrolló el diseño de ingeniería del proyecto correspondiente a las especialidades de Arquitectura, Estructuras, Instalaciones Sanitarias, Instalaciones Eléctricas, Instalaciones Mecánicas e Instalaciones Contra Incendios; mediante proyectistas externos. Los entregables proporcionados por los ingenieros proyectistas estaban basados en planos (representaciones 2D) entregados en formato dwg (formato de AutoCAD).

### 6.4.2 Etapa de Desarrollo del Diseño y Planificación

#### Verificación de criterios mínimos de diseño

Marcan establece criterios de diseño para cada proyecto los cuales son presentados a las empresas proyectistas para que sean tomados en cuenta en el diseño de ingeniería. Este proceso se basa en corroborar el cumplimiento de estos y verificar su incorporación en los planos.

#### Anexo 3. Reunión Área de Desarrollo de Proyectos (ADP)

#### Modelado del proyecto mediante herramientas BIM-3D

El modelado 3D del proyecto se realizó progresivamente a medida que se recibían los planos actualizados de las diferentes especialidades. La empresa Marcan a través del área de Desarrollo de Proyectos (ADP) se encargó de este proceso. En principio se modelaron las especialidades de Arquitectura y Estructuras, las cuales ayudaron en gran medida a la identificación de incompatibilidades, aporte de

constructabilidad al proyecto, detección de errores en planos y discernir acerca de las distintas interpretaciones geométricas de las líneas plasmadas en los planos.

#### **Anexo 4.** Modelo de especialidad Arquitectura

#### **Anexo 5.** Modelo de especialidad Estructuras

El modelado 3D de las instalaciones, se realizó una vez culminada la revisión y definición de los modelos de Arquitectura y Estructuras. Se dirigieron mayormente los esfuerzos en la revisión de los sótanos, donde, en base a experiencias pasadas, se presentaban la mayor cantidad de problemas. Por lo tanto se modelaron las especialidades de Instalaciones Sanitarias, tales como tuberías de desagüe colgadas y enterradas, tuberías de ventilación, tuberías de agua fría y montantes de agua y desagüe; Instalaciones Eléctricas, tales como alimentadores eléctricos, bandejas eléctricas, cajas de paso, medidores y montantes eléctricas; Instalaciones Mecánicas, tales como ductos y equipos, Instalaciones ACI, tales como tuberías de impulsión, tuberías de derivación, rociadores y montantes hacia los gabinetes contra incendio.

#### **Anexo 6.** Modelo de especialidad de Instalaciones Sanitarias

#### **Anexo 7.** Modelo de especialidad de Instalaciones Eléctricas

#### **Anexo 8.** Modelo de especialidad de Instalaciones ACI

### **Procesamiento de consultas y reuniones con proyectistas**

Durante el modelado de Arquitectura y Estructuras, se encontraron inicialmente 75 observaciones, las cuales en primera instancia, fueron validadas a través de sesiones de coordinación BIM internas, con la participación del gerente de proyecto, ingeniero superintendente de obras, ingeniero jefe de ADP (Jefe BIM) y modeladores BIM; con el objetivo de aportar desde distintos enfoques y especialidades, a la constructabilidad del proyecto, obteniendo una lista desarrollada de incompatibilidades, destinadas a ser resueltas ya con la incorporación de los proyectistas encargados. Cabe mencionar, que durante estas

sesiones y mientras se iba recorriendo el modelo 3D, se detectaban aún más observaciones, las cuales eran incluidas en la lista.

#### **Anexo 9. Sesiones de coordinación BIM internas**

Finalmente se encontraron 115 incompatibilidades, número que representa las observaciones encontradas durante el modelado, observaciones desestimadas en la reunión y otras encontradas durante las sesiones internas. Estas fueron subsanadas por intermedio de sesiones de coordinación, las cuales eran abordadas semanalmente y con la adicional participación de los coordinadores proyectistas de Arquitectura y Estructura.

#### **Anexo 10. Lista de incompatibilidades de Estructuras y Arquitectura**

#### **Anexo 11. Sesiones de coordinación BIM con proyectistas**

En lo que respecta a las instalaciones eléctricas, sanitarias y de agua contra incendio, se encontraron alrededor de 81 incompatibilidades adicionales. Igualmente, fueron resueltas bajo la misma metodología de trabajo.

#### **Anexo 12. Reporte de incompatibilidades de Instalaciones**

### **Definición del proyecto y planos finales para construcción**

Las observaciones encontradas y resueltas conjuntamente, son enviadas a los proyectistas para la corrección de los planos correspondientes. En este punto, es necesario llevar un control de levantamiento de observaciones y una agenda de visitas a las oficinas de los proyectistas, con el fin de garantizar que todas las consultas sean plasmadas en los planos y según los acuerdos llegados en las sesiones. Adicionalmente, los modelos serán actualizados según los últimos planos entregados para finalmente ser entregados a obra.

## Planificación de la construcción mediante herramientas BIM-4D

El desarrollo de la planificación BIM-4D, se basó exclusivamente en la especialidad estructural, teniendo como base los planos entregados por los proyectistas y el modelo 3D de estructuras elaborado en Revit.

De acuerdo a lo mencionado en los criterios de modelado, se vio la necesidad de modificar algunos elementos modelados en la especialidad de estructuras, con el fin de aportar precisión y confiabilidad al proceso.

El inicio de la planificación 4D se realizó mediante la elaboración de la sectorización de la etapa de sótanos, esta actividad se realizó en la Oficina Central y se programaban reuniones periódicas con los ingenieros responsables de obra, en donde se planteaban nuevas opciones de sectorización en base a índices de producción, experiencias anteriores, cantidad de personal y metrados. La utilización de herramientas BIM favoreció la rápida obtención de resultados durante la constante iteración entre las opciones de sectorización propuestas. Es decir, mientras que en la reunión se planteaban posibles alternativas de sectorización, en el Revit se iba cambiando de color los elementos, los cuales asimismo estaban asociados a un sector específico, dando como resultado inmediato los metrados del nuevo esquema sectorizado. Logrando un entorno más dinámico, eficiente y con resultados eficaces prestos a evaluación.

**Anexo 13.** Proceso de sectorización en oficina central Marcan.

**Anexo 14.** Modelo sectorizado con metrados tipo A.

**Anexo 15.** Modelo sectorizado con metrados tipo B.

**Anexo 16.** Reuniones en obra analizando las opciones de sectorización.

Durante la etapa final de construcción de los muros anclados de los sótanos, se sugirió el aporte BIM en lo que corresponde a la coordinación de espacios de trabajo, ubicación de obras provisionales, materiales y lo correspondiente a la seguridad tanto para el personal obrero como para vecinos. Se presentó la planificación de los espacios en base a modelos 3D, los cuales aportaron a la visualización y mejor comprensión de la circulación en obra, zonas de seguridad y de riesgo, observación y cuidado de edificaciones vecinas, y al correcto transcurrir de la obra.

