



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Utilización de la metodología  
BIM para la gestión de  
proyectos complejos en  
México y en el extranjero**

**TESIS**

Que para obtener el título de  
**Ingeniera Civil**

**P R E S E N T A**

Ileane Abril Pérez Carreón

**DIRECTOR DE TESIS**

Ing. Heriberto Esquivel Castellanos



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



---

---

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** M.I. AGUSTÍN DEMÉNEGHI COLINA.

**VOCAL:** ING. HERIBERTO ESQUIVEL CASTELLANOS.

**SECRETARIO:** M.I. CARLOS NARCIA MORALES.

**1ER. SUPLENTE:** M.I. GUILLERMO MANCILLA URREA.

**2DO. SUPLENTE:** M.I. YOLANDA MELÉNDEZ ALCARAZ.

**LUGAR O LUGARES DONDE SE REALIZÓ LA TESIS: CIUDAD DE MÉXICO.**

**TUTOR DE TESIS:**

ING. HERIBERTO ESQUIVEL CASTELLANOS.

**SUSTENTANTE:**

ILEANE ABRIL PÉREZ CARREÓN.



---

---

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo cierra una etapa muy importante en mi vida y es un paso necesario para alcanzar mis objetivos personales y profesionales. Este logro no sería posible sin el apoyo que he recibido y el cual agradezco profundamente.

A mis padres, Víctor y Nérida, que han sido los mejores que podría haber deseado, mis modelos a seguir e inspiración, me han guiado y mostrado su apoyo y cariño incondicional a lo largo de mi vida.

A mi hermano Naim, que es mi mejor amigo y consejero, con quien sé que siempre puedo contar y que me motiva constantemente a ser mejor.

A toda mi familia, a mis abuelitos, a mis tíos y tías, que han estado al pendiente de mis estudios y dado su cariño, y a mis primos y primas, con quienes he convivido toda mi vida, que son mis amigos y que sé que nos seguiremos queriendo y apoyando con el paso del tiempo.

A mis amigos y compañeros, a Gaby, Sara, Sandy, Erick, Erick V, Gus, y Edgar, con quienes compartí el viaje por la carrera y me sentí respaldada en los momentos más complicados, formándose una amistad que continúa como si siguiéramos en la universidad. A mis amigos de la prepa 6., La Prole, con los que, desde que entramos al sistema de la UNAM, hemos compartido el amor por esta institución y crecido juntos.

A mis profesores, que compartieron su tiempo y enseñanzas para mi formación, especialmente al ingeniero Heriberto Esquivel, quien fue mi director de tesis y que me alentó para poder titularme, a mis sinodales, a la arquitecta Yolanda Meléndez que comenzó mi interés por el tema de la tesis, a los ingenieros Carlos Narcia, Agustín Deméneghi y Guillermo Mancilla, que fueron mis maestros y un gran apoyo para la realización de la tesis.

A la UNAM y a la Facultad de Ingeniería por permitirme estudiar en sus aulas y así tener acceso a todas las oportunidades que esto conlleva.



---

---

## **RESUMEN**

La necesidad de infraestructura y los retos presentados para satisfacerla, junto con los avances tecnológicos en los últimos años, supone un cambio de paradigmas en la forma de concebir los proyectos. Con el objetivo de enfrentar los desafíos que esto conlleva, alrededor del mundo se han implementado programas para analizar áreas de oportunidad que permitan mejorar la rendición de cuentas a la sociedad. En este contexto, BIM es una metodología que ha cobrado gran importancia, pero cuya adopción aún no es completa y es el motivo de investigación de la presente tesis.

Para poder identificar posibles mejoras en el desarrollo de proyectos a gran escala en México, este trabajo consistió en una investigación detallada del estado de arte de la implementación de la metodología BIM y de su relación con los conceptos de la dirección de proyectos alrededor del mundo, centrándose en la reducción de los sobrecostos para las obras. Al ser Reino Unido pionero en ello, se decidió tomar dos casos de estudio para su comparación, por un lado, el del Tren Interurbano México-Toluca, y por otro, el del Crossrail de Londres.

## **ABSTRACT**

The need for infrastructure and the challenges to overcome in order to satisfy it, joined with the fact that technology has had an important improvement in the last few years, involves a change of paradigms in the development of projects. With the purpose to face this problems, around the world there are ongoing programs that aim to identify areas of opportunity that allow a better accountability for society. It is within this context, that a methodology called BIM has been gaining importance, its adoption is not complete yet and it is motive of research for the present thesis work.

In order to be able to identify ways to deliver better projects on a big scale in Mexico, this work consisted in a detailed research of the state of the art in the implementation of the BIM methodology and its relationship with Project management around the world, focusing on the reduction of cost overruns. Because United Kingdom is a pioneer in this kind of research, two case studies were taken for comparison, the case of the Toluca-Mexico Interurban Train, and the one for the London Crossrail.



---

---

# UTILIZACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM PARA LA GESTIÓN DE PROYECTOS COMPLEJOS EN MÉXICO Y EN EL EXTRANJERO

CONTENIDO:

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>I. LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS .....</b>	<b>12</b>
1.1 PROYECTOS COMPLEJOS EN LA CONSTRUCCIÓN .....	13
1.2 LA IMPORTANCIA DE LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS EN LA CONSTRUCCIÓN.....	16
1.3 FACTORES QUE INTERVIENEN EN UN PROYECTO.....	18
1.4 GRUPOS DE PROCESOS Y ÁREAS DE LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS.....	23
1.7 AVANCES TECNOLÓGICOS PARA LOGRAR UNA MEJOR GESTIÓN .....	32
1.5 EL CICLO DE VIDA DEL PROYECTO.....	33
1.6 TIPOS DE CONTRATOS MÁS UTILIZADOS EN MÉXICO.....	37
<b>II. EL MODELADO DE INFORMACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN (BIM).....</b>	<b>43</b>
2.1 DEFINICIÓN Y USOS PRINCIPALES DE BIM .....	43
2.2 NORMATIVIDAD Y ESTÁNDARES APLICABLES .....	45
2.3 LAS DIMENSIONES BIM Y EL NIVEL DE DETALLE (LOD) .....	50
2.4 EL PLAN DE EJECUCIÓN BIM (BEP).....	57
2.5 GESTIÓN DE UN PROYECTO BIM POR FASE.....	63
2.6 RELACIÓN ENTRE EL USO DE BIM Y LOS CONCEPTOS DE DIRECCIÓN DE PROYECTOS .....	67
2.7 HERRAMIENTAS DE SOFTWARE MÁS UTILIZADAS.....	70
2.8 RESUMEN DE BENEFICIOS Y LIMITACIONES DEL USO DE BIM .....	77
<b>III. DEL PROYECTO AL PRESUPUESTO .....</b>	<b>78</b>
3.1 EL PROYECTO EJECUTIVO .....	79
3.2 EL PRESUPUESTO A PRECIO UNITARIO.....	88
3.3 INTEGRACIÓN DEL PRESUPUESTO CON BIM (5D) .....	94
<b>IV. CASOS DE ESTUDIO.....</b>	<b>103</b>
4.1 EL TREN MÉXICO-TOLUCA.....	103
4.2 EL “CROSSRAIL” DE LONDRES .....	121
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>133</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>137</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>145</b>
ANEXO A: FORMATOS PARA ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.....	145
ANEXO B: EXTRACTO DE CONVOCATORIA .....	154
ANEXO C: MAPA DE CROSSRAIL DE LONDRES.....	160



---

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 DIFERENCIA EN INVERSIÓN PARA INFRAESTRUCTURA POR PAÍS EN MILLONES DE DÓLARES. ....	9
FIGURA I-1 GRUPOS DE PROCESOS PARA LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS.....	12
FIGURA I-2 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE UN PROYECTO (PMI). ....	13
FIGURA I-3 DIFERENCIAS ENTRE PROYECTOS TRADICIONALES Y COMPLEJOS (NAS). ....	14
FIGURA I-4 DIMENSIONES DE UN PROYECTO BAJO LOS DIFERENTES ENFOQUES. ....	15
FIGURA I-5 “LA ESTELA DE LUZ” (ADOBE STOCK). ....	17
FIGURA I-6 FACTORES EXTERNOS A CONSIDERAR (PMBOK, CONSTRUCCIÓN). ....	18
FIGURA I-7 LA CONSTRUCCIÓN ES UNA INDUSTRIA MULTIDISCIPLINARIA EN LA QUE INTERVIENEN DIFERENTES AGENTES. ....	19
FIGURA I-8 EJEMPLO DE FINANCIAMIENTO PARA INFRAESTRUCTURA PÚBLICA (BANOBRAS). ....	20
FIGURA I-9 FOTOGRAFÍA DEL SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE.....	21
FIGURA I-10 LA EROSIÓN ES UNO DE LOS EFECTOS AMBIENTALES QUE SE DEBEN MITIGAR AL PLANEAR UN PROYECTO. ....	22
FIGURA I-11 RELACIÓN ENTRE LOS GRUPOS DE PROCESOS (PMBOK, ELABORACIÓN PROPIA). ....	23
FIGURA I-12 RELACIÓN ENTRE LOS GRUPOS DE PROCESOS Y ÁREAS DEL CONOCIMIENTO (PMBOK, ELABORACIÓN PROPIA). ....	24
FIGURA I-13 ILUSTRACIÓN DE UN VUELO REALIZADO CON DRON (ADOBE).....	32
FIGURA I-14 DIAGRAMA QUE MUESTRA LA INTERACCIÓN DE LAS ÁREAS DEL CONOCIMIENTO Y LOS GRUPOS DE PROCESOS EN EL CICLO DE VIDA DE UN PROYECTO GENÉRICO (PMBOK).....	33
FIGURA I-15 DIFERENTES CATEGORÍAS DE CICLOS DE VIDA DE UN PROYECTO (PMBOK).....	34
FIGURA I-16 FASES DE UN PROYECTO DE EDIFICACIÓN. ....	35
FIGURA I-17 CICLO DE VIDA DE LOS RECURSOS PARA LA CONSTRUCCIÓN (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA). ....	36
FIGURA I-18 EJEMPLOS DE APP. ....	42
FIGURA II-1 RESUMEN DE LO QUE ES Y LO QUE NO ES BIM (SHCP). ....	44
FIGURA II-2 PIRÁMIDE LEGAL DE HANS-KELSEN (PARA MÉXICO). ....	48
FIGURA II-3 FARO, EJEMPLO DE SOFTWARE PARA PASAR DE NUBE DE PUNTOS A REVIT. ....	56
FIGURA II-4 PORTADA DEL LIBRO GUÍA PARA REALIZAR UN BEP (PENN STATE UNIVERSITY). ....	57
FIGURA II-5 ILUSTRACIÓN DE LOS 4 PASOS PARA REALIZAR UN BEP. ....	58
FIGURA II-6 EJEMPLO DE UN MAPA DETALLADO (USO: RECORD MODEL).....	60
FIGURA II-7 EJEMPLO DE FORMTATO PARA DEFINIR EL INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN. ....	61
FIGURA II-8 DIFERENTES FASES PARA LA GESTIÓN DE UN PROYECTO BIM.....	63
FIGURA II-9 RELACIÓN ENTRE LA GESTIÓN DE PROYECTOS Y LA METODOLOGÍA BIM. ....	67
FIGURA II-10 (AUTODESK UNIVERSITY, RAMBOLL).....	70
FIGURA II-11 GOOD SAMARITAN HOSPITAL (SKANSKA). ....	71
FIGURA II-12 EJEMPLOS INCLUIDOS EN LA SUITE DE AUTODESK. ....	71
FIGURA II-13 RENDER REALIZADO CON ARCHICAD. ....	72
FIGURA II-14 EJEMPLO DE UTILIZACIÓN DE ALL PLAN PARA EL DISEÑO DE UN PUENTE. ....	73
FIGURA II-15 GRUPO NEMETSCHek.....	73



---

FIGURA II-16 PROYECTO PARA EL PUENTE DE BAGENG REALIZADO CON AECOSIM. ....	74
FIGURA II-17 MODELO UTILIZADO PARA REDUCIR GASTO DE MATERIALES. ....	74
FIGURA II-18 EJEMPLO DE LA UTILIZACIÓN DE TEKLA STRUCTURES PARA EL EDIFICIO VINHOMES LANDMARK 81. ....	75
FIGURA II-19 EJEMPLOS DE APLICACIONES HOMOLOGADAS CON IFC. ....	76
FIGURA III-1 EJEMPLO DE UN PROYECTO ESTRUCTURAL. ....	80
FIGURA III-2 EJEMPLO DE PROYECTO DE INSTALACIONES MECÁNICAS. ....	81
FIGURA III-3 EJEMPLO DE PROYECTO DE ACABADOS. ....	82
FIGURA III-4 EJEMPLO DE NEODATA 2018. ....	85
FIGURA III-5 EJEMPLO DE UN GENERADOR REALIZADO A PARTIR DE UN MODELO EN REVIT (ICA). ....	86
FIGURA III-6 EJEMPLO DE FORMATO PARA ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS. ....	93
FIGURA III-7 EJEMPLO DE MEJORAS PROPUESTAS EN LA INTEGRACIÓN DE OPUS CON REVIT. ....	96
FIGURA III-8 IMAGEN DE PANTALLA DE MODELO EN ARCHICAD. (NEODATA) ....	97
FIGURA III-9 EJEMPLO DE VERIFICACIÓN DEL MODELO. (NEODATA). ....	97
FIGURA III-10 CUANTIFICACIÓN AUTOMÁTICA POR MEDIO DE TABLAS. ....	98
FIGURA III-11 CONEXIÓN ENTRE EL PROGRAMA BIM Y EL DE ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS. ....	98
FIGURA III-12 PRESUPUESTO CON PRECIOS UNITARIOS EN NEODATA. ....	99
FIGURA III-13 EJEMPLO DE DIBUJO A MANO ALZADA (IZQUIERDA) Y DE DIBUJO UTILIZANDO CAD (DERECHA). ....	100
FIGURA III-14 MODELO DE MADUREZ DE BEW-RICHARDS. ....	101
FIGURA III-15 DIFERENCIAS ENTRE EL FLUJO DE TRABAJO TRADICIONAL Y EL FUJO DE TRABAJO CON BIM. ....	102
FIGURA IV-1 LOCALIZACIÓN DE LA LÍNEA. ....	103
FIGURA IV-2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES (SCT). ....	104
FIGURA IV-3 RUTA DEL TIMT (SCT). ....	104
FIGURA IV-4 PRINCIPALES CONTRATISTAS PARA EL TIMT. ....	105
FIGURA IV-5 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL TRAMO 1(SCT) ....	106
FIGURA IV-6 EJEMPLO SISTEMA CONSTRUCTIVO. ....	106
FIGURA IV-7 EJEMPLO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA TUNELADORA. ....	107
FIGURA IV-8 FOTOGRAFÍA DEL BI-TÚNEL. ....	107
FIGURA IV-9 LOCALIZACIÓN DEL TERCER TRAMO PARA EL TIMT. ....	108
FIGURA IV-10 COLUMNAS PRINCIPALES PARA LA ESTACIÓN SANTA FE. ....	108
FIGURA IV-11 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL SISTEMA FERROVIARIO PARA EL TIMT (SCT,SENER). ...	109
FIGURA IV-12 FOTOGRAFÍA DE LOS TABLEROS Y COCHERAS PARA EL TIMT. ....	110
FIGURA IV-13 DISTRIBUCIÓN DEL PREDIO PARA TALLERES Y COCHERAS. ....	110
FIGURA IV-14 EXTRACTO DE CONVOCATORIA CON EL MONTO Y EMPREA ADJUDICATARIA DE LOS TRABAJOS. .....	111
FIGURA IV-15 EXTRACTO DE CONVOCATORIA CON LOS TRABAJOS CORRESPONDIENTES A IUYET. ....	112
FIGURA IV-16 EXTRACTO CON EL TIPO Y MONTO DEL CONTRATO. ....	112
FIGURA IV-17 PROCESO PROPUESTO POR AUTODESK PARA PROYECTOS FERROVIARIOS CON BIM. ....	113
FIGURA IV-18 ESCÁNER UTILIZADO POR IUYET PARA MODELAR EL TERRENO. ....	114

---





---

---

FIGURA IV-19 NUBE DE PUNTOS OBTENIDA AL ESCANEAR EL TRAMO EN CUESTIÓN.....	114
FIGURA IV-20 EJEMPLO DE VENTAJAS EN LA TOMA DE DECISIONES CON INFRAWORKS.....	115
FIGURA IV-21 IMAGEN DE REFERENCIA DE IUYET PARA ILUSTRAR EL DISEÑO DE LA INFRAESTRUCTURA A PARTIR DEL MODELO DE CONDICIONES EXISTENTES. ....	115
FIGURA IV-22 EJEMPLO DEL MODELADO DE LA ESTACIÓN OBSERVATORIO (SANTIAGO FERRI).....	116
FIGURA IV-23 EL NIVEL DE DETALLE SERÁ DIFERENTE DEPENDIENDO DE LOS REQUERIMIENTOS (AUTODESK). ....	117
FIGURA IV-24 RENDER DE LA ESTACIÓN SANTA FE (IUYET).....	117
FIGURA IV-25 ENTORNO COMÚN DE DATOS (CDE). ....	118
FIGURA IV-26 (LIBRO BLANCO).....	119
FIGURA IV-27 LIBRO BLANCO TIMT. ....	120
FIGURA IV-28 LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO. ....	121
FIGURA IV-29 MODELO DE FINANCIAMIENTO PARA EL CROSSRAIL. ....	122
FIGURA IV-30 MEJORAS EN LOS TIEMPOS DE VIAJE CON EL CROSSRAIL.....	123
FIGURA IV-31 ILUSTRACIÓN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS PARA EL CROSSRAIL.....	124
FIGURA IV-32 CORREDOR DEBAJO DE LIVERPOOL STREET.....	125
FIGURA IV-33 IMPORTANCIA DE LOS TIPOS DE MODELOS EN DIFERENTES ETAPAS DEL CICLO DE VIDA DE UN PROYECTO.....	126
FIGURA IV-34 EJEMPLO DE REPORTE DE AVANCE PARA LOS CONTRATOS.....	127
FIGURA IV-35 EJEMPLO DE HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA LA INTEGRACIÓN DEL MODELO BIM (BENTLEY).....	128
FIGURA IV-36 MODELADO DE ESTACIÓN CON SYNCHRO (4D).....	129

## ÍNDICE DE TABLAS

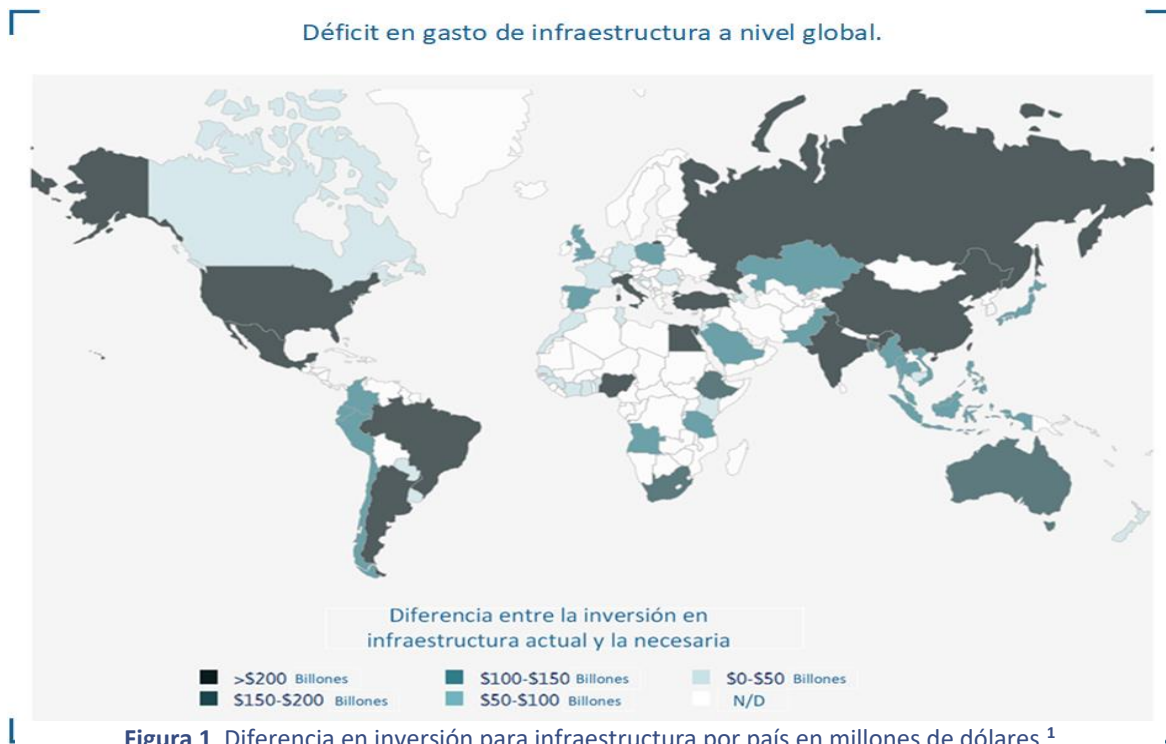
TABLA I-1 CORRESPONDENCIA ENTRE GRUPOS DE PROCESOS Y ÁREAS DE CONOCIMIENTO.....	30
TABLA I-2 (CONTINUACIÓN) CORRESPONDENCIA ENTRE GRUPOS DE PROCESOS Y ÁREAS DE CONOCIMIENTO. <sup>1,3</sup> .....	31
TABLA II-1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL LOD 100. ....	51
TABLA II-2 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL LOD 200. ....	52
TABLA II-3 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL LOD 300. ....	53
TABLA II-4 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL LOD 350. ....	54
TABLA II-5 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL LOD 400. ....	55
TABLA II-6 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL LOD 500. ....	56
TABLA II-7 RESUMEN DE INFORMACIÓN A CONTENER EN UN BEP. ....	62
TABLA III-1 FORMULACIÓN DE COSTOS DIRECTOS POR MATERIALES. ....	89
TABLA III-2 FORMULACIÓN DE COSTOS DIRECTOS POR MANO DE OBRA.....	89
TABLA III-3 FORMULACIÓN DE COSTOS DIRECTOS POR MAQUINARIA.....	90
TABLA III-4 RESUMEN POR PARTIDAS DE COSTOS INDIRECTOS.....	91
TABLA III-5 OBTENCIÓN DEL PORCENTAJE DE COSTOS INDIRECTOS.....	91



# INTRODUCCIÓN

El sector de la construcción es uno de los más importantes para el desarrollo económico de un país, crea trabajos, reparte la riqueza y sirve para satisfacer las necesidades de la sociedad. Dentro de él, la construcción de infraestructura es una de las partes más complejas debido al gran número de actores que participan en proyectos de este tipo y a los montos de inversión necesarios para desarrollarlos.

Global Infrastructure Outlook<sup>1</sup>, cuya función es la de pronosticar la necesidad de inversión en infraestructura alrededor del mundo, actualmente tiene datos de 56 países y divide la infraestructura en 7 sectores: energía, telecomunicaciones, transporte aéreo, puertos, ferrocarriles, carreteras y agua. Al realizar un estudio especializado, esta iniciativa encontró que existe un déficit en la inversión en este rubro a nivel mundial. Esta diferencia se ilustra en la siguiente imagen:



<sup>1</sup> Oxford Economics (2017). *Forecasting infrastructure investment needs and gaps*. Global Infrastructure Outlook [Citado] 18.11.16 [En Línea] <https://outlook.gihub.org/>



---

En la anterior figura se puede observar que, en mayor o menor medida, los países alrededor del mundo se encuentran con la necesidad de invertir más en infraestructura, aunque en países en vías de desarrollo es aún más imperante, pues se tienen comunidades que no cuentan con acceso a servicios básicos como drenaje y electricidad.

Aunque es necesaria la inversión, existe la tendencia a invertir menos de lo necesario, incluso en naciones desarrolladas. Lo anterior se debe a diferentes factores, entre los cuales destaca que se trata de proyectos que conllevan un alto riesgo, con inversiones elevadas a corto plazo, periodos de retorno largos y cuyos beneficios se han visto históricamente opacados por los sobrecostos presentados.

Mientras más grandes y complejos son los proyectos, los retos se incrementan y también lo hacen las consecuencias de una mala ejecución. La complejidad presentada, junto con los sobrecostos en proyectos a gran escala, han propiciado que alrededor del mundo, se esté requiriendo investigación que identifique las fallas y áreas de oportunidad.

Una de las áreas en donde se han encontrado importantes deficiencias es en la forma de gestionar los proyectos, área en la que se han tenido avances importantes mediante el uso de tecnología y de la metodología BIM. Es en este contexto que el presente trabajo de investigación se encuentra desarrollado y cuyo objetivo principal es el de identificar mejores prácticas para dirigir y gestionar proyectos a gran escala en México.

Para lograrlo, se comienza en el primer capítulo explicando lo que es un proyecto, como se desarrolla, dentro de qué contexto se definen los proyectos complejos y los conceptos necesarios para dirigirlos.

En el segundo capítulo se establece un marco de referencia acerca de la implementación de la metodología BIM, la normatividad relevante en diferentes países, conceptos generales para su comprensión y su relación con la gestión de proyectos.

Debido a que el objetivo del presente trabajo se encuentra enfocado en la reducción de los sobrecostos derivados de problemas en la gestión del presupuesto de un proyecto, en el tercer capítulo se describe el contenido de un proyecto ejecutivo, se da un resumen de la forma más



---

utilizada de presupuestar en México, que es a través del análisis de precios unitarios y la forma de utilizar BIM para su mejor desarrollo.

Luego de haber establecido el marco de referencia, se procede en el capítulo IV con los casos de estudio para identificar la forma que se está desarrollando BIM en México en comparación con un país pionero en su implementación. El primer caso se trata del Tren Interurbano México-Toluca y el segundo caso, de la construcción del “Crossrail de Londres”.



---

# I. LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS

---

*“Los logros de una organización son el resultado de los esfuerzos combinados de cada individuo.” - Vince Lombardi.*

Debido a que la construcción es una industria multidisciplinaria en la que participan personas de diferentes especialidades y que no tienen un solo lenguaje técnico, se vuelve imperante para la eficiencia en el proceso constructivo tener a una persona o personas capaces de llevar la administración del proyecto para lograr que exista una colaboración adecuada y que se alcancen los objetivos fijados.

Tomando la definición dada por el Project Management Institute (PMI)<sup>2</sup>, la dirección de proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con sus requisitos y se encuentra categorizada los cinco grupos de procesos que se muestran en la Fig. I.1.



**Figura I-1** Grupos de procesos para la dirección de proyectos.<sup>2</sup>

La anterior definición es general y, aunque incluye a la industria de la construcción, no es exclusiva de ésta. El entorno de una obra es muy complejo y existen diversas variables que intervienen en su desarrollo. Hay que tomar en cuenta factores como las condiciones físicas, sociales y geográficas del lugar de trabajo, la infraestructura disponible, los requerimientos de los inversionistas, así como a los diferentes especialistas y a los contratistas. Las necesidades de las obras varían enormemente de una a otra, por lo tanto, no es posible aplicar una receta que funcione con todas, de ahí surge la importancia de realizar un análisis detallado para cada una de ellas.

---

<sup>2</sup> Project Management Institute, PMI et al. (2017). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. 6ª Edición. Pennsylvania, Estados Unidos de América: PMI.



## 1.1 Proyectos complejos en la construcción

En su sexta edición de la Guía Para la Dirección de Proyectos, se encuentra la siguiente definición: “Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único.”<sup>2</sup> En la figura I.2 se resumen las características que definen un proyecto.