**Anexo 17.** Plan de seguridad para obra.

**Anexo 18.** Plan de seguridad para vecinos.

**Anexo 19.** Planificación de espacios, equipos y obras provisionales.

En una de las visitas a obra, las cuales se realizaban 1 vez por semana, se vio la necesidad de plantear una programación semanal 4D para el enlace entre la etapa de cimentación y el techado de sótanos, el cual siempre ha conllevado desorden y retrasos en obra. Se desarrolló según los requerimientos de tiempo, personal obrero presente en obra y la productividad asociada. El plan contempló metrados de encofrado y concreto, así como rendimientos por cuadrillas según la actividad a realizar.

**Anexo 20.** Proceso de modelado de planificación semanal 4D en etapa de sótanos.

El plan fue presentado en reunión de obra, junto a los capataces e ingenieros. Esta simulación de la planificación, favoreció al mejor entendimiento de lo buscado, además, debido a la incorporación de metrados en la visualización del plan, se presentaron requerimientos de personal de parte de los capataces con el fin de cumplir lo establecido. Se evidenció por parte de los asistentes gran recibimiento en la incorporación de herramientas BIM 4D durante las sesiones de producción, solicitando más sesiones de trabajo reuniendo herramientas de visualización, ya que impulsan la cooperación y coordinación entre los involucrados.

**Anexo 21.** Planificación semanal 4D en etapa de sótanos.

Habiéndose difundido y comprendido los beneficios de las herramientas BIM durante la planificación y ejecución de obra, se realizó del mismo modo la etapa de pisos superiores. Tal y como se procedió en la etapa de sótanos, se programaron reuniones en obra con apoyo de herramientas BIM-4D, con el propósito de identificar, analizar y optimizar, primero el proceso de sectorización y planificación semanal, y paralelamente el entorno de intercambio de información en obra. Se presentó la sectorización de pisos superiores con metrados y una simulación 4D del tren de actividades correspondiente a dos niveles consecutivos; cada uno, con su correspondiente análisis de rendimientos, horas hombre y cantidad de cuadrillas de trabajo para el encofrado y vaciado de concreto.

- Anexo 22.** Presentación de sectorización de pisos superiores.
- Anexo 23.** Modelo sectorizado con metrados de pisos superiores
- Anexo 24.** Simulación 4D de tren de actividades de dos pisos consecutivos.
- Anexo 25.** Simulación 4D de tren de actividades en etapa de sótanos.

Finalmente, se complementó la visualización anticipada del proyecto mediante recorridos virtuales durante sesiones de producción. Se lograron obtener algunas observaciones referentes a ubicación en alturas de las instalaciones colgadas en sótanos, las cuales involucran las instalaciones de desagüe, agua, ventilación, alimentadores eléctricos y agua contra incendio. Asimismo, se analizó y comentó la secuencia lógica de instalación de tuberías.

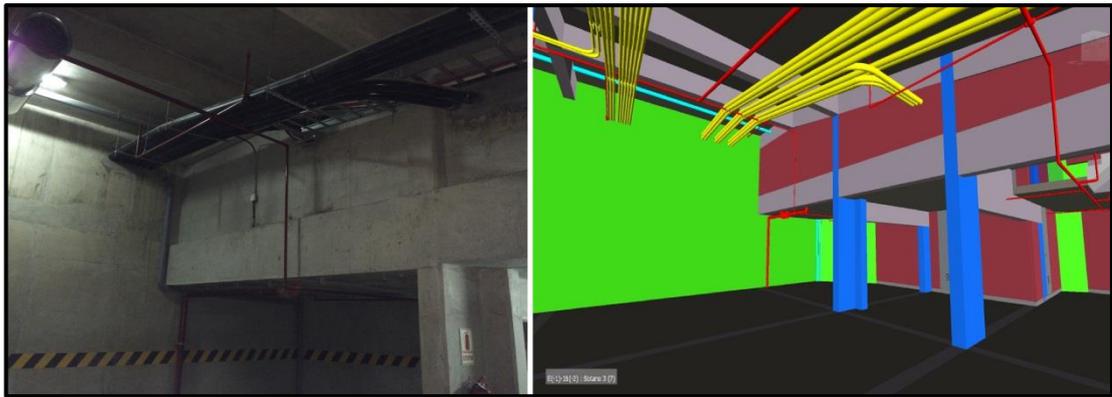
- Anexo 26.** Recorrido virtual mostrado en reunión de producción.

## **6.5 RESULTADOS DE LA EJECUCIÓN BIM**

La participación colaborativa e integrada del personal involucrado en la obra, incluyendo desde obreros ayudantes hasta los mismos ingenieros, significó la gran acogida de las herramientas BIM. Así lo evidencia la Ingeniera de Producción, Diana Alcarraz: “En la etapa de construcción, BIM nos fue de gran ayuda y utilidad por la facilidad de visualización que nos brindó desde inicios de la obra para el planeamiento. En nuestras reuniones de obra, nos facilitaba la coordinación con los capataces, se establecía la programación de las siguientes semanas, se usaba el modelo para realizar cortes y se imprimía para el maestro y capataces, el personal de obra se vio muy involucrado respecto a esta tecnología y es algo que hay que continuar desarrollando e impulsando.”.

La visualización tridimensional ayudó en gran forma a la concepción de lo que se pretendía. Además a solucionar problemas en donde la interpretación geométrica

en dos dimensiones no bastaba para realizar las tareas o actividades asignadas. “Anteriormente se necesitaba un nivel de abstracción e imaginación mucho mayor, lo cual te demandaba más tiempo. Sin embargo, hoy con la ayuda de imágenes, simulaciones y recorridos en tres dimensiones, podemos entender y transmitir la idea rápidamente y completar eficientemente la tarea asignada”, Edgar Sucari, Maestro de obra.



**Fig. 39** Comparativo visual entre modelo virtual y obra.  
Fuente: Marcan

**Anexo 27.** Fotos comparativas: Real vs Modelo 3D

**Anexo 28.** Álbum imágenes 3D en obra

Las consultas del personal obrero, las cuales generalmente eran expresadas durante el desarrollo de sus correspondientes actividades de producción, se trasladaron a un entorno virtual. Así lo concluye la Ingeniera de Calidad, Sully Cabello, “El poder hacer los recorridos 4D y visualizar con anticipación las actividades a ejecutar, genera que el personal de obra realmente trabaje en equipo, donde pueden expresar sus dudas y además ser resueltas de manera conjunta, siempre manteniendo los objetivos del proyecto”.

Es decir, se generaban las consultas anticipadamente durante las reuniones de producción BIM, logrando anticiparse a los problemas inherentes en la misma obra. Logrando así, menos consultas por parte de los capataces y obreros durante el

desarrollo de sus actividades, y mayor cantidad durante las sesiones de producción mediante tecnología BIM. Durante estos encuentros semanales de producción, se evidenció colaboración entre los participantes, intenso flujo de información y una metodología dinámica y activa por parte de todos; donde la mayoría aportó desde su experiencia y especialidad con un único fin en común, que el proyecto sea exitoso.

### **Anexo 29.** Reunión de producción en obra Mara

“Las reuniones BIM con los subcontratistas fueron realmente beneficiosas, si bien es cierto todos los subcontratistas del rubro saben leer planos, no tiene punto de comparación poder ver el edificio listo, lo que permitía mostrar a los mismos la zona de interés, identificando nuestras necesidades con mayor rapidez y así ellos puedan expresar sus preocupaciones respecto a una actividad en específico”, Aldo Mori, Ingeniero Residente de obra.

El aumento de la productividad, atribuible hasta cierto modo, a la aplicación de herramientas de visualización, representa un caso válido y positivo.

Según la carta balance anexada, en la que a través de la comparación entre las mediciones antes y después de implementar BIM, se muestra un ligero incremento en el trabajo productivo, disminuyendo el trabajo contributivo y el no contributivo. Si bien los resultados pueden resultar relativos, teniendo como frecuentes variables el incentivo del trabajador, el día de la semana, el espacio en el cual se desempeña la actividad, entre otras; demostraron en cierta forma, una mejora en la actividad a desarrollar por parte del personal obrero, mediante una concreta y precisa concepción de los trabajos previos a su ejecución, un ordenamiento del espacio de trabajo mejor distribuido y a menos consultas formuladas a los capataces.

### **Anexo 30.** Medición general de productividad pre-BIM en pisos superiores (Carta Balance) – Fuente: Marcan

### **Anexo 31.** Medición general de productividad post-BIM en pisos superiores (Carta Balance) – Fuente: Marcan

Los requerimientos de información durante la etapa de ejecución fueron mínimos, donde el 97% del total de RFI fueron resueltos antes del inicio de obra y sólo se presentaron el 3% restante durante el desarrollo de esta. Sin duda, esto indica una cantidad menor de trabajos rehechos, menos tiempo perdido en esperas, menos

trabajos fuera de horario, un flujo de obra más continuo y sin trabas o inconvenientes y además de ofrecer confiabilidad a los trabajadores en su trabajo. “Cabe recalcar, que en la etapa de casco tuvimos una baja cantidad de RFI, los cuales correspondían en su mayoría a sugerencias, confirmaciones de información, aclaraciones de alguna especificación, mas no por interferencias, esto gracias a que se tuvo un buena gestión para el levantamiento de incompatibilidades en las especialidades del proyecto en etapas previas. Es claro que si no hubiésemos contado con el proceso previo de la revisión de la información del proyecto en la etapa de diseño, los tiempos de espera que se hubiesen generado en obra habrían impactado directamente en los plazos y costo del proyecto, asimismo la calidad se hubiera visto afectada.” Así lo explica la Ingeniera de Producción, Diana Alcarraz.

### **Anexo 32.** Gráfico comparativo: Cantidad RFI preBIM vs RFI postBIM

La elaboración de los modelos 4D requiere de tiempo y coordinación constante con el ingeniero encargado del planeamiento. Por esta razón, se decidió asignar un ingeniero BIM en la obra, con el objetivo de hacer el seguimiento y control de la planificación. Así lo sostiene Aldo Mori, Ingeniero Residente de la obra, “La construcción es muy dinámica, planificas una actividad, y por alguna razón cambia inmediatamente, por lo que las reuniones de coordinación tienen que tener la capacidad de poder seguir estos cambios constantes para poder hacer uso de la herramienta constantemente”.

En este proyecto, se calculó el tiempo empleado para el modelado de la sectorización 4D, en el que se emplearon 15 y 10 horas, tanto de la etapa de sótanos como de torre respectivamente. Cabe mencionar, que definitivamente los beneficios que conlleva esta inversión en modelado, se vieron reflejados en las metas a corto plazo trazadas y alcanzadas; logrando emparejarse con el cronograma de obra, el cual estaba atrasado 1 semana, por temas municipales.

“Hemos evitado hacer pases en vigas innecesarios, mejorar y optimizar los diseños, ayudó a tener claro un objetivo de equipo gracias a la visualización de la meta semanal y así respetar el trabajo de todos”, Sully Cabello, Ingeniera de Calidad.

### Anexo 33. Horas hombre empleadas en el modelado 4D

“Una de las etapas más importantes fue el inicio del proyecto. Antes de la etapa de ejecución de obra, se realizaron sesiones de coordinación BIM, donde hemos podido visualizar varios errores que se presentaban al momento de compatibilizar los planos de todas las especialidades”, Aldo Mori, Ingeniero Residente de obra.

Se agruparon las incompatibilidades encontradas en el proyecto, en un reporte en formato de Excel, en el que, se detallaban cada una de las observaciones hechas al proyecto y posteriormente los acuerdos concertados en las sesiones de Coordinación BIM. Asimismo, para las incompatibilidades relacionadas a las especialidades de Instalaciones, se acordó en añadir dos campos llamados, fuente de consulta y gravedad de la consulta; en los cuales se precisa tanto la causa de la incompatibilidad y el nivel de gravedad o impacto en el proyecto, respectivamente. Se analizó el parámetro “fuente de consulta”, con el fin de conocer el origen principal de las incompatibilidades en dicho proyecto, así como su relación en porcentaje con las demás variables de dicho parámetro. El parámetro restante “gravedad de la consulta”, fue añadido para generar una estimación de los costos en los que se hubiese incurrido, en el caso que no se hubiesen detectado las interferencias a tiempo. En este caso, se relacionaron los índices de gravedad con algunos costos fijos, según experiencias pasadas.

Los resultados mostraron que las tres fuentes de consulta con mayor índice de frecuencia fueron la denominada cruce físico, el cual correspondía a interferencias debido a cruces entre elementos de distintas especialidades; propuesta de mejora mediante modelo 3D, la cual proponía mejoras en el diseño por intermedio de la visualización tridimensional; y la falta de coordinación entre especialistas, clasificado según errores identificados en los planos entregados por los proyectistas.

- Anexo 34.** Cantidad por tipo de incompatibilidades encontradas
- Anexo 35.** Descripción de las fuentes de consulta
- Anexo 36.** Lista de índices de gravedad y costos asociados
- Anexo 37.** Procesos del Área de Desarrollo de Proyectos - Marcan
- Anexo 38.** Costo aproximado asignado a cada incompatibilidad encontrada antes de la obra con herramientas BIM.

Asimismo, es importante resaltar los beneficios y retos que propone el uso de metodología BIM, percibidos por los mismos ingenieros en la obra, con el objetivo de mejorar continuamente y estandarizar las buenas prácticas desarrolladas.

“Personalmente, creo que la metodología BIM es sumamente útil para construcción. Considero que los ingenieros de mayor experiencia y con poca cercanía a la tecnología, deben capacitarse para que sepan el potencial que se puede alcanzar, con dichas herramientas. Creo que es indispensable trabajar con BIM, disminuimos las incertidumbres, nos comunicamos y gestionamos mejor, es una herramienta muy potente para todo constructor”, Aldo Mori, Ingeniero Residente de obra.

“Debemos continuar desarrollándolo y aprovechar al máximo esta tecnología, y aplicarla en todo el ciclo de vida del proyecto es a lo que se desea llegar involucrando desde un inicio a los involucrados. Y como punto adicional, hemos evidenciado claramente una sinergia entre esta tecnología BIM y la filosofía Lean Construction, entendiendo BIM como una de las herramientas del pensamiento Lean”, Diana Alcarraz, Ingeniera de Producción.