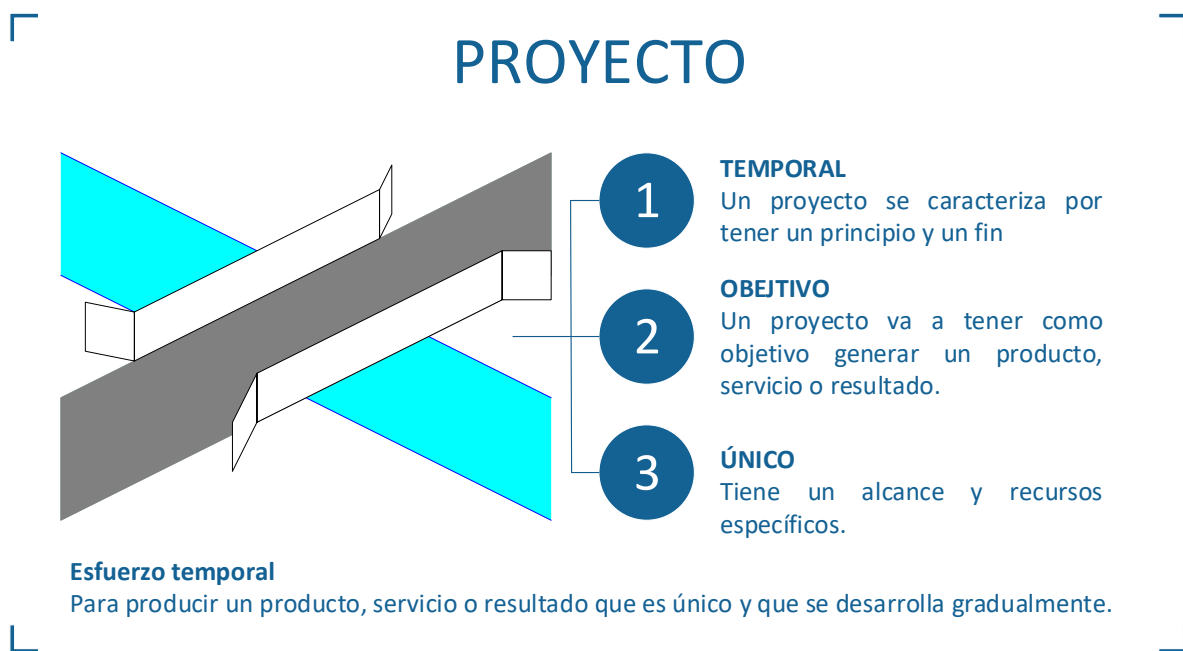


Figura I-2 Definición y características de un proyecto (PMI).<sup>2</sup>

Definir un proyecto como temporal implica que tiene un principio y un fin, aunque lo que se haya creado con el proyecto no lo tenga. Para llegar al fin exitoso de nuestro proyecto es necesaria la buena dirección de éste. Al responsable de esta dirección se le conoce como administrador de proyectos, esta persona es la responsable de cumplir con los objetivos, vigilar el desempeño y rendimiento de su equipo de trabajo, de equilibrar los intereses y restricciones como el costo, calidad y tiempo, para llegar al objetivo planteado en un inicio.

Una vez que se completa el esfuerzo temporal comienza el ciclo de vida del producto final, este ciclo de vida incluye la operación, el mantenimiento y el fin de la vida útil de éste, el cual puede ser el desmantelamiento.



El PMI reconoce que la industria de la construcción tiene requerimientos especiales, y es por ello por lo que desarrollaron una extensión especializada en ella en la que se incluyen ejemplos exclusivos y se enfatiza en los aspectos más relevantes a partir de la base general<sup>3</sup>.

Aún con esta guía no es posible agrupar a todos los proyectos constructivos debido a que varían ampliamente en complejidad. Al reconocer este problema, la Academia Nacional de Ciencias de la Ingeniería (NAS por sus siglas en inglés)<sup>4</sup>, publicó una guía con estrategias para la dirección de proyectos complejos aplicados al ámbito del desarrollo de infraestructura. Esta guía surgió a partir del análisis de 15 proyectos complejos en Estados Unidos de América y de tres proyectos internacionales. Se incluye una aproximación de cinco dimensiones en lugar de tres dimensiones que son las habituales para analizar los proyectos.

Los proyectos que se definen como complejos se diferencian del resto porque involucran un alto grado de incertidumbre y son poco predecibles. El director de proyectos debe tomar las decisiones críticas en un ambiente que, en muchos casos, involucra factores fuera de su control y del de su equipo. Esta situación es tratada en la extensión para la construcción del PMI, pero la diferencia es que en ninguna de las guías del PMI se realiza una distinción clara entre los proyectos complejos y los no complejos. Las diferencias se muestran en la Fig. I-3.



Figura I-3 Diferencias entre proyectos tradicionales y complejos (NAS).<sup>4</sup>

<sup>3</sup> Project Management Institute, PMI et al. (2016). *Construction extension to the PMBOK Guide*. Pennsylvania, Estados Unidos de América: PMI.

<sup>4</sup> National Academy of Sciences, NAS et al. (2015). *Guide to Project Management Strategies for Complex Projects*. Washington, D.C., Estados Unidos de América: Transportation Research Board.



La complejidad depende de cada proyecto y depende de factores como los agentes involucrados y retos técnicos presentados, por ejemplo, es muy diferente construir una casa que un aeropuerto.

Las dimensiones tradicionales con las que se ajustan los proyectos son tres: el aspecto técnico, el costo y el tiempo. Aunque dirigir un proyecto con estos tres enfoques puede ser válido para ciertos casos, en los que la empresa trabaja con certidumbre y depende principalmente de su aptitud, no es suficiente para los proyectos complejos en la industria de la construcción, debido a las variables que intervienen este proceso.

Con el objetivo de realizar un análisis más profundo, la NAS, considera 5 dimensiones en lugar de 3, estas dimensiones son: el aspecto técnico, el costo, el tiempo, el contexto y el financiamiento que requerirá el proyecto (Ver Fig.I.4).

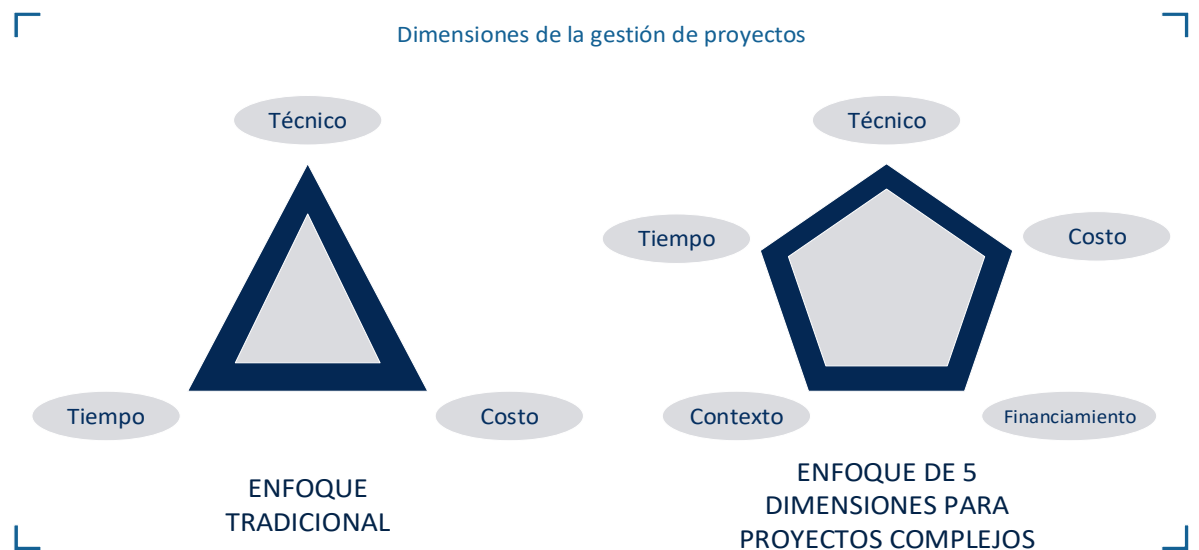


Figura I-4 Dimensiones de un proyecto bajo los diferentes enfoques.

Las dos dimensiones que se agregan, el contexto y el financiamiento, no son tratadas en la Guía del PMBOK V.6 a profundidad, por tratarse de un documento que se puede aplicar a proyectos genéricos, sin embargo, en su publicación especializada *Construction Extension to the PMBOK Guide* <sup>4</sup>, se reconoce que para el caso específico de la construcción es necesario considerar más detalladamente el entorno fuera de la empresa dentro del que se desarrolla el proyecto.





---

## 1.2 La importancia de la dirección de proyectos en la construcción

Un buen proyecto se consigue con la aplicación e integración adecuadas de los procesos de dirección de proyectos identificados. La dirección de proyectos permite ejecutar los proyectos de manera eficaz y eficiente y ayuda a:

- Cumplir los objetivos planteados en un inicio;
- Satisfacer las necesidades del cliente o clientes;
- Realizar una mejor planeación;
- La entrega oportuna de los productos o entregables;
- Resolver problemas e incidentes eficientemente;
- Responder a los riesgos de manera oportuna;
- Optimizar el uso de los recursos;
- Gestionar las restricciones (alcance, calidad, cronograma, costos, recursos);
- Manejar los cambios de una mejor forma.

Los proyectos dirigidos de manera deficiente o la ausencia de dirección de proyectos pueden conducir, entre otros a:

- Incumplimiento de plazos,
- Sobrecostos,
- Calidad deficiente,
- Retrabajo,
- Expansión no controlada del proyecto,
- Pérdida de reputación para la empresa,
- Clientes insatisfechos
- Demandas

Los proyectos de infraestructura y construcción son claves en el desarrollo de un país y contribuyen a la distribución de los recursos y a la mejora de los servicios para la sociedad. En el actual entorno globalizado y de competencia, los líderes de las organizaciones deben ser capaces de gestionar con presupuestos cada vez más ajustados, cronogramas más cortos,



escasez de recursos y una tecnología en constante cambio para mantener la competitividad y no incurrir en incumplimiento de contratos.



Figura I-5 “La estela de luz” (Adobe Stock).<sup>5</sup>

Uno de los proyectos de los años recientes que fue más criticado por sus múltiples problemas y su mala administración, es el proyecto conocido como “La Estela de Luz”, ilustrada en la Fig. I-5<sup>5</sup>, la cual fue construida durante el periodo presidencial de Felipe de Jesús Calderón Hinojosa. De acuerdo con datos de México Evalúa <sup>6</sup>, la obra inicialmente tenía que costar 393 millones de pesos, sin embargo, su presupuesto se incrementó durante la ejecución para llegar a 1 mil 139 millones de pesos, además de que solamente se construyó el 23 por ciento del área del proyecto concebido en un principio. En el ámbito del tiempo, el proyecto, el cual se firmó el 18 de diciembre de 2009, preveía

un plazo de ejecución de 251 días, aunque el plazo de ejecución se amplió hasta llegar a 743 días (195% más de lo previsto). Este proyecto derivó en múltiples quejas de la sociedad, ya que no solo fue muy caro y se realizó en un tiempo muy superior al originalmente concebido, sino que se percibió que en realidad no aportaba beneficios contundentes al desarrollo económico, social o institucional de México.

Este es solo uno de los muchos ejemplos de una mala planeación, una gestión deficiente, corrupción y sobrecostos que pudieron ser evitados.

<sup>5</sup> [zsurie]-Adobe Stock. No. 214699058.

<sup>6</sup> Campos, Mariana et al. (2014). *Por un presupuesto realista y sostenible 5 puntos de atención urgente*. México Evalúa. [Citado 2018-11-5]. [En Línea] Disponible en: <https://www.mexicoevalua.org/2014/10/08/por-un-presupuesto-realista-y-sostenible-5-puntos-de-atencion-urgente/>



## 1.3 Factores que intervienen en un proyecto

Un proyecto existe en un entorno. Este entorno influye en el proyecto ya sea de manera positiva o negativa. De acuerdo con la *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos, PMBOK*,<sup>2</sup> las dos categorías principales de influencias en un proyecto son los factores ambientales de la empresa, llamados *Environmental Enterprise Factors (EEFs)* y los activos de procesos de la organización *Organización Program Attributes (OPA)*.

Los EEFs vienen del entorno fuera del proyecto y muchas veces fuera del ámbito de la empresa y hacen referencia a condiciones que influyen o restringen el proyecto pero que no es fácil controlar por el equipo involucrado. Los OPAs son elementos internos de la empresa, incluyen los planes, programas, políticas, procedimientos y los conocimientos específicos que tenga la empresa para realizar determinado proyecto.

Dentro de los factores externos a la empresa más importantes para el desarrollo de un proyecto que tenemos que tener en consideración se incluyen los aspectos económicos, financieros y de localización del proyecto, los cuales se describen a continuación.

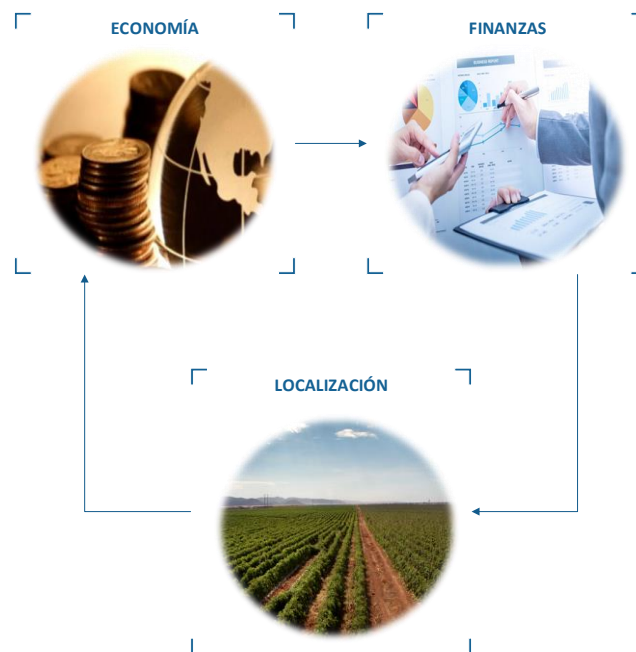


Figura I-6 Factores externos a considerar (PMBOK, Construcción).<sup>3</sup>



## Económicos

Debido a su naturaleza multidisciplinaria, en los proyectos de edificación actúan diferentes agentes económicos, tales como el gobierno, las empresas, los productores y los consumidores. El costo de la construcción depende en gran medida de los precios de materiales, mano de obra y de la maquinaria a utilizar en el proyecto, estos precios, a su vez, fluctúan a lo largo del tiempo obedeciendo a las leyes económicas.

El comportamiento de la economía local y nacional, así como el de la economía global, son factores que deben considerarse en el momento de planear el proyecto. Un ejemplo de la importancia de considerar los factores económicos se ilustra en la figura I-7<sup>7</sup> tomada de Proyectos México, cuyo objetivo es animar a los inversionistas a construir en el país.

### ECONOMÍA SÓLIDA Y ABIERTA

La economía mexicana es la 2ª más grande de América Latina y la 15ª a nivel mundial,<sup>[1]</sup> y ha venido creciendo de manera constante y sostenida gracias al seguimiento de políticas económicas responsables de largo plazo.