## 6.6 CONCLUSIONES DEL CASO DE ESTUDIO

Teniendo claro que, BIM representa un cambio de paradigma y de procesos, enfocados en la tecnología y principalmente en el recurso humano, es necesario un punto de partida y establecer un plan de ejecución BIM para cada proyecto. Mediante el cual, se exponga el alcance, roles, objetivos y requerimientos del modelo 3D, con el fin de encaminar todos los esfuerzos a un conjunto de aplicaciones BIM, tales como la extracción de la información, la coordinación de

interferencias, usos del modelo en obra; desde la etapa de planificación hasta la producción.

Una de las características más importantes en el desarrollo de un proyecto BIM es la integración de los participantes del proyecto desde la etapa inicial. Debemos incentivar el compromiso de todos los participantes, creando realmente un entorno colaborativo e integrado, donde no solo un actor aplique y difunda las herramientas BIM en obra, más bien que todos estén en la capacidad de adaptar BIM a sus actividades o labores diarias. La aplicación BIM solitariamente, definitivamente no funciona y los esfuerzos suelen tornarse frustrantes e inútiles; por esta razón, resulta imprescindible coordinar con los actores principales del proyecto, para establecer estrategias de difusión y aplicación del BIM, tanto en el campo de la planificación como de la ejecución. Practicar la metodología, mediante sesiones semanales, basadas en modelos 3D, donde se puedan hacer recorridos virtuales por la obra y que estimule la participación y principalmente la comunicación entre los involucrados.

Si bien los beneficios cuantitativos presentados en el caso de estudio, son específicos, relativos y hasta poco significativos, el mayor valor de los beneficios recae en el propósito de obtener visualización de la planificación, logrando validar los procesos constructivos y planificar una obra más confiable. Cabe preguntarse, por qué, en la mayoría de los casos, nunca se sigue fielmente un cronograma de obra. Deduzco de la experiencia en el caso de estudio, que es debido principalmente a que cada proyecto es distinto de los otros anteriores, lo que conlleva a cambios en la productividad en el personal, a nueva curva de aprendizaje, paralizaciones en obra por falta de seguridad y poco orden en la planificación de los espacios, pero sostengo, que el origen de la causas es el bajo nivel de planificación y su visualización.

## **7 DESAFIOS DE LA METODOLOGÍA BIM EN EL PERÚ**

A continuación se presentarán algunos desafíos que propone esta metodología:

### **7.1 RESISTENCIA AL CAMBIO**

Debido a que el concepto BIM se ha presentado como un conjunto de herramientas relativamente nuevas en el Perú, carece hoy en día de sustento y evidencia de éxito

en nuestro territorio. Más aún cuando no se presentan casos reales de estudio, con indicadores respecto al costo, plazos, calidad, constructabilidad y productividad. Debemos abarcar nuevas ideas, nuevos rumbos, y desligarnos de un sistema para los proyectos de construcción anticuado, tradicional y poco productivo; donde se debe limitar la supervisión del diseño del proyecto durante la etapa de ejecución, debido a proyectos mal planificados. Claro está que dedicará esfuerzo y dedicación, donde más que un cambio repentino será mediante un proceso de maduración.

## 7.2 EL CAMBIO DE CAD A BIM

Si bien conocemos que la finalidad de las herramientas CAD fue y sigue siendo, reemplazar el proceso de dibujo en papel y lápiz, por un sistema electrónico de dibujos creados en 2D basado en líneas; el constante desarrollo de las tecnologías informáticas, nos propone una migración a un nuevo sistema de trabajo. A pesar de haberse sustituido el papel por la pantalla, el diseño tradicional sigue dependiente de representaciones independientes, es decir, si al modificar alguna línea en una vista en planta, se tendrá que modificar tanto los cortes, elevaciones, detalles, etc., ya que estas representaciones no están unidas entre sí. Paradójicamente, a pesar de que una edificación/estructura es una entidad unitaria y global, debe estudiarse a partir de un conjunto de distintas representaciones que sólo tienen en común aquello que el arquitecto haya podido establecer. Esta tecnología basada en representaciones independientes (CAD), aparte de consumir enormes cantidades de tiempo, favorece la propagación de errores en el diseño.

El modelado BIM ofrece herramientas con elementos semejantes a la realidad, tales como columnas, placas, vigas, puertas, ventanas, etc., en los que descansa su mayor potencial, que es la información que contiene cada uno de ellos. Asimismo, basa su aplicación en un modelo central, donde los cambios hechos en los cortes, elevaciones o plantas, repercuten en el modelo único, es decir, si genero un cambio en la vista en planta, este se mostrará ya modificado en las demás vistas, evitando duplicar esfuerzos.

### 7.3 ETAPA DE DISEÑO DIRECTAMENTE EN 3D

Actualmente en el Perú, generalmente los ingenieros proyectistas/consultores diseñan los proyectos en planos (2D) y el cliente (empresas constructoras, contratistas o inmobiliarias) los modelan en 3D para luego obtener todos los beneficios de este. Bajo este crecimiento en la adopción del BIM, algunas empresas proyectistas vienen utilizando herramientas 3D en sus oficinas de diseño, por lo que es muy probable que pronto se modifique el proceso de modelado, partiendo de modelos 3D para luego llevarlos a planos (2D). Estas representaciones disociadas 2D por el momento no presentan indicios de cesar su uso, lo que evitaría la tediosa transición de primero corregir un plano para luego actualizar el modelo 3D. Caso contrario, si se modificara directamente el 3D, por defecto se tendría los planos corregidos.

### 7.4 ESTÁNDARES

Un documento de estandarización proporcionaría pautas que aseguren de manera coherente la entrega y recepción de datos por parte de los clientes, diseñadores, proyectistas, ingenieros, contratistas, modeladores y/o participantes; durante todo el proceso de gestión BIM. Además permitiría, un eficiente intercambio de información entre los modelos de las disciplinas.

### 7.5 IMPLEMENTACIÓN Y ENTRENAMIENTO

Se deberá tener en cuenta que un modelo 3D, sin un sistema de gestión y de procesos, es totalmente ineficaz e improductivo. Se deberá contemplar un análisis en los procesos de cada empresa dispuesta a su implementación, con la finalidad de adaptar conjuntamente los nuevos procesos con el sistema BIM, formando un nuevo esquema de gestión de procesos el cual sea la sólida base de una futura exitosa implementación.

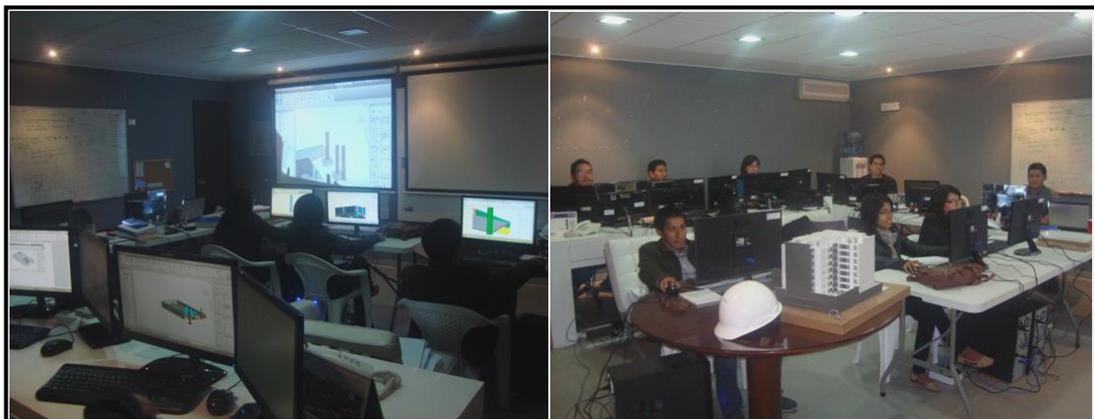
Asimismo, el conocimiento del sistema BIM, deberá ser compartido por todos los involucrados en el proyecto, desde el gerente de proyectos hasta el maestro de obra. Incluyendo proyectistas, clientes, contratistas y proveedores. Debe

entenderse más que como un cambio de software, un cambio en el pensamiento y filosofía de los colaboradores de la empresa.

## 7.6 INSTRUCCIÓN SUPERIOR EN LA PLANIFICACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN MEDIANTE HERRAMIENTAS BIM-4D

La introducción de nuevas herramientas a los diferentes cursos de aprendizaje de la planificación en la construcción, ayudaría a los alumnos a desarrollar un análisis más efectivo, mediante una mejor percepción del proyecto. Actualmente, un estudiante de la disciplina de ingeniería, desarrolla una planificación en base a dibujos 2D (planos), en el cual debe imaginar los procesos constructivos uno por uno en su mente, para luego plasmarlos en una secuencia constructiva coherente. Sin duda, esto es sumamente complicado para alumnos con poca experiencia en obra, por lo que deben abstraerse en primera instancia para entender los planos y luego generar una secuencia constructiva mental.

Ayudándonos de la tecnología, es posible implementar una valiosa herramienta en la educación de la ingeniería de la construcción, la cual nos provea un lenguaje visual común. Las aplicaciones 4D involucran un sistema de aprendizaje más dinámico e interactivo, permitiendo que los estudiantes expongan concretamente sus dudas, revisen analítica y visualmente su proyecto, se generen secuencias coherentes, propongan diferentes alternativas de solución y aumenten sus capacidades de comunicación, lo cual es fundamental en el ámbito de la construcción.



**Fig. 40** *Taller de capacitación de herramientas BIM en empresa Marcan*  
*Fuente: Marcan*

## 7.7 PROVEEDORES COMPROMETIDOS CON BIM

Al igual que las empresas contratistas, constructoras e inmobiliarias intensifican sus esfuerzos en agregar valor a sus productos finales mediante herramientas inteligentes de información, los proveedores de equipos eléctricos, equipos mecánicos, bombas, materiales, entre otros, están igualmente comprendidos en este avance tecnológico. Por lo que sería conveniente que sus productos sean modelados en 3D para poder ser incorporados a los proyectos desde la etapa de diseño y así evitar problemas durante la instalación de estos; tales como insuficiencia de espacio, salidas en diferentes ubicaciones, pases en vigas y muros, interferencias con otras instalaciones (desagües colgados, alimentadores), capacidad de los elementos estructurales para soportar el peso o vibración de estos.

Por lo que sería oportuno obtener de parte de ellos una librería de productos, con especificaciones técnicas establecidas por el fabricante, con la finalidad de tener una familia de estos equipos con sus fundamentales características necesarias para garantizar el correcto posicionamiento del equipo sin impactar negativamente en la obra, evitando contratiempos.

La idea primordial es tener la mayor cantidad posible de información en el modelo, centralizándola y siendo accesible para todos los involucrados. Si permanecemos en solo productos genéricos hechos por los proveedores, estaríamos perdiendo el sentido verdadero del BIM, el cual se basa en la información. Sin embargo, es necesario una estandarización de alcances, como por ejemplo que parámetros necesito del producto, que información es la principal, en caso no se tengan familias de productos bien detallados.

## 7.8 COMO LLEVAR A OBRA EL BIM ELABORADO EN OFICINA

El desarrollo BIM no solo se desenvuelve en trabajo de oficina, si bien es una parte importante, debe ser complementada por el trabajo en campo y las subsiguientes fases del proyecto. De esta manera, existe la disyuntiva de cómo representar el trabajo de oficina en la obra/campo. Se presentan algunas alternativas:

- Secuencias fotográficas del avance deseado en obra. En base a una secuencia de fotos, se busca representar la sucesión de procesos constructivos en la obra para los diferentes frentes.
- Códigos QR en planos, de manera que Capataces y Maestros de obra tengan acceso al modelo 3D y visualizarlo en su dispositivo (Smartphone o Ipad).
- Utilización de herramientas BIM en la nube mediante acceso a internet. De manera que el intercambio de información sea más directo, reportando en tiempo real, dudas, errores, incompatibilidades, etc.
- Paneles fotográficos de posibles o potenciales errores, ya sean errores frecuentes (pases en vigas, placas) o propios del proyecto.
- Sesiones en oficina de obra con maestros y contratistas con la finalidad de llevar a cabo reuniones de 'Last Planner', exponiendo el Plan Semanal, Lookahead y Análisis de restricciones, con la ayuda de las herramientas BIM, para mejorar la concepción de lo próximo a construir y debatir en conjunto las secuencias constructivas. Asimismo, la incorporación de capataces para coordinar rendimientos en obra y analizar la necesidad de contratar más personal obrero. Se busca brindar soluciones integrales mediante una comunicación eficaz.
- Presentación de los diferentes site-layout en distintos estados de la obra (site-layout en el tiempo). De esta forma se conocerá la ubicación de los materiales, zonas seguras, oficinas provisionales, nuevas instalaciones, equipos, etc.
- Debido al gran interés experimentado en el caso de estudio presentado, por parte de los maestros de obra e ingenieros, se propone proveer de un aparato electrónico (Tablet o Ipad) y capacitarlo en su uso, con la finalidad de aprovechar las ventajas que brinda un modelo en 3D.