[1] World Economic Outlook 2017, Febrero 2018, Fondo Monetario Internacional.



**Figura I-7** La construcción es una industria multidisciplinaria en la que intervienen diferentes agentes.

A nivel nacional, dependiendo de las políticas del gobierno y de la situación económica del país al momento de la planeación de la obra y de su ejecución, se asignan prioridades diferentes a los proyectos de infraestructura. Algunos de los caminos que puede tomar el gobierno tanto a nivel federal como local incluyen dar o cancelar permisos de construcción, privilegiar o postergar proyectos y decidir si se incrementa o se restringe el apoyo económico hacia ellos.

<sup>7</sup> Proyectos México [Citado 2018-09-08] [En Línea] Disponible en: <https://www.proyectosmexico.gob.mx/por-que-invertir-en-mexico/economia-solida/>



## Factores financieros

Algunos proyectos constructivos son inversiones a largo plazo diseñados para incrementar el capital de una empresa. Se tratan de proyectos a gran escala que requieren de una financiación significativa y de una inversión alta de recursos por parte de la organización. Ejemplos de este tipo de proyectos incluyen las carreteras, los ferrocarriles, las presas y aeropuertos.

Usualmente para construir se requiere alguna forma de financiamiento, independientemente si es público, privado o por medio de una asociación público-privada. Uno de los aspectos más importantes para que se decida si un proyecto es viable o no, es el retorno esperado de la inversión, y si el banco considera que el proyecto y el dueño o promovente de éste es elegible para ser financiado por parte del banco se aprueba su financiamiento. Obtener el financiamiento para el proyecto es siempre uno de los primeros pasos en su ciclo de vida y de este paso dependen los demás.

Dependiendo del país, se pueden tener instituciones financieras públicas que financien proyectos que se consideran de interés nacional con tasas más bajas que las del mercado. En México un ejemplo sería el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos (BANOBRAS).



El Banco colocó Certificados por 10 mil millones de pesos a plazos de 3 y 7 años, en la Bolsa Mexicana de Valores

En el 2018 el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos S.C. , (Banobras) colocó en la Bolsa Mexicana de Valores, certificados bursátiles de Banca de desarrollo por 10 mil millones de pesos, para ser utilizados en los siguientes 8 sectores:

- Infraestructura básica que beneficie a población en rezago social y pobreza extrema
- Infraestructura de servicios públicos
- Recuperación de desastres naturales
- Transporte sustentable
- Proyectos de energías renovables
- Proyectos (productos o tecnología) que reduzcan el consumo o mejoren la eficiencia energética
- Agua y manejo de aguas residuales y
- Prevención y control de la contaminación

**Figura I-8** Ejemplo de financiamiento para infraestructura pública (BANOBRAS).<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Banobras (2018), [Citado 2018-11-03]. [En Línea] <https://www.gob.mx/banobras/prensa/en-su-primera-emision-de-2018-banobras-coloca-segundo-bono-sustentable-de-una-banca-de-desarrollo-en-america-latina>.



## Factores de sitio

Decidir la localización del proyecto no es una tarea fácil que deba de ser tomada a la ligera, existen diversos factores que cambian dependiendo de la localización del proyecto, algunos ejemplos de estos factores son los siguientes:

- El primer aspecto que considerar es si para la construcción se aprovecharán las instalaciones ya existentes y que serán modificadas, aumentadas y/o mejoradas (Brownfield). Si se trata en un proyecto completamente desde cero, en un sitio nuevo o existente uno que se cambia completamente, como puede ser la construcción de una nueva central eléctrica, fábrica, aeropuerto o un proyecto minero nuevo (Greenfield).
- Las condiciones geográficas del sitio, tales como la topografía, el tipo de suelo del que se trate, la presencia de líneas de fractura, los patrones climatológicos, en el caso de sitios cercanos al mar, la amplitud de la ola, entre otros. En la Ciudad de México, debido a que nos encontramos en una zona sísmica se tienen que considerar diversos factores de seguridad dependiendo del sitio de desplante y de las características de la construcción que se va a realizar. La figura I-9<sup>9</sup> corresponde a una fotografía del sismo en México ocurrido el 19 de septiembre del 2017.
- Otro aspecto importante que considerar son las condiciones de acceso al sitio. Hay que tomar en cuenta la logística necesaria para llevar los materiales o hacer llegar maquinaria pesada y de gran tamaño al sitio de los trabajos, así como tener en cuenta que se tendrá que desembolsar más dinero en caso de que el sitio se encuentre muy alejado de una localidad y la empresa se vea en la necesidad de pagar el transporte a sus empleados o de montar un campamento.



Figura I-9 Fotografía del sismo del 19 de septiembre.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> © Ernesto-Adobe Stock. No. 210087476. Terremoto en México 2017.



- El factor ambiental también es de vital importancia y en muchas ocasiones no se considera de forma oportuna, se debe revisar si el proyecto cumple con la normatividad ambiental de la zona en que se va a desplantar, se llega a tener casos en donde el proyecto se encuentra muy avanzado y todavía no hay una manifestación de impacto ambiental aprobada. Un ejemplo de estas afectaciones es la erosión (Ver Fig.I-10)<sup>10</sup>.



**Figura I-10** La erosión es uno de los efectos ambientales que se deben mitigar al planear un proyecto.<sup>10</sup>

- Las condiciones de seguridad y la respuesta del gobierno a la realización del proyecto.
- La disponibilidad de mano de obra calificada para los trabajos cerca del sitio.
- Los permisos de construcción, ya que varían en costo, tiempo y disponibilidad dependiendo del sitio. También se debe asegurar el derecho de vía para el proyecto.
- Aunque antes de iniciar un proyecto generalmente se investigan las condiciones climatológicas del sitio, se deben tener cláusulas en los contratos por condiciones no previstas, como puede ser el caso de un huracán.

<sup>10</sup> [© Alexander]-Adobe Stock. No. 140786078.



## 1.4 Grupos de procesos y áreas de la dirección de proyectos

El estándar para la dirección de proyectos del PMI<sup>1</sup> agrupa los procesos que se emplean para cumplir con los objetivos en cinco grupos diferentes, los cuales a su vez se relacionan con las diferentes áreas, los grupos de procesos son los siguientes:

### Inicio

Se refieren a los procesos realizados para definir un nuevo proyecto o nueva fase de un proyecto existente, al obtener la autorización para iniciar el proyecto o fase.

### Planificación

Procesos requeridos para establecer el alcance del proyecto, refinar los objetivos y definir el curso de acción que se requiere para alcanzar los objetivos propuestos.

### Ejecución

Incluye a los procesos realizados para completar el trabajo definido en el plan para la dirección del proyecto, a fin de satisfacer los requisitos del proyecto.

### Monitoreo y Control

Son los procesos requeridos para hacer un seguimiento, analizar y para regular el progreso y el desempeño del proyecto, para identificar áreas en las que el plan requiera cambios y para iniciar los cambios correspondientes.

### Cierre

Son los procesos llevados a cabo para completar o cerrar formalmente un proyecto, fase o contrato.



Figura I-11 Relación entre los grupos de procesos (PMBOK<sup>2</sup>, Elaboración propia).





Las áreas definidas en el PMBOK son 10, y si se incluyen las adicionales de la extensión para la construcción, se convierten en 12.

	INICIO	PLANEACIÓN	MONITOREO Y CONTROL	EJECUCIÓN	CIERRE
1	INTEGRACIÓN DEL PROYECTO				
2		ALCANCE		ALCANCE	
3		TIEMPO		TIEMPO	
4		COSTOS		COSTOS	
5		CALIDAD			
6		RECURSOS			
7		COMUNICACIONES			
8		RIESGOS			
9		ADQUISICIONES			
10	INTERESADOS				
11		SALUD, SEGURIDAD Y CONTROL AMBIENTAL			
12		FINANZAS		FINANZAS	

Figura I-12 Relación entre los grupos de procesos y áreas del conocimiento (PMBOK, Elaboración propia)<sup>2</sup>.

## 1. Gestión de la Integración del Proyecto

En la construcción, la gestión de la integración de proyectos es especialmente importante pues los proyectos son muy sensibles a las variaciones en tiempo y costo, la principal tarea de un director de proyectos es la de minimizar discrepancias entre las disciplinas que intervienen. La integración del proyecto empieza cuando el propietario toma la decisión de renovar o realizar una nueva construcción.

## 2. Gestión del Alcance del Proyecto

Definir el alcance es el proceso que consiste en desarrollar una descripción detallada del proyecto. El beneficio clave de este proceso es que describe los límites del proyecto, servicio o resultado y los criterios de aceptación. Este proceso se lleva a cabo una única vez o en puntos predefinidos del proyecto. Una definición deficiente de los alcances causa confusión y puede hacer que las personas que se encuentran trabajando en el proyecto no tengan bien definida su intervención en él, haciendo trabajo que no les corresponde o descuidando sus propias responsabilidades.



---

### **3. Gestión del Cronograma del Proyecto**

Planificar la Gestión del Cronograma es el proceso de establecer las políticas, los procedimientos y la documentación para planificar, desarrollar, gestionar, ejecutar y controlar el cronograma del proyecto. El beneficio clave de este proceso es que proporciona guía y dirección sobre cómo se gestionará el cronograma del proyecto a lo largo del mismo. Este proceso se lleva a cabo una única vez o en puntos predefinidos del proyecto. En la industria de la construcción es común que se deba de actualizar periódicamente, existen distintas formas de realizar un cronograma y una de las más utilizadas es creando una ruta crítica. Programas computacionales como Microsoft Project o Primavera ayudan en la tarea de realizar las actualizaciones correspondientes.

### **4. Gestión de los Costos del Proyecto**

La Gestión de los Costos del Proyecto incluye los procesos involucrados en planificar, estimar, presupuestar, financiar, obtener financiamiento, gestionar y controlar los costos de modo que se complete el proyecto dentro del presupuesto aprobado. Los procesos de Gestión de los Costos del Proyecto son:

- Planificar la Gestión de los Costos—Es el proceso de definir cómo se han de estimar, presupuestar, gestionar, monitorear y controlar los costos del proyecto.
- Estimar los Costos—Es el proceso de desarrollar una aproximación de los recursos monetarios necesarios para completar el trabajo del proyecto.
- Determinar el Presupuesto—Es el proceso que consiste en sumar los costos estimados de las actividades individuales o paquetes de trabajo para establecer una línea base de costos autorizada.
- Controlar los Costos—Es el proceso de monitorear el estado del proyecto para actualizar los costos del proyecto y gestionar cambios a la línea base de costos.

Es una de las áreas más importantes en la construcción, ya que si no se lleva un control adecuado el impacto de un mal manejo de los costos es devastador.



---

## 5. Gestión de la Calidad del Proyecto

La parte de gestionar la calidad de un proyecto incluye los procesos para incorporar la política de calidad de la organización en cuanto a la planificación, gestión y control de los requisitos de calidad del proyecto y el producto, a fin de satisfacer los objetivos de los interesados. La Gestión de la Calidad del Proyecto también es compatible con actividades de mejora de procesos continuos tal y como las lleva a cabo la organización ejecutora.

Los procesos de Gestión de la Calidad del Proyecto son:

- Planificar la Gestión de la Calidad—Es el proceso de identificar los requisitos y/o estándares de calidad para el proyecto y sus entregables, así como de documentar cómo el proyecto demostrará el cumplimiento con los mismos.
- Gestionar la Calidad—Es el proceso de convertir el plan de gestión de la calidad en actividades ejecutables de calidad que incorporen al proyecto las políticas de calidad de la organización.
- Controlar la Calidad—Es el proceso de monitorear y registrar los resultados de la ejecución de las actividades de gestión de calidad, para evaluar el desempeño y asegurar que las salidas del proyecto sean completas, correctas y satisfagan las expectativas del cliente.

## 6. Gestión de los Recursos del Proyecto

Planificar la Gestión de Recursos es el proceso de definir cómo estimar, adquirir, gestionar y utilizar los recursos físicos y del equipo. El beneficio clave de este proceso es que establece el enfoque y el nivel del esfuerzo necesario para gestionar los recursos del proyecto en base al tipo y complejidad del proyecto. Este proceso se lleva a cabo una única vez o en puntos predefinidos del proyecto.

Se debe tener una buena logística del ingreso y egreso de los recursos al proyecto, por ejemplo, en el caso de piezas que deben de importarse o que son creadas a la medida, en muchas ocasiones no se tiene una buena base de datos que permita saber el tiempo de entrega de los productos al sitio de la obra, lo que ocasiona retrasos que pueden llegar a ser considerables.



---

## **7. Gestión de las Comunicaciones del Proyecto**

Planificar la Gestión de las Comunicaciones es el proceso de desarrollar un enfoque y un plan apropiados para las actividades de comunicación del proyecto con base en las necesidades de información de cada interesado o grupo, en los activos de la organización disponibles y en las necesidades del proyecto. El beneficio clave de este proceso es un enfoque documentado para involucrar a los interesados de manera eficaz y eficiente, mediante la presentación oportuna de información relevante. Este proceso se lleva a cabo periódicamente a lo largo del proyecto, según sea necesario.

En ocasiones no se le da suficiente importancia a esta área, pero los resultados de esta falta de atención pueden ser muy serios, en especial en una obra de gran magnitud, se debe definir desde un principio a las personas responsables de la comunicación por disciplina, subcontratista, área etc. De lo contrario, se puede generar un desconcierto en el que no se sabe el avance real, los retrasos que se tengan y los problemas a los que se están enfrentando las personas y que necesitan de alguien más para resolver.

## **8. Gestión de los Riesgos del Proyecto**

La Gestión de los Riesgos del Proyecto incluye los procesos para llevar a cabo la planificación de la gestión, identificación, análisis, planificación de respuesta, implementación de respuesta y monitoreo de los riesgos de un proyecto. Los objetivos de la gestión de los riesgos del proyecto son aumentar la probabilidad y/o el impacto de los riesgos positivos y disminuir la probabilidad y/o el impacto de los riesgos negativos, a fin de optimizar las posibilidades de éxito del proyecto.

Los procesos de Gestión de los Riesgos del Proyecto son:

- Planificar la Gestión de los Riesgos—El proceso de definir cómo realizar las actividades de gestión de riesgos de un proyecto.
- Identificar los Riesgos—El proceso de identificar los riesgos individuales del proyecto, así como las fuentes de riesgo general del proyecto y documentar sus características.