**Fig. 41** Modelos asociados a planos mediante códigos QR, los cuales podrán ser visualizados mediante Smartphone, Tablet o Ipad.  
Fuente: BlackApple

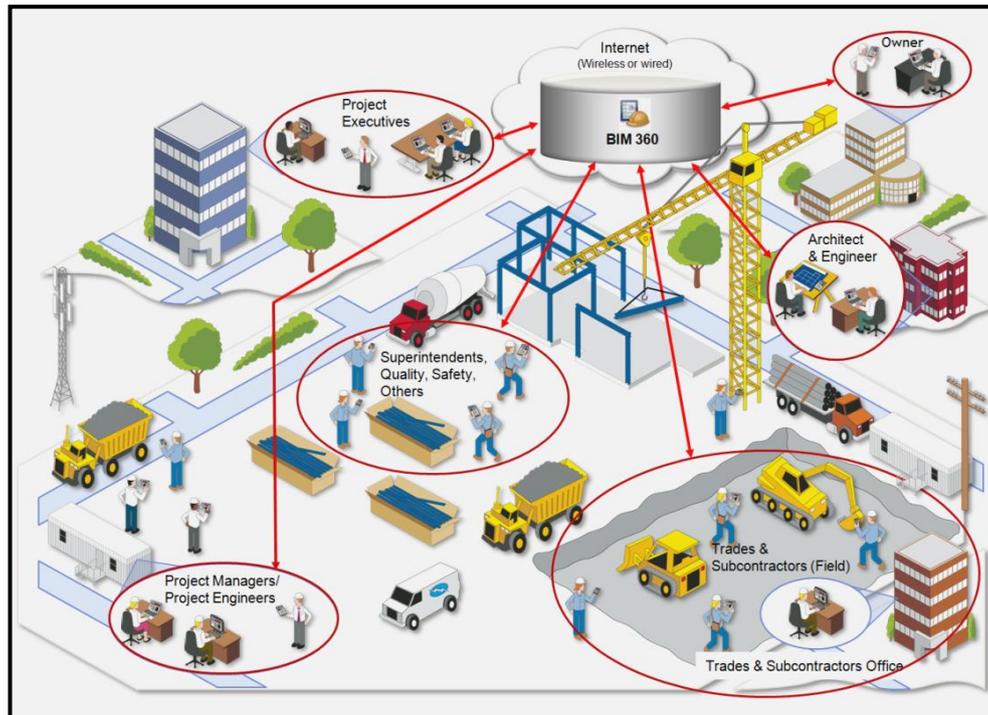


**Fig. 42** Álbum de fotos 3D entregadas a ingenieros de campo, maestros de obra y capataces en obra Mara-Marcán.  
Fuente: Obra Mara

## 7.9 ACCESO REMOTO A INFORMACIÓN EN LA NUBE MEDIANTE INTERNET (“IN THE CLOUD”)

La necesidad de gestionar la información de los proyectos no es un problema nuevo. BIM es más que otra forma de información que debe ser administrada por medio de un entorno controlado de tecnologías de gestión de información, que se encargan de centralizar, buscar, registrar y compartir esta durante las distintas etapas del

proyecto, evitando duplicidad de archivos y de esfuerzos. Asimismo, nos permite un libre acceso desde cualquier punto con internet, garantizando el claro alcance a la información.



**Fig. 43** Esquema de flujo de información en un proyecto de construcción mediante plataformas remotas. "In the Cloud"  
 Fuente: BIM 360

## 7.10 TENDENCIAS BIM

Las variadas herramientas BIM presentes en el mercado mundial tienen la capacidad de cumplir con las necesidades ingenieriles que presentan hoy en día los proyectos de construcción en el Perú. Actualmente cuenta con una gran cantidad de aplicaciones compatibles y de gran soporte para el desarrollo de ingeniería; además de ser una plataforma flexible y dinámica dispuesta a adaptarse a nuevas tecnologías futuras.

Se presenta a continuación algunas herramientas complementarias que incrementan el valor del sistema BIM.

### **7.10.1 Incorporación de la variable costo (5D)**

De igual manera como se ha implementado la variable tiempo para la elaboración de un modelo 4D, podemos incorporar además la variable costo, logrando obtener un modelo 5D. De esta manera, al analizar una simulación constructiva de un proyecto, tendremos asociado a cada elemento, fase, sector o etapa, los costos en un determinado momento del proyecto; asistiendo y colaborando con la gerencia del proyecto, el área de administración y el área de costos.

### **7.10.2 Análisis de energía (Leed Certification):**

Las herramientas BIM tienen la capacidad de realizar simulaciones de energía basándose en una serie de aspectos relacionados con la sostenibilidad de los proyectos. Mediante la ejecución de análisis energéticos al modelo, podremos evaluar la eficiencia energética de este, evaluando, optimizando y ahorrando en lo referente a iluminación natural y artificial, calefacción, sustentabilidad en productos manufacturados y sistemas propuesto de reciclaje de basura y agua.

### **7.10.3 Análisis estructural en base a un modelo de plataforma BIM**

La interoperabilidad de estas herramientas, permite el intercambio de datos entre distintos software sin pérdida o cambios en esta. De esta manera, al tener un modelo 3D en una plataforma BIM, no será necesario volver a modelar para hacer un análisis estructural del mismo; simplemente se exportará al software de análisis estructural conveniente, se analizarán los elementos haciendo los cambios pertinentes y luego nuevamente se exportará al software de plataforma BIM. De este modo, se logra evitar duplicar esfuerzos de modelado y dibujo.

## 8 CONCLUSIONES

A lo largo del presente tema de estudio, se han expuesto las deficiencias que encara un proyecto de construcción referente al flujo de información y a la tardía integración y colaboración entre los actores principales. BIM ofrece disminuir esta brecha en la transferencia de la información, generando un entorno proactivo e intenso de colaboración, integrando desde etapas tempranas del proyecto a los actores principales, logrando anticiparse a los problemas recurrentes en la etapa de ejecución, abandonando la tarea improvisada e incorrecta de corregir la falta de planificación y control en las obras, brindando información eficiente tanto en lo visual como en lo técnico, permitiendo la incorporación de herramientas tecnológicas de visualización y gestión de datos en la industria de la construcción, y principalmente maximizando los márgenes y resultados de los proyectos, mejorando la calidad, disminuyendo costos y acortando los tiempos preestablecidos.

Sin duda y lógicamente aceptable al momento de intentar realizar cambios en los procesos y metodologías de trabajo habituales; se presentan barreras y desafíos los cuales deben sobreponerse. En base a la experiencia en proyectos anteriores, teniendo en consideración la difusión, utilización y relación con los principales usuarios y beneficiarios del BIM, se plantea las siguientes preocupaciones destinadas a ser controladas y superadas para el correcto uso BIM.

1. Las empresas del rubro construcción no se encuentran familiarizadas con el concepto BIM. Esto debido a que es una metodología relativamente moderna, con pocos partícipes realizando BIM en el Perú, lo que conlleva al miedo por parte de los altos directores a cambiar su sistema de trabajo, debido a poca evidencia de casos de éxito a nivel nacional; sin embargo a nivel internacional los casos son cuantiosos.
2. Cambiar el concepto erróneo de que BIM es Revit. Tal y como se infiere a lo largo del desarrollo de este documento, es vital reconocer y entender que BIM es mucho más que un software; es una metodología de trabajo alineada con la tecnología, los procesos, las personas, las políticas y la gestión de la información. Los nuevos procesos serán la base y establecerán la forma de colaboración, intercambio de información y conocimientos en el desarrollo de un proyecto. La incorporación de políticas bien definidas en etapas iniciales del proyecto dentro de las especificaciones y contratos, brindará soporte a las aplicaciones BIM, mediante la estandarización y estrategias de ejecución para

los modelos 3D. El recurso humano, componente clave de la metodología BIM, a través de sus habilidades, conocimientos y experiencia, además de una completa capacitación y entrenamiento, serán los encargados de liderar y ejecutar la implementación, dependiendo de ellos el éxito en alcanzar los objetivos planteados. Por último, pero no menos importante, están presentes el conjunto de herramientas y software, los cuales estarán prestos a ser configurados, monitoreados y adaptados, de manera que encajen en los requerimientos de cada proyecto.