- 
- Realizar el Análisis Cualitativo de Riesgos—El proceso de priorizar los riesgos individuales del proyecto para análisis o acción posterior, evaluando la probabilidad de ocurrencia e impacto de dichos riesgos, así como otras características.
  - Realizar el Análisis Cuantitativo de Riesgos—El proceso de analizar numéricamente el efecto combinado de los riesgos individuales del proyecto identificados y otras fuentes de incertidumbre sobre los objetivos generales del proyecto.
  - Planificar la Respuesta a los Riesgos—El proceso de desarrollar opciones, seleccionar estrategias y acordar acciones para abordar la exposición al riesgo del proyecto en general, así como para tratar los riesgos individuales del proyecto.
  - Implementar la Respuesta a los Riesgos—El proceso de implementar planes acordados de respuesta a los riesgos.
  - Monitorear los Riesgos—El proceso de monitorear la implementación de los planes acordados de respuesta a los riesgos, hacer seguimiento a los riesgos identificados, identificar y analizar nuevos riesgos y evaluar la efectividad del proceso de gestión de los riesgos a lo largo del proyecto.

## **9. Gestión de las Adquisiciones del Proyecto**

La Gestión de las Adquisiciones del Proyecto incluye los procesos necesarios para comprar o adquirir productos, servicios o resultados que es preciso obtener fuera del equipo del proyecto. La Gestión de las Adquisiciones del Proyecto incluye los procesos de gestión y de control requeridos para desarrollar y administrar acuerdos tales como contratos, órdenes de compra, memorandos de acuerdo (MOAs) o acuerdos de nivel de servicio (SLAs) internos. El personal autorizado para adquirir los bienes y/o servicios requeridos para el proyecto puede incluir miembros del equipo del proyecto, la gerencia o parte del departamento de compras de la organización, si corresponde.

Los procesos de Gestión de las Adquisiciones del Proyecto incluyen los siguientes:

- Planificar la Gestión de las Adquisiciones del Proyecto—Es el proceso de documentar las decisiones de adquisiciones del proyecto, especificar el enfoque e identificar a los proveedores potenciales.



- Efectuar las Adquisiciones—Es el proceso de obtener respuestas de los proveedores, seleccionar a un proveedor y adjudicarle un contrato.
- Controlar las Adquisiciones—Es el proceso de gestionar las relaciones de adquisiciones, monitorear la ejecución de los contratos, efectuar cambios y correcciones, según corresponda, y cerrar los contratos.

## **10. Gestión de los Interesados del Proyecto**

La Gestión de los Interesados del Proyecto incluye los procesos requeridos para identificar a las personas, grupos u organizaciones que pueden afectar o ser afectados por el proyecto, para analizar las expectativas de los interesados y su impacto en el proyecto, y para desarrollar estrategias de gestión adecuadas a fin de lograr la participación eficaz de los interesados en las decisiones y en la ejecución del proyecto. Los procesos apoyan el trabajo del equipo del proyecto para analizar las expectativas de los interesados, evaluar el grado en que afectan o son afectados por el proyecto, y desarrollar estrategias para involucrar de manera eficaz a los interesados en apoyo a las decisiones del proyecto y la planificación y ejecución del trabajo del proyecto.

## **11. Gestión de la Salud, seguridad y control ambiental del proyecto**

La seguridad, salud y mitigación del impacto ambiental son factores que juegan un rol de vital importancia en la construcción.

Debido a los riesgos inherentes de la industria, existe propensión a que los trabajadores tengan accidentes durante el desarrollo de sus actividades, estos riesgos se incrementan enormemente cuando el plan de seguridad de la obra es deficiente y si no se vigila que se cumpla en todo momento con las reglas de seguridad necesarias. Se debe tener asegurados a los empleados y velar por su salud, en caso de que esto no se respete, no sólo se tendrán pérdidas monetarias y de tiempo, sino que también se puede incurrir en incumplimiento de la ley y que se proceda a demandar a la empresa constructora, siendo las sanciones variables dependiendo de la gravedad del caso del que se trate.

Cuando se proyecta una obra sin la planeación de impacto ambiental correspondiente, el inicio de los trabajos se puede ver retrasado de manera considerable por la obtención de los



permisos con las instituciones gubernamentales y por el tiempo que lleve realizar los estudios correspondientes.

## 12. Gestión de las finanzas del proyecto

En el proceso de planeación, el manejo de las finanzas debe cubrir las alternativas que se pueden utilizar para financiar el proyecto de construcción. En la fase de monitoreo y control se debe asegurar que se esté cumpliendo con el presupuesto y revisar que no haya problemas con el flujo de efectivo. Para esto se tienen que realizar reportes financieros y auditorías a éstos.

En la tabla I-1 se describe la correspondencia entre los 5 grupos de procesos y las áreas de conocimiento de la dirección de proyectos.

ÁREAS DE CONOCIMIENTO	GRUPOS DE PROCESOS				
	INICIO	PLANEACIÓN	EJECUCIÓN	MONITOREO Y CONTROL	CIERRE
<b>INTEGRACIÓN</b>	-Desarrollar el acta constitutiva de la empresa	Desarrollar el plan para la dirección del proyecto.	-Dirigir y gestionar el trabajo del proyecto. -Gestionar el conocimiento del proyecto.	-Monitorear y controlar el trabajo del proyecto. -Realizar el control integrado de cambios.	Cerrar el proyecto o fase.
<b>ALCANCE</b>		-Planificar la gestión del alcance. -Recopilar requisitos. -Definir el alcance. -Crear la EDT/WBS.		-Validar el alcance. -Controlar el alcance	
<b>CRONOGRAMA</b>		-Planificar la gestión del cronograma. -Definir las actividades. -Secuenciar las actividades. -Estimar la duración de las actividades. -Desarrollar el cronograma.		-Controlar el cronograma.	

Tabla I-1 Correspondencia entre grupos de procesos y áreas de conocimiento.<sup>2</sup>



<b>COSTOS</b>		-Planificar la gestión de los costos. -Estimar los costos. -Determinar el		-Controlar los costos.	
<b>CALIDAD</b>		-Planificar la gestión de la	-Gestionar la calidad.	-Controlar la calidad.	
<b>RECURSOS</b>		Planificar la gestión de recursos. -Estimar los recursos de las actividades.	-Adquirir recursos. -Desarrollar el equipo. -Dirigir al equipo.	-Controlar los recursos	
<b>COMUNICACIONES</b>		-Planificar la gestión de las comunicaciones.	-Gestionar las comunicaciones	-Monitorear las comunicaciones.	
<b>RIESGOS</b>		-Planificar la gestión de los riesgos. -Identificar los riesgos -Realizar el análisis cualitativo de riesgos. -Planificar la respuesta a los	-Implementar la respuesta a los riesgos.	- Monitorear los riesgos.	
<b>ADQUISICIONES</b>		-Planificar la gestión de las	-Efectuar las adquisiciones	-Controlar las adquisiciones	
<b>INTERESADOS</b>	-Identificar a los interesados	-Planificar el involucramiento de los interesados	-Gestionar el involucramiento de los interesados	-Monitorear el involucramiento de los interesados	
<b>SALUD, SEGURIDAD Y AMBIENTE</b>		-Realizar el plan de cuidado de la salud de los trabajadores -Realizar el plan de seguridad -Realizar el plan de manejo ambiental	-Ejecutar los planes realizados en la fase anterior	-Dar seguimiento a los planes para asegurar que se estén siguiendo y se ajusten a las necesidades del proyecto.	
<b>FINANZAS</b>		-Realizar el plan financiero		-Monitorear las finanzas del proyecto	

Tabla I-2 (Continuación) Correspondencia entre grupos de procesos y áreas de conocimiento.<sup>1,3</sup>





## 1.7 Avances tecnológicos para lograr una mejor gestión

Debido a que los proyectos son cada vez más complejos e involucran a una gran cantidad de actores, la industria de la construcción se está viendo forzada a evolucionar en la tecnología empleada, la dirección y los procedimientos de entrega.

Algunos avances en términos de comunicación y de flujo de trabajo que se están teniendo son los siguientes:

- Máquinas y equipo de geoposicionamiento que permiten monitorear los proyectos en tiempo real y controlar la seguridad en sitio.
- Sensores para monitorear embarcaciones, medir deformaciones estructurales y predecir fallas en túneles.
- Centralizar la documentación del proyecto en la nube para que se tenga información actualizada en todo momento.
- Tecnología de comunicación móvil.
- Impresión 3D.
- Drones para la captura de las condiciones de terreno. Como se ilustra en la figura I.13<sup>11</sup>.
- Recorridos virtuales con de realidad aumentada.
- Métodos modernos para prefabricar y la modelización de los proyectos.



Figura I-13 Ilustración de un vuelo realizado con dron (Adobe).

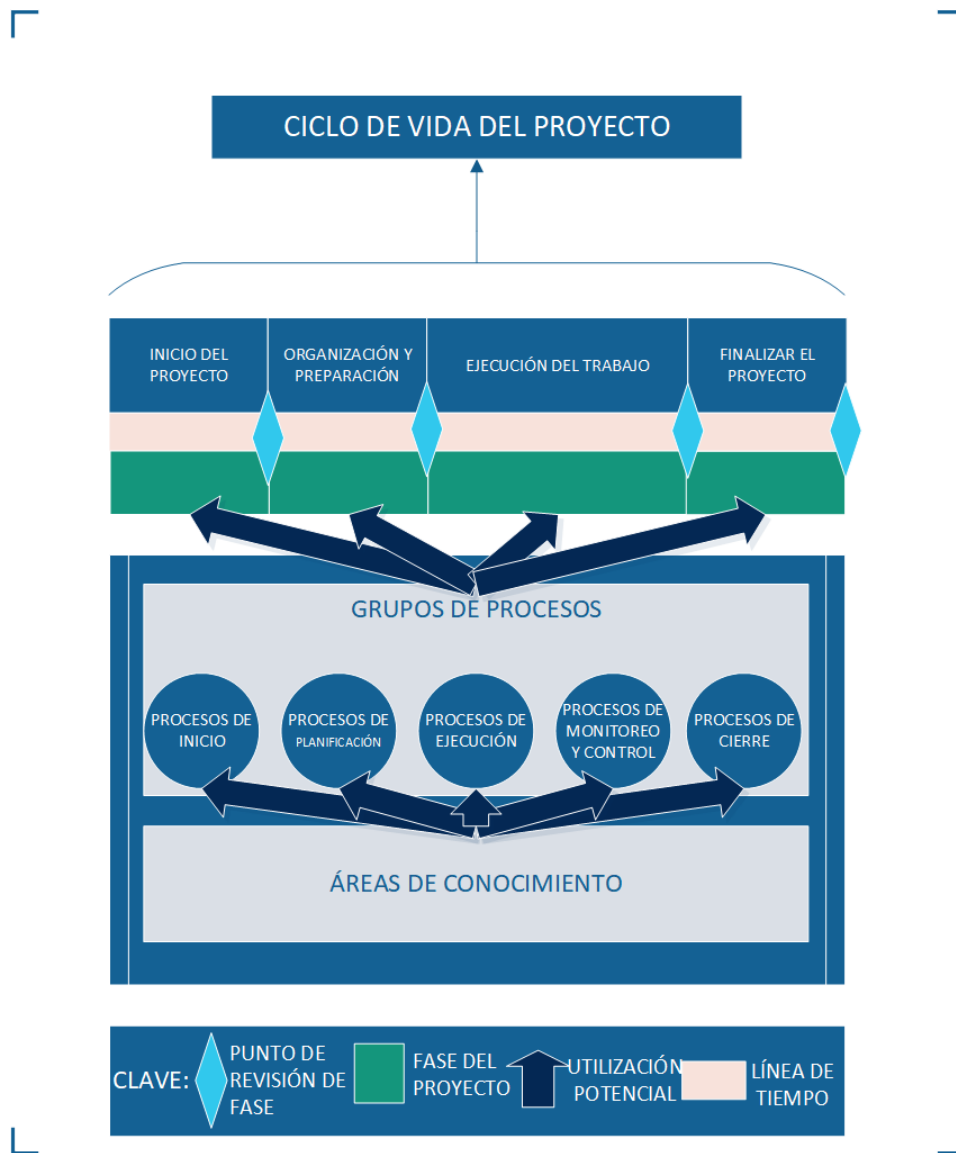
Otro avance importante en la actualidad se está llevando a cabo con la creciente implementación de BIM, tema que será tratado en el siguiente capítulo.

<sup>11</sup> [© ekkasit919]-Adobe Stock. No. 170790985.



## 1.5 El ciclo de vida del proyecto

La Guía del PMBOK define al ciclo de vida de un proyecto como la serie de fases que atraviesa éste desde su inicio hasta su conclusión. De acuerdo con esta guía el ciclo de vida genérico del proyecto se divide en el inicio, la organización, ejecución y el final del proyecto. La relación entre el ciclo de vida genérico y los grupos de procesos y áreas definidos en el PMBOK se muestra en el siguiente diagrama:



**Figura I-14** Diagrama que muestra la interacción de las áreas del conocimiento y los grupos de procesos en el ciclo de vida de un proyecto genérico (PMBOK).<sup>2</sup>



En el PMBOK se definen diversos tipos de ciclos de vida, las cuatro categorías quedan resumidas en la siguiente tabla:

Características				
Enfoque	Requisitos	Actividades	Entrega	Meta
Predictivo	Fijos	Realizados una vez para todo el proyecto	Entrega única	Gestionar costos
Iterativo	Dinámicos	Repetidos hasta que esté correcto	Entrega única	Corrección de la solución
Incremental	Dinámicos	Realizados una vez para un incremento dado	Entregas frecuentes más pequeñas	Velocidad
Ágil	Dinámicos	Repetidos hasta que esté correcto	Entregas pequeñas frecuentes	Valor para el cliente mediante entregas frecuentes y retroalimentación

Figura I-15 Diferentes categorías de ciclos de vida de un proyecto (PMBOK).<sup>12</sup>

Algo importante de resaltar que no es imperante utilizar un enfoque único para todo el proyecto, ya que se pueden combinar elementos de las diferentes categorías de ciclo de vida para lograr sus objetivos, existen enfoques conocidos como ágiles cuyo objetivo es explorar la viabilidad en ciclos cortos para adaptarse rápidamente en función de la evaluación y retroalimentación.<sup>12</sup> A la combinación de categorías de ciclos de vida se le conoce como un ciclo híbrido, este enfoque puede ser muy útil en el sector de la construcción, ya que, dependiendo de la etapa del ciclo de vida, el proyecto puede tener distintos requerimientos. Por ejemplo, cuando el proyecto se está organizando, preparando y diseñando, requerirá de muchos cambios y por lo tanto se podría beneficiar de un enfoque ágil, pero cuando ya se tenga un proyecto final bien definido puede utilizarse el enfoque predictivo para gestionar de mejor manera el costo y cumplir con el cronograma del proyecto.

Cada etapa del ciclo de vida tiene diferentes fases, una fase se define en el PMBOK como un conjunto de actividades del proyecto, relacionadas de manera lógica, que culmina con la finalización de uno o más entregables.

<sup>12</sup> Project Management Institute, PMI et al. (2017). *Guía práctica de ágil*. Pennsylvania, Estados Unidos de América: PMI.



Las fases del proyecto pueden establecerse en base a diversos factores que incluyen, entre otros:

- Necesidades de gestión;
- Naturaleza del proyecto;
- Características únicas de la organización, industria o tecnología;
- Elementos del proyecto que incluyen, entre otros, tecnología, ingeniería, negocios, procesos o elementos legales;
- Puntos de decisión (Financiamiento, continuación o no del proyecto y revisión de problemas.)

Existen diferentes referencias para definir las fases del ciclo de vida de un proyecto de construcción, por ejemplo, las definidas por la asociación internacional denominada OmniClass, que se dedica a compilar y realizar estándares para la industria de la construcción y las fases determinadas por el Royal Institute of British Architects (RIBA), desarrolladas en el Reino Unido. Para el presente trabajo escrito, las fases que se utilizarán de referencia son las establecidas por el plan de trabajo 2013 RIBA, debido a la estrecha relación que tienen con la metodología que se tratará en los siguientes capítulos. Las fases que se definen son las presentadas en la figura I-16.

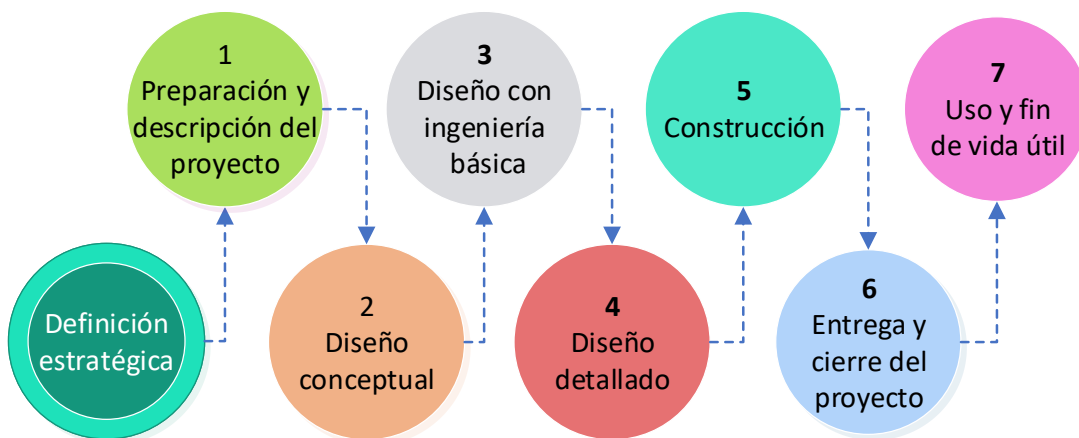
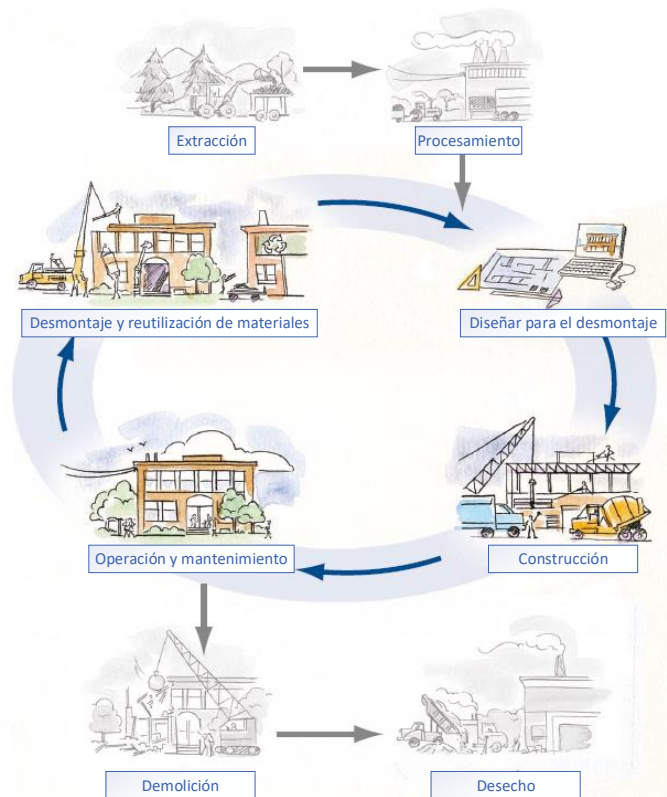


Figura I-16 Fases de un proyecto de edificación.<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Royal Institute of British Arts (RIBA), (2013). [Consultado 2018-08-15][En Línea] Disponible en: <https://www.architecture.com/knowledge-and-resources/resources-landing-page/riba-plan-of-work>



Es muy importante resaltar que el ciclo de vida de un proyecto es diferente al ciclo de vida de la construcción y de los recursos utilizados para ella. Una buena práctica durante la etapa de planeación del proyecto sería considerar el impacto en el medioambiente de la construcción considerándola desde la extracción de los recursos hasta la fase de desecho. En la siguiente figura se pueden apreciar las fases del ciclo de vida de una construcción desde la perspectiva de los recursos utilizados para ella de acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos<sup>14</sup>.



**Figura I-17** Ciclo de vida de los recursos para la construcción (United States Environmental Protection Agency, EPA).<sup>14</sup>

Generalmente los proyectos constructivos se desarrollan bajo el marco de un contrato, siendo un problema recurrente que muchos aspectos son establecidos en el inicio del ciclo de vida de los proyectos cuando existe una gran incertidumbre. En el siguiente apartado se tratarán diversos tipos de contrato en México.

<sup>14</sup> Environmental Protection Agency (EPA). (2008). *Lifecycle Construction Resource Guide*. Atlanta, Estados Unidos de América.



---

## 1.6 Tipos de contratos más utilizados en México

En México existen diferentes tipos de contratos, éstos pueden ser públicos o privados, los contratos privados dependen de lo pactado entre el cliente y el proveedor de servicios, por lo que varían ampliamente. Los contratos públicos, por otra parte, están regulados en México por la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las mismas, las condiciones de pago descritas en esta Ley se especifican en el Título Tercero, Capítulo Primero, Artículo 45, dichas formas de pago son, en ocasiones, adoptadas también en los contratos de tipo privado, aunque no sea de forma obligatoria en ellos. Dicho artículo dice lo siguiente:

**“Artículo 45.** Las dependencias y entidades deberán incorporar en las convocatorias a las licitaciones, las modalidades de contratación que tiendan a garantizar al Estado las mejores condiciones en la ejecución de los trabajos, ajustándose a las condiciones de pago señaladas en este artículo. Las condiciones de pago en los contratos podrán pactarse conforme a lo siguiente:

I. Sobre la base de precios unitarios, en cuyo caso el importe de la remuneración o pago total que deba cubrirse al contratista se hará por unidad de concepto de trabajo terminado;

II. A precio alzado, en cuyo caso el importe de la remuneración o pago total fijo que deba cubrirse al contratista será por los trabajos totalmente terminados y ejecutados en el plazo establecido. Las proposiciones que presenten los contratistas para la celebración de estos contratos, tanto en sus aspectos técnicos como económicos deberán estar desglosadas por lo menos en cinco actividades principales:

III. Mixtos, cuando contengan una parte de los trabajos sobre la base de precios unitarios y otra, a precio alzado.

IV. Amortización programada, en cuyo caso el pago total acordado en el contrato de las obras públicas relacionadas con proyectos de infraestructura, se efectuará en función del presupuesto aprobado para cada proyecto.

Los trabajos cuya ejecución comprenda más de un ejercicio fiscal, deberán formularse en un solo contrato, por el costo total y la vigencia que resulte necesaria para la ejecución de los trabajos, sujetos a la autorización presupuestaria en los términos de la Ley Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria.”<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas (2016). Diario Oficial de la Federación, México.



---

De las cuatro condiciones de pago descritas con anterioridad se desprenden los siguientes tipos de contrato<sup>16</sup>:

## **1. Contrato a base de Precios Unitarios**

En esta variante, el constructor realiza un detallado catálogo de conceptos por unidad de obra, los cuales deben ser fácilmente medibles, el contratista calculará un costo unitario para cada concepto, por ejemplo, metros cuadrados de losa, metros cuadrados de piso, etc., que deberá incluir todos los gastos necesarios para la ejecución de esa unidad de obra. El costo final estimado de la obra será la suma de los importes de estos conceptos.

Aquí también el propietario entrega un anticipo al contratista, el cual se amortizará en estimaciones semanales o mensuales, las cuales se calcularán sobre los volúmenes reales ejecutados en la construcción.

Esto hace que sea un modelo de contrato justo para ambas partes, además en caso de que la obra tenga que ser detenida por cualquier causa, se puede determinar fácilmente el monto del finiquito. La desventaja es que requiere de una mayor supervisión para estar al pendiente de los volúmenes reales de obra ejecutados.

Este tipo de contrato es recomendado para llevar un control preciso de los costos de construcción y facilita por su estructura y detalle los cálculos de ajuste o actualización de estos.

## **2. Contrato a precio alzado**

En esta opción el constructor o contratista realiza un estimado global del costo total de la obra, incluidos los costos indirectos y sus honorarios por servicios profesionales, de igual manera el cliente hace entrega de un anticipo el cual se amortizará en estimaciones pactadas, ya sean semanales o mensuales. Como el precio total ya está pactado, esto permite al

---

<sup>16</sup> González Meléndez, Raúl (2018). *Costos Paramétricos para Proyectos y Avalúos*. Instituto Mexicano de Ingeniería de Costos (IMIC), México.



---

propietario reducir la necesidad de supervisar los gastos a detalle, sin embargo, tiene la desventaja para ambas partes de poder ser un servicio injusto, ya que, si el constructor se queda corto en la estimación del costo de la obra, esto representa una pérdida para él, de igual manera, si la estimación del costo estuvo sobrada el cliente estaría pagando de más.

Este tipo de contrato posee dos desventajas adicionales, la primera es que, en caso de ser necesario suspender la obra antes de la terminación, es complicado estimar cual es el costo real sobre el cuál se finiquitará el contrato y, la segunda, la imposibilidad de realizar un ajuste de costos realista por la falta de detalle al realizar el presupuesto.

### **3. Contrato por Administración**

En este modelo de contratación el constructor se encarga de supervisar y administrar la obra, para lo cual sus honorarios serán un porcentaje pactado del costo total de la obra.

El cliente hace entrega de un anticipo, posteriormente y al final de un periodo de tiempo determinado, comúnmente una semana, el constructor entrega una relación de gastos, comprobando mediante la entrega de facturas, así como su recibo de honorarios calculado en base a los gastos del período, para que el cliente pague la cantidad estimada.

Es un contrato fácil de administrar y recomendado para obras pequeñas, pero que requiere una supervisión precisa de los gastos realizados.

En este tipo de contrato, la actualización de los costos es complicada. Esto debido a la falta de un presupuesto detallado; ya que cuando existe este tipo de contrato, lo normal es que las compras de materiales y la renta del equipo se vayan realizando de acuerdo con los requerimientos semanales y las cantidades totales de ellos sólo se conocen al finalizar la obra.

### **4. Contrato llave en mano**

El proyecto llave en mano es aquel en donde el contratista se obliga frente al cliente, a cambio de un precio, generalmente alzado, para poder concebir, construir y poner en funcionamiento





---

una obra determinada que él mismo previamente ya proyectado. En este tipo de contrato se pone énfasis especial en la responsabilidad global que asume el contratista frente al cliente.

Otras obligaciones que siempre están presentes en los proyectos llave en mano son: el suministro de materiales y maquinaria; el transporte de estos; la realización de las obras civiles: la instalación y montaje, la puesta a punto en funcionamiento de la obra proyectada. En determinados casos, también es posible incluir en este tipo de contrato otras obligaciones posteriores a la ejecución de la obra, cómo la formación de personal y la asistencia técnica.

De los distintos métodos de realización de proyectos que han aparecido, el que mejor refleja las transformaciones experimentadas en este sector es, sin duda el proyecto llave en mano. Con éste, desaparece la tradicional relación tripartita entre cliente, área de ingeniería y contratista, para quedar sustituida por una única relación entre cliente-contratista, en la que este último, junto a sus funciones tradicionales, asume la concepción del proyecto.

Con este tipo de contrato también puede llevarse a cabo un buen control de los costos de construcción y, facilitando los cálculos de ajuste o actualización de estos.

## **5. Contrato para Asociaciones Público-Privadas**

Los trabajos públicos pueden adjudicarse de diferentes maneras, el Artículo 27 de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas<sup>15</sup>, indica 3 de ellas:

“**Artículo 27.** Las dependencias y entidades seleccionarán entre los procedimientos que a continuación se señalan, aquél que de acuerdo con la naturaleza de la contratación asegure al Estado las mejores condiciones disponibles en cuanto a precio, calidad, financiamiento, oportunidad y demás circunstancias pertinentes:

- I.** Licitación pública;
- II.** Invitación a cuando menos tres personas;
- III.** Adjudicación directa...”

Otro factor importante en la adjudicación de los trabajos, además de que se cumplan los requisitos en cada tipo de adjudicación es definir la forma de financiamiento para el proyecto, los recursos pueden ser privados, públicos o una combinación de ambos tipos en las llamadas asociaciones de tipo público-privado.



---

Debido a que tener una infraestructura suficiente y de buena calidad es esencial para el crecimiento de los países y las dificultades que tienen los gobiernos para financiar grandes obras cada vez se implementa más un esquema en el que interviene capital privado para financiar las obras que se requieren tales como carreteras, presas y aeropuertos.