3. Existe resistencia a la iniciación de nuevos procesos. En la mayoría de casos, los ingenieros/arquitectos con mayor experiencia y quienes manejan procesos tradicionales por varios años, creyendo que funciona eficiente y productivamente, son los que mayor resistencia al cambio ofrecen. Se debe buscar alentarlos e incentivarlos de salir de esa área de "confort" improductivo e ineficiente. Hacerlos partícipes de sesiones de trabajo BIM, capacitándolos en el fácil y rápido uso de software, invitándolos a eventos y conferencias enfocadas en temas BIM, mostrando indicadores y resultados de proyectos hechos en BIM, explicando claramente la curva de aprendizaje y estimular su capacidad de adaptación al cambio y a la mejora continua; son algunos de los puntos que se deben tener en cuenta al momento de realizar una implementación BIM.
4. Limitada cultura de innovación e investigación. Somos uno de los países que menos invierte en investigación, a pesar de crecer anualmente alrededor de 7%, solo se destina el 0.15% a este campo (COMEXPERU). El crecimiento económico peruano es reconocido internacionalmente, sin embargo el nivel de inversión a la innovación e investigación no ha seguido esa misma tendencia. Es necesario tener conciencia de que el Perú ha venido creciendo en base al aumento de factores y no en base a una mejora en los procesos. Mencionado lo anterior, surge la necesidad prioritaria de dar un impulso a la inversión científica, desde las universidades, hasta las mismas empresas y centros de investigación, con el fin de identificar, comprender, asimilar y aplicar el conocimiento externo. Este recurso permitiría formar aptitudes tecnológicas con grandes oportunidades de mejora en la productividad y en la competencia empresarial mundial.

La inclusión de modelos 3D en un flujo de trabajo tradicional representa un problema, si es que no se tiene un claro entendimiento y una estrategia BIM establecida previamente, tanto para su implementación como para su ejecución. Un modelo 3D solitario, disociado, independiente, solo interrumpirá el flujo de trabajo en un proyecto de construcción, creando confusión y mal entendimiento. A diferencia de la adopción CAD hace algunos años, donde solo se cambió el dibujar los planos en un tablero de dibujo por una herramienta de dibujo virtual, la metodología BIM cambia todos los procesos. Creer implementar BIM en todo el sector con la expectativa de que los procesos no van a cambiar, es totalmente erróneo. Se necesita establecer procesos de colaboración interdisciplinaria centralizados en un modelo tridimensional con componentes inteligentes, donde el flujo de información se origine y finalice en este.

Estudiar estrategias de implementación que busquen sinergias entre BIM y Lean Construction, ofrece la garantía del éxito en un proyecto. Hoy en día, estas dos ideas contemporáneas de trabajo en la construcción, tienen la posibilidad de integrar sus procesos, utilizando una plataforma visual bajo los principios de la construcción sin pérdidas. Si bien los beneficios mostrados en este trabajo de tesis, con respecto a la utilización de herramientas BIM-LEAN, son enfocados básicamente en el sistema "Last Planner", no hay que dejar de lado que la interacción entre estas dos iniciativas, está recién próxima a explorarse, teniendo la certeza de que tendrá impactos profundos y positivos en la industria constructora.

Notemos que, esta moderna metodología planteada, propone reemplazar el diseño en ingeniería basado un poco en la intuición y la imaginación, en un diseño más visual, técnico, analítico y preciso; creando mayor seguridad, confianza y valor a los clientes, menos margen de error, resaltando la calidad y profesionalismo de los diseños elaborados. El hecho de modelar tempranamente nuestros proyectos, construyéndolos virtualmente primero para luego ser evaluados en un segunda instancia y posteriormente ejecutarlos; potencia la toma oportuna de decisiones bajo un amplio abanico de posibilidades, donde la capacidad para influir en los costos es mayor, haciendo los proyectos cada vez más sustentables.

Es evidente que las herramientas BIM 4D ayudan a visualizar y simular la construcción anticipadamente de nuestro proyecto, enlazando el modelo 3D a un cronograma, lo cual puede resultar claramente sorprendente cuando es visto por primera vez. Sin embargo, considero que dicho beneficio, no es el principal objetivo buscado por los responsables de la planificación de un proyecto. Si bien puede

resultar cualitativamente provechosa la utilización de dicha herramienta como instrumento de venta, tiene aún mucho más potencial por desarrollar en otros campos de aplicación.

Dentro de este contexto, es necesario preguntarse, si las herramientas 4D realmente mejoran el proceso de planificación o el mero entendimiento del mismo. Por supuesto que, desde la perspectiva del cliente, resultaría fácil interpretar e imaginar cómo se desarrollará la obra si es que se muestra un modelo 4D, mientras que, mediante solo la utilización de herramientas típicas, ya sean diagramas de Gantt y representaciones 2D, resultaría difícil su entendimiento, ya que por lo general los clientes no gozan de un sentido geométrico y visual tan desarrollado.

Lo que realmente representa BIM 4D para la planificación, es su uso mismo como herramienta. Así como una hoja numérica de Excel ayuda a generar gráficos e indicadores mediante datos, fórmulas y funciones; el BIM 4D a través de instrumentos tecnológicos busca brindar mayores capacidades de análisis a la etapa de planificación. En ambos casos, el solo usar la herramienta no garantiza que el trabajo sea el correcto, ni mucho menos que reemplazará al raciocinio de las personas, pero ayudará en gran forma a optimizar los resultados los cuales difícilmente llegarían a ser percibidos sin esta.

Complementando lo expresado en el párrafo anterior, visualizar un proyecto observando un video de simulación que muestre como se construye, no es la proyección al que los ingenieros planificadores deben enfocarse. El propósito recae principalmente en proveer visualización al cronograma, validándolo y brindándole confiabilidad para su ejecución. Esta verificación de lo planeado, antes de su ejecución, ayuda a reducir costos por trabajos rehechos, evitar imprevistos, planear la ubicación de equipos, detectar y minimizar la exposición a riesgos del personal obrero.

La planificación juega un rol importante en el eficiente desarrollo de una obra, no obstante, ninguna obra progresa de acuerdo a lo planeado. Cabe recalcar, que durante la etapa de diseño y planeamiento de un proyecto, los planificadores se destacan generando sus cronogramas, incluyendo colores, metrados, cuadrillas y rendimientos, donde cumplen la mitad de sus responsabilidades destinadas al proyecto; sin embargo los problemas se presentan en la mitad restante, al momento de monitorear y controlar su plan. Estas consideraciones fundamentan la respuesta, de que se debe utilizar estas modernas herramientas, además de lo mencionado anteriormente, con el fin de tomar correctas mediciones de rendimientos y

precisamente conocer los puntos débiles en el progreso de la construcción. Esto ayudará a modificar y plantear acciones de corrección en el proceso, aumentando el control del plan. Es oportuno mencionar, la importancia en la comunicación e interrelación con los ingenieros constructores o de campo, quienes aportarán constructabilidad en base a su experiencia, con el fin de enriquecer y optimizar la planificación.