En América Latina, particularmente en México, a lo largo de los últimos años este tipo de contrato ha cobrado mucha importancia y una gran parte de las obras que se están construyendo actualmente serán realizadas con este esquema.

Colaboraciones público-privadas incluyen las siguientes:

- Concesiones de operación y administración (O&M)
- Concesiones para construir, operar y transferir (BOT)
- Contratos de administración y conservación plurianual
- Proyectos de prestación de servicios (PPS)
- Asociaciones Público-Privadas (APP)

Para regular este tipo de colaboración se creó La Ley de Asociaciones Público-Privadas<sup>17</sup>, una ley de orden público que tiene por objeto regular los esquemas para el desarrollo de los proyectos APP.

Conforme al artículo 2º de dicha ley indica lo siguiente: “Los proyectos de asociación público-privada regulados por esta Ley son aquellos que se realicen con cualquier esquema para establecer una relación contractual de largo plazo, entre instancias del sector público y del sector privado, para la prestación de servicios al sector público, mayoristas, intermediarios o al usuario final y en los que se utilice infraestructura proporcionada total o parcialmente por el sector privado con objetivos que aumenten el bienestar social y los niveles de inversión en el país”<sup>17</sup>.

Existen diferentes tipos de APP, resumiéndose en los siguientes<sup>18</sup>:

- Puro: se financian completamente con recursos públicos del Gobierno Federal.

---

<sup>17</sup> Ley de Asociaciones Público-Privadas (2018). Diario Oficial de la Federación (DOF). [Citado 2018-11-05]. [En Línea] [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAPP\\_150618.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAPP_150618.pdf).

<sup>18</sup> Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2016). Acciones y programas. [Citado: 2018-09-18]. [En Línea] <https://www.gob.mx/shcp/acciones-y-programas/informacion-relevante-96053>.



- Combinado: se financian con recursos del sector público y recursos del privado a través de tarifas.
- Autofinanciable: se financian con recursos privados (tarifas) y del sector público únicamente con aportaciones en especie.

Los proyectos APP pueden ser propuestos por el Gobierno Federal, a través de dependencias y entidades o por el sector privado, a través de una Propuesta No Solicitada (PNS)

Para evaluar una APP se cuenta también con un manual con disposiciones para determinar la rentabilidad social y la conveniencia de llevar a cabo un proyecto APP. Dentro de este manual se encuentra un índice de elegibilidad que contempla variables como la institucionalidad, competencia, licitación, involucrados, complejidad, macroeconomía y tamaño. Para evaluar la complejidad del diseño se plantean las preguntas mostradas en la figura I-18.

**Pregunta 6: Complejidad del diseño**

Colocar nota 1 si:	Colocar nota 2 si:	Colocar nota 3 si:	Colocar nota 4 si:	Colocar nota 5 si:
El proyecto tiene un muy alto grado de complejidad en sus especificaciones técnicas, de ingeniería (arquitectura), ambientales y de niveles de servicio	El proyecto tiene alto grado de complejidad en sus especificaciones técnicas, de ingeniería (arquitectura), ambientales y de niveles de servicio	El proyecto tiene mediano grado de complejidad en sus especificaciones técnicas, de ingeniería (arquitectura), ambientales y de niveles de servicio	El proyecto tiene poco grado de complejidad en sus especificaciones técnicas, de ingeniería (arquitectura), ambientales y de niveles de servicio	El proyecto no tiene ningún grado de complejidad en sus especificaciones técnicas, de ingeniería (arquitectura), ambientales y de niveles de servicio
Nota resultante del acuerdo colectivo				

**Figura I-18** Ejemplos de APP <sup>19</sup>.

<sup>19</sup> Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2015). Índice de Elegibilidad. [Citado: 2018-09-25]. [En Línea] [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/22483/Manual\\_APP\\_parte\\_3.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/22483/Manual_APP_parte_3.pdf).



---

## II. EL MODELADO DE INFORMACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN (BIM)

---

*“Primer paso, debes tener un definitivo y claro objetivo. Segundo, debes tener los recursos necesarios para alcanzar lo que deseas; sabiduría, dinero, recursos y métodos. Tercero, enfoca todos tus recursos para el logro de tus metas.” -Aristóteles*

### 2.1 Definición y usos principales de BIM

BIM es el término que viene del inglés Building Information Modeling, en español se traduce como Modelado de Información para la Construcción, se trata de una herramienta que permite la colaboración eficiente durante todo el ciclo de vida de un proyecto, se logra mediante la creación, integración y el intercambio de datos en un mismo modelo tridimensional compuesto por diferentes disciplinas.

Debido a la importancia que en México se pueda adoptar mejor esta metodología, el 30 de agosto de 2018, La Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), en la página de internet oficial de la Secretaría de Gobernación, publicó las bases con el nombre de “Estrategia para la implementación del Modelado de Información de la Construcción (MIC\*)”. La SHCP define MIC de la siguiente manera: *“BIM (Building Information Modeling, por sus siglas en inglés) o MIC (modelado con información para construcción) es la nueva forma de gestionar proyectos de edificación. Es una metodología que cubre los procesos durante el ciclo de vida de los proyectos de infraestructura; integra una base de datos cooperativa del proyecto, cuenta con una representación virtual, así como con tiempos y costos reales.”*<sup>20</sup>. La finalidad de esta estrategia es lograr que en un futuro próximo sea obligatorio el uso de BIM para proyectos federales de infraestructura.

---

<sup>20</sup> Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2018). *Estrategia para la adopción del Modelado de Información en la Construcción (MIC) en los proyectos de infraestructura de la APF*. [Citado: 2018-10-03]. [En Línea] <https://www.gob.mx/shcp/articulos/estrategia-para-la-adopcion-del-modelado-de-informacion-en-la-construccion-mic-en-los-proyectos-de-infraestructura-de-la-apf?idiom=es>.



Al desarrollar un modelo BIM lo que se busca es unificar la información del proyecto y construir una base de datos expresada en un modelo tridimensional, geo-referenciada a lo largo de las diferentes etapas que lo conforman. Es esta base de datos la que en un futuro permitirá la coordinación de las distintas disciplinas, conectándolas para hacer una buena planificación y controlar los costos de la obra, evitando interferencias e incongruencias para su posterior ejecución y mantenimiento.

Algunos de los objetivos más importantes que se persiguen cuando se utiliza esta tecnología son los siguientes:

- Coordinar a los distintos agentes involucrados en el proyecto.
- Generar un proyecto de alta calidad.
- Disminuir los errores y duplicidades de trabajo para aumentar la eficiencia.
- Detectar las interferencias y las incongruencias en el proyecto antes de la fase de ejecución.
- Se busca también una mejoría en la medición y planificación mediante un flujo de trabajo 4D/5D.
- Llevar un mayor control de calidad en el proyecto.
- Tener la información necesaria asociada al proyecto para las fases de mantenimiento.

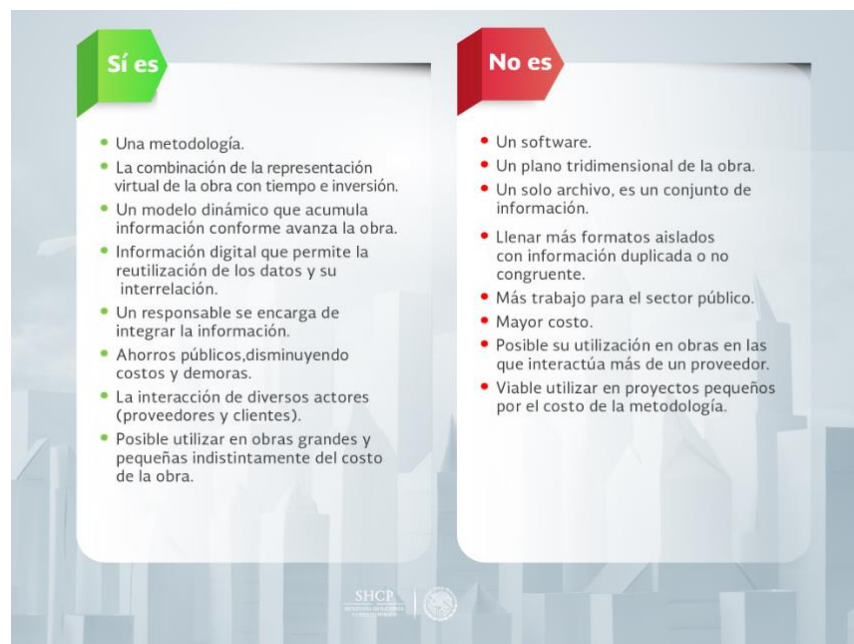


Figura II-1 Resumen de lo que es y lo que no es BIM (SHCP).<sup>20</sup>



---

## 2.2 Normatividad y estándares aplicables

Alrededor del mundo existen asociaciones que colaboran y publican estándares y protocolos para la implementación de la metodología BIM. Estos estándares se dividen en internacionales y nacionales. Uno de los países que más ha avanzado hacia el desarrollo de estándares y aplicación del BIM es el Reino Unido. De acuerdo con la información publicada por la SHCP como parte de la estrategia para la implementación del Modelado de Información en la Construcción<sup>21</sup>, México se encuentra cooperando con dicho gobierno para la adopción de dicha metodología en nuestro país. Países que han hecho grandes esfuerzos y realizado publicaciones reconocidas al respecto del uso de BIM son los siguientes:

- En Reino Unido y Corea del Sur, el uso de BIM es obligatorio para proyectos públicos desde 2016, en el primero se exige el nivel 2 BIM y en el segundo se ha requerido para proyectos de más de 50 millones de dólares. Reino Unido tiene diversos estándares y guías publicadas, dos de las instituciones más reconocidas en dicho país que realizan dichas publicaciones son el *British Standards Institute (BSI)* y la *Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS)*.
- Estados Unidos de América, país que en 1992 estableció una organización con el nombre *Facility Information Council (FIC)*<sup>22</sup>, que se encarga de establecer estándares para el modelado de información de arquitectura, ingeniería, construcción, operación y mantenimiento de las construcciones. FIC comenzó a desarrollar una guía llamada *National BIM Standard (NBIMS)* en el 2005 para mejorar la interoperabilidad de BIM. La publicación más reciente es el *National BIM Standard – United States Version 3 (NBIMS-US V3)*. Es de orden público y contiene 19 estándares de referencia, términos y condiciones, 9 estándares de intercambio de información y 8 guías prácticas para ayudar a los usuarios en la implementación de la metodología.

---

<sup>21</sup> Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). *Estrategia para la implementación del Modelado de Información de la Construcción (MIC\*) Estrategias internacionales*. [Citado: 2018-10-08]. [En Línea] <https://www.gob.mx/shcp/acciones-y-programas/experiencias-internacionales-172885?state=published>.

<sup>22</sup> BuildingSMARTalliance. *National BIM Standard-United States*. [Citado: 2018-10-15]. [En Línea] [https://www.nationalbimstandard.org/files/NBIMS-US\\_FactSheet\\_2015.pdf](https://www.nationalbimstandard.org/files/NBIMS-US_FactSheet_2015.pdf).



- En Chile, se estima que el uso de BIM sea obligatorio para 2020<sup>21</sup> para el desarrollo y operación de proyectos de edificación e infraestructura pública. Es el país latinoamericano que se encuentra más avanzado al respecto. En mayo de 2016 Chile firmó un acuerdo de colaboración Chile-Reino Unido, los avances que ha tenido hasta ahora están basados en una visión colaborativa entre sectores. Algunos de los documentos más importantes derivados de esta colaboración, disponibles en el sitio web de BIM Forum Chile<sup>23</sup>, son el Seminario Plan BIM, coordinado por el Ministerio de Obras Públicas; El Seminario Plan BIM-Estándares y procesos; La Guía inicial para implementar BIM en las organizaciones, Recomendaciones prácticas para el uso de BIM y la Librería Nacional BIM.
- En España su implementación ha sido progresiva, se espera sea obligatorio el uso de BIM en el diseño y la construcción en 2018 para inversiones superiores a 2 millones de euros y para 2020 serán obligatorio para todas las fases de los proyectos. España cuenta con una guía publicada que contiene 13 estándares que dependen del uso que se le quiera dar al modelo BIM.
- El gobierno francés está exigiendo el uso de BIM para proyectos de más de 20 millones de euros, aunque planea que se haga obligatorio para todos los proyectos.
- Singapur también cuenta con guías reconocidas a nivel internacional que incluyen estándares y formatos de entrega dependiendo de la disciplina de la que se trate y una guía general *Singapore-BIM-Guide\_V2*<sup>24</sup>, del 2017.
- Otros países cuyas empresas privadas y gobierno han dado grandes avances para seguir esta metodología son Alemania, que tiene una gran cantidad de empresas especializadas en BIM, con leyes que regulan su uso, los países nórdicos, Noruega, Suecia, Finlandia y Dinamarca, en los que cada uno cuenta con una asociación especial para la regulación de BIM, Canadá y Holanda.

---

<sup>23</sup> BIM Forum Chile. *Archivos y descargas en apoyo a la metodología BIM*. [Citado: 2018-10-15]. [En Línea] <http://www.bimforum.cl/descargas/>.

<sup>24</sup> Singapore Government. *Singapore BIM Guide Version 2.0*. [Citado: 2018-10-25]. [En Línea] <https://www.corenet.gov.sg/general/bim-guides/singapore-bim-guide-version-20.aspx>.



---

## Normatividad y estándares internacionales

La organización internacional ISO (International Organization for Standardization)<sup>25</sup>, se encarga de publicar estándares válidos a nivel internacional en los que se basan los estándares por país. Las normas ISO vigentes que hablan sobre BIM incluyen las siguientes:

- ISO 19650:2018-1,2. Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling—
  - Part 1: Concepts and principles.
  - Part 2: Delivery phase of assets.
- ISO 16739-1:2018. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries – Part 1: Data schema.
- ISO 15686-4:2014. Building Construction – Service Life Planning – Part 4: Service Life Planning using Building Information Modeling.
- ISO 2981-1-2016. Building information models – Information Delivery Manual – Part 1: Methodology and format.
- ISO 2981-2-2012. Building information models – Information Delivery Manual – Part 2: Interaction Framework.