Sabemos durante años, que la gestión de la construcción no es la más productiva y eficiente en la industria peruana. Admitamos que, mientras el cliente esté dispuesto a asumir los sobrecostos provenientes de errores en la gestión y la ejecución de proyectos de construcción, no creará la necesidad de mejorar y optimizar nuestros procesos. Cabe preguntarse entonces, que pasará cuando el mercado se torne más competitivo, cuando baje la demanda por las viviendas u oficinas y el sector construcción realmente estimule un desafío. Definitivamente estos sobrecostos serán asumidos por el resto de actores en el proyecto, llámese contratistas, proveedores, consultores, proyectistas y fabricantes. Es momento de apoyarnos en el sostenido crecimiento del Perú y en el cambio generacional con mentes jóvenes que promuevan el cambio, con el fin de invertir en innovación e investigación, hacia una gestión más eficiente y exitosa. Invirtamos más en las etapas iniciales de cada proyecto, lo que representa un mayor ahorro en las etapas posteriores; la idea es construir la obra virtualmente y solucionar los problemas anticipadamente y no en la misma obra, evitando que llegue información confusa, incompleta y no coordinada.

La investigación y práctica de la metodología BIM brinda una ventaja excepcional a todos los involucrados, indudablemente marcando un nuevo capítulo en la industria de la construcción. Dicha ventaja puede marcar la diferencia entre ser más rentables o quedarse atrás. Debemos enfocarnos más en los impactos positivos que realza el BIM, tanto en nuestra cultura y procesos, con la finalidad de alcanzar los niveles más altos y satisfactorios en los proyectos.

Incentivar desde las universidades el uso de tecnología de información con el propósito de tener una enseñanza a la altura de los países desarrollados no es ajena a nuestro entorno; se tienen los medios y herramientas para dotar a los alumnos de un ambiente educacional mucho mejor al actual, ampliando sus conocimientos y haciéndolos competentes ante un mundo cada vez más tecnológico y globalizado.

El adelanto y desarrollo de la tecnología digital, puede comprometer cambios bruscos en las formas de pensar y trabajar, los cuales mayormente son difíciles de llevar a cabo. Lo seguro, es que los cambios se darán continuamente y es parte de nuestra responsabilidad, acompañar el mismo, asegurando que el potencial BIM sea puesto en práctica; por esta razón concluyo que el cambio se dará más que por revolución por evolución.

Para concluir, cabe mencionar que futuras investigaciones pueden realizarse en base al aporte del presente trabajo de tesis



## 9 BIBLIOGRAFIA

- ALARCON, MARDONES (2000). Improving the Design-Construction interface. Lean Construction. USA.
- AUTODESK INC. Autodesk BIM Deployment Plan: A Practical framework for Implementing BIM. USA.
- What is BIM (2010). Autodesk. Recuperado de <http://www.autodesk.com>
- AUGI (2013). Autodesk University. Recuperado de [au.autodesk.com](http://au.autodesk.com)
- BHATLA, LEITE (2012). Integration framework of bim with the last planner system. 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. USA.
- BIM Project Execution Planning Guide. The Computer Integrated Construction Research Program. 2011. Recuperado de [bim.psu.edu](http://bim.psu.edu)
- BLACKAPPLE (2013). Recuperado de <http://www.blackapple.ca/>
- BUILDING SMART. Recuperado de [www.buildingsmart.org](http://www.buildingsmart.org)
- CIFE. Center for Integrated Facility Engineering. Stanford University. Recuperado de <http://cife.stanford.edu/>
- COMEXPERU. Sociedad de Comercio Exterior del Perú. Recuperado de <http://www.comexperu.org.pe/>
- DAWOOD, SIKKA (2007). Measuring the effectiveness of 4D planning as a valuable communication tool. University of Teesside. UK.
- ENGINEERING DEPARTMENT (2012). E/A Design Division BIM Standard Manual. The Port Authority of NY&NJ. USA
- FISCHER, REED, KHANZODE, BALLARD (2006). A Guide to Applying the Principles of Virtual Design & Construction (VDC) to the Lean Project Delivery Process. Stanford University. USA
- About BIM. Graphisoft. Recuperado de <http://www.graphisoft.com>

- HENDRICKSON (2000). Project Management for Construction – Fundamental Concepts for Owners, Engineers, Architects and Builders. Recuperado de <http://pmbook.ce.cmu.edu/>
- HERNÁNDEZ (2011). Procedimiento para la coordinación de especialidades en proyectos con plataforma BIM. Corporación de Desarrollo Tecnológico. Chile.
- KHANZODE, STAUB-FRENCH (2007). 3D and 4D modeling for design and construction coordination: issues and lessons learned. Stanford University. USA.
- KUNZ, FISCHER (2012). Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions. Stanford University. USA.
- MALLASI (2004). Identification, and visualization of construction activities' workspace conflicts utilizing 4D CAD/VR tools. International Conference e-Design in Architecture. Saudi Arabia.
- MARTINEZ (2004). Tecnología de la información y herramientas de visualización en la industria de la construcción. El uso de los sistemas 4D en los procesos de integración en construcción. Tesis. Facultad de Ingeniería UPC. Perú
- McCARTNEY, KIROFF (2011). Factors affecting the uptake of BIM in the Auckland architecture, engineering and construction (AEC) industry. Unitec Institute of Technology. New Zealand.
- McGRAW HILL CONSTRUCTION (2013). The business value of BIM for construction in major globe markets. Smart Market Report 2012-2013. USA.
- McLEAMY (2010). The Future of the Building Industry. Building Smart. USA.
- McWILIAMS (2014). The Legal BIM Frontier. Contracts, execution planning and recent case development. Revit User Group. USA
- NAHMIAS, ANDRÉS (2003). Planificación para la construcción. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Chile. Chile.
- NATIONAL BIM STANDARD (2007). United States.

- RISCHMOLLER, ALARCON, FISCHER, FOX (2002). Impact of computer advanced visualization tools in AEC industry. Revista Ingeniería de Construcción. Chile.
- SACKS, KOSKELA, DAVE, OWEN (2009). The interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction, Journal of Construction Engineering and Management. USA.
- SALDÍAS (2010). Estimación de los beneficios de realizar una coordinación digital de proyectos con tecnologías BIM. Corporación de Desarrollo Tecnológico. Chile.
- SONI, YEN, LASKY (2011). Caltrans Workflow for Navisworks. Department of Mechanical and Aerospace engineering. USA.
- SUCCAR (2009). The five components of BIM performance Measurement. University of Newcastle. Australia.
- UNIVERISDAD DE CHILE (2013). Encuesta nacional BIM 2013. Recuperado de <http://www.bim.uchilefau.cl>
- VARGAS (2007). Aplicación de herramientas para la visualización y para el flujo de la información en un proyecto de edificación. Ventajas de los sistemas 4D en la construcción de edificios. Tesis. Facultad de Ciencias e Ingeniería. PUCP. Perú.