Otros protocolos referenciados internacionalmente son los siguientes:

- Building Smart International.
- Unifomat Standards.
- British Standards institution (BSI) Standards, Reino Unido.
- Royal Institutos of Chartered Surveyors (RCIS) Guidelines, Reino Unido.
- CIC BIM protocol. Protocolo estándar para Proyectos que utilizan BIM.
- BIM Forum Level of development specification.
- NBIMS, US.

---

<sup>25</sup> International Organization for Standardization (ISO). *Standards*. [Citado: 2018-10-15]. [En Línea] <https://www.iso.org/standards.html>





## Normatividad y estándares en México

La pirámide de Hans-Kelsen (Fig. II-2) trata sobre la jerarquía de los documentos de acuerdo con su posición. La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos se encuentra por encima de las demás leyes y reglamentos.

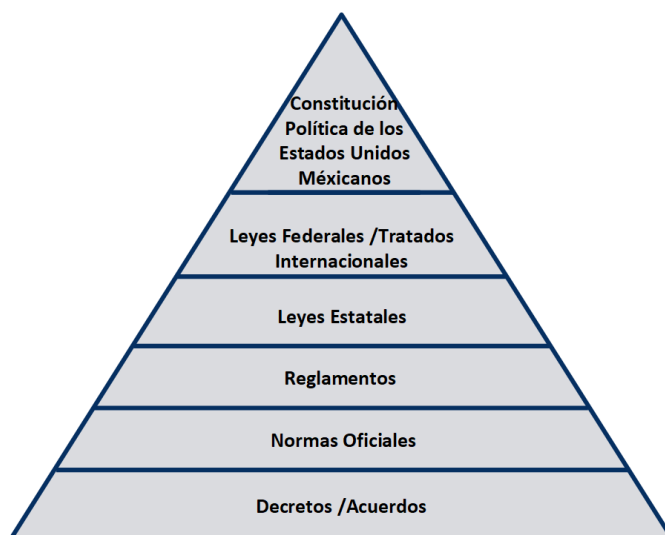


Figura II-2 Pirámide legal de Hans-Kelsen (Para México).

En México uno de los primeros pasos que se han dado para avanzar hacia la implementación de la metodología BIM fue la publicación de la norma **NMX-C-527-1-ONNCE-2017**<sup>26</sup>, publicada en el Diario Oficial de la Federación (D.O.F), el día 12 de julio de 2017. El Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C (ONNCE)<sup>27</sup> define la normalización como el conjunto de actividades que tiene por objeto establecer especificaciones de distintas clases a productos, procesos o servicios, así como la forma de evaluar dichas especificaciones, encaminadas a la mejora de la calidad y la competitividad. El ONNCE define una norma como un documento aprobado por una institución reconocida que establece para un uso común y repetido, reglas, directrices o

<sup>26</sup> Norma Mexicana NMX-C-527-ONNCE-2017. (2017). *Industria de la Construcción-Modelado de Información de la Construcción – Especificaciones – parte 1: Plan de Ejecución para Proyectos*. ONNCE. México.

<sup>27</sup> Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCE). *Normalización*. [Citado: 2018-11-15]. [En Línea] <https://www.onnce.org.mx/es/servicios-principal/normalizacion>



---

características para bienes o procesos y métodos de producción conexos, para servicios o métodos de operación conexos, cuya observancia no sea obligatoria, puede incluir o tratar exclusivamente de requisitos en materia de terminología, símbolos, embalaje, marcado o etiquetado, según se apliquen a un bien, proceso, método de producción u operación.

A su vez existen dos tipos diferentes de normas:

La Norma Oficial Mexicana (NOM) que es la regulación técnica que las dependencias federales pueden ejercer sobre materiales, productos, procesos, métodos, instalaciones, servicios, sistemas o actividades relacionados con la seguridad, la salud y la protección al medio y al consumidor. Es de observancia obligatoria.

Especificación enfocada a la calidad de productos, procesos, sistemas y servicios. La emisión queda a cargo de los Organismos Nacionales de Normalización. Se identifica como una norma de calidad y es de observancia voluntaria.

Cabe mencionar que en el caso de que una NMX se encuentre referida en una NOM como de uso obligatorio, la NMX pasa a ser obligatoria también. En el caso de la NMX-C-527-1-ONNCCE-2017, ésta no se encuentra referida en una NOM, por lo tanto, no toma el carácter de obligatoria. Esta norma se basa en estándares internacionales, incluyendo normas ISO y en publicaciones estadounidenses para establecer lineamientos en la realización de un plan de ejecución BIM, dando una introducción a la metodología.



---

## 2.3 Las dimensiones BIM y el nivel de desarrollo (LOD)

### Dimensiones:

El uso del BIM no solamente abarca la parte de diseño y modelado con el fin de obtener planos en 2D y modelos 3D, sino que, incluyendo a las anteriores, existen siete dimensiones aceptadas en un proyecto BIM.

**4D:** Engloba toda la información referente a la planificación y gestión de tiempos en la ejecución de obra. Programas como Navisworks, son los indicados para estos procesos, permitiendo la importación desde otro software de diseño como Revit, ArchiCAD, etc. También existe un vínculo con programas especializados para la planeación de proyectos como lo son Microsoft Project y Primavera Project Management.

**5D:** Contiene los datos relativos a costos de materiales y ejecución de un proyecto. Programas como Presto o Arquímedes, permiten recoger esta información de modelos diseñados en software BIM. Otra opción es mediante el vínculo con programas para elaborar presupuestos como Neodata y Opus.

**6D:** Cada vez más utilizada en los proyectos de ingeniería y arquitectura, recoge toda la información referente a la gestión ambiental del modelo. Dentro de un software BIM se pueden realizar simulaciones de gasto de energía o eficiencia energética, entre otros cálculos.

**7D:** Dedicada al mantenimiento del edificio durante toda su vida útil. Permite tener toda la información para que, en caso de llevar a cabo reparaciones dentro del edificio y para operarlo de forma adecuada.



## Nivel de Desarrollo del proyecto (LOD por sus siglas en inglés):

También cabe mencionar que, dependiendo del nivel de detalle al que queramos llegar en nuestro proyecto existen diferentes niveles de desarrollo<sup>28</sup>. Es a través del LOD como se pueden definir los alcances que se solicitan a una empresa. En caso de que lo que se esté contratando sea la mejora del modelo, se deberá indicar en los alcances el LOD entregado y el que se requiere como resultado. En la tabla II-1 se incluyen algunas características principales de este nivel de desarrollo.

### LOD 100

En este nivel de desarrollo, el elemento puede estar representado gráficamente con un símbolo u otra representación sencilla, no se considera la información obtenida de este modelo de detalle como precisa. Se trata de un modelo genérico de masas que sirve para el análisis al principio del ciclo de vida del proyecto.


LOD	Representación gráfica	Información Asociada	Uso
100	Masas, símbolos y componentes genéricos.	En este nivel de detalle no se tiene información asociada.	Con este nivel se puede hacer un análisis general de las dimensiones, áreas y volúmenes.
			
Ejemplo de un modelo de columna de acero con nivel LOD 100.			

Tabla II-1 Características principales del LOD 100.<sup>28</sup>

<sup>28</sup> Bim Forum International. *Level of development (LOD) Specification part I & Commentary* [Citado: 2019-04-30]. [En Línea] <https://bimforum.org/wp-content/uploads/2019/04/LOD-Spec-2019-Part-I-and-Guide-2019-04-29.pdf>. Abril 2019.



## LOD 200

Para este nivel de desarrollo, los elementos pueden estar representados como modelos genéricos o volúmenes que representan el espacio ocupado, se considera como información aproximada. Además de elementos genéricos, también se incluyen componentes específicos con una geometría, localización y orientación aproximada a la realidad. Se pueden hacer análisis más detallados que en el nivel 100 pero no es suficiente para pasar a la ejecución.

En la siguiente tabla se muestran algunas características de este nivel:

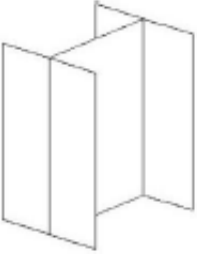
LOD	Representación gráfica	Información Asociada	Uso
200	Componentes genéricos y/o específicos con una representación aproximada	Con información incompleta, pero con datos asociados como forma y ubicación aproximados.	Revisión de cumplimiento con los requerimientos generales del proyecto. Se puede estimar costo con la cantidad de elementos y áreas. Se puede comenzar a usar para planificar.
			
Ejemplo de un modelo de columna de acero con nivel LOD 200.			

Tabla II-2 Características principales del LOD 200.<sup>28</sup>



## LOD 300

En este modelo el elemento se encuentra representado como un sistema específico en términos de cantidad, tamaño, forma, localización y orientación. Los elementos se posicionan de forma precisa. Se pueden realizar mediciones reales de proyecto. Un resumen de las características principales de este nivel se encuentra en la tabla III-3.


LOD	Representación gráfica	Información Asociada	Uso
300	La representación gráfica es precisa.	El modelo tiene información geométrica completa y precisa, con dimensiones, forma, ubicación y orientación. Puede también incluir información adicional como fichas técnicas.	Se puede efectuar un análisis detallado de los elementos. Se debe obtener un costo del elemento al tener su especificación técnica. Es posible planificar. El modelo puede ser utilizado para coordinarse con otros elementos en base a su dimensión, ubicación y distancia con base a otros.
 <p>Ejemplo de un modelo de columna de acero con nivel LOD 300.</p>			

Tabla II-3 Características principales del LOD 300.<sup>28</sup>



## LOD 350

Para este modelo los elementos se centran modelados de forma precisa y tienen las conexiones y los soportes. A diferencia del nivel 300, en este nivel se ha realizado una revisión de interferencias multidisciplinar, al igual que en el LOD 300 se pueden realizar mediciones reales del proyecto (Ver características en la tabla II-4).


LOD	Representación gráfica	Información Asociada	Uso
350	La representación es precisa.	La información en cada elemento es precisa y se realiza un chequeo de interferencias.	Realizar el análisis en base al uso de criterios específicos del propio elemento. Se tienen datos concretos de fabricación y costo del elemento. Se usa para planificar tiempos y criterios, así como revisar prioridades. Es posible utilizar el elemento para realizar coordinación.
 <p>Ejemplo de un modelo de columna de acero con nivel LOD 350.</p>			

Tabla II-4 Características principales del LOD 350.<sup>28</sup>



## LOD 400

Un modelo con nivel de desarrollo 400 es uno en que los elementos se encuentran modelados con suficiente detalle para permitir su fabricación, ensamble e instalación. Las características de este nivel se resumen en la tabla II-5.

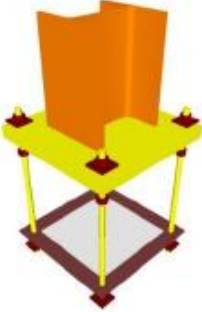
LOD	Representación gráfica	Información Asociada	Uso
400	Representación precisa donde se incluyen detalles.	Contiene información geométrica completa y precisa, dimensiones, forma, ubicación y orientación; Así como información específica para su puesta en obra e instalación. Puede incluir fichas técnicas, costos u otras características.	Puede ser utilizado para analizar en base a los criterios específicos del proyecto. Es posible realizar una valoración específica y precisa del elemento en base a datos concretos de fabricación y puesta en obra, según su precio de compra. Puede ser usado para planificar tiempos. Puede ser usado para coordinarse con otros elementos.
 <p>Ejemplo de un modelo de columna de acero con nivel LOD 400.</p>			

Tabla II-5 Características principales del LOD 400.<sup>28</sup>





## LOD 500

Es un modelo medido en campo que representa la realidad. Contiene la geometría, tamaño, localización, orientación y materiales utilizados en la construcción. Es un nivel muy preciso y una de las formas que se tienen para llegar a él incluye el levantamiento con escáner laser de la obra ya construida y su posterior proceso con programas especializados<sup>29</sup> (Ver fig.II-3)

LOD	Representación gráfica	Información Asociada	Uso
500	Se representa a detalle.	Contiene información precisa, pertenece a un sistema constructivo específico con información de montaje, puesta en obra e instalación.	Se refiere al modelo y planos As-Built, que incluyen el estado actual, las especificaciones de los productos y recomendaciones para el mantenimiento.

Tabla II-6 Características principales del LOD 500.<sup>28</sup>



Figura II-3 Faro, ejemplo de software para pasar de nube de puntos a Revit.<sup>29</sup>

<sup>29</sup> Faro Asbuilt for Autodesk Revit [Citado: 19-04-05] [En Línea] <https://knowledge.faro.com/Software/As-Built/As-Built-for-Autodesk-Revit/PointSense-and-CAD-Plugins-Migration-to-As-Built>.



## 2.4 El plan de ejecución BIM (BEP)

Un BEP (*Bim Execution Plan*), es el documento que, de forma global, define cómo se llevarán a cabo los detalles de implementación de la metodología BIM a través de todas las fases de un proyecto.

El referente para la preparación de este plan fue elaborado en el CIC (The Computer Integrated Construction Research Program, de la Universidad de Pennsylvania y en su versión 2.1, publicada en mayo de 2011 con el nombre de “BIM Project Execution Planning Guide”<sup>30</sup>, reúne los requisitos para elaborar un Plan de Ejecución BIM.

Este plan depende del proyecto a desarrollar y cada empresa lo debe definir en un inicio para que se tengan claros los objetivos buscados y entregables solicitados.

Un plan BIM bien ejecutado sirve para asegurar que todas las partes involucradas entienden bien los alcances y responsabilidades que les corresponden con la incorporación del BIM al flujo de trabajo del proyecto. Una vez que el plan está creado, el equipo puede dar seguimiento y monitorear el progreso que se está teniendo respecto a él, asegurando que se están cumpliendo los objetivos de implementar esta metodología en el proyecto.



Figura II-4 Portada del libro guía para realizar un BEP (Penn State University).<sup>30</sup>

<sup>30</sup> Penn State University (2011). *BIM Execution Planning Guide and Templates*. Pennsylvania: Penn State University. CIC.



En la guía antes mencionada, se establece el procedimiento a seguir para crear e implementar un plan de ejecución BIM, este proceso es dividido en cuatro pasos principales:

1. Identificar los usos y objetivos de utilizar BIM en el proyecto.
2. Diseñar el proceso de ejecución creando mapas de procesos.
3. Definir los entregables BIM y su formato.
4. Desarrollar la infraestructura necesaria en forma de contratos, procedimientos de comunicación, tecnología y control de calidad para sustentar la implementación del plan.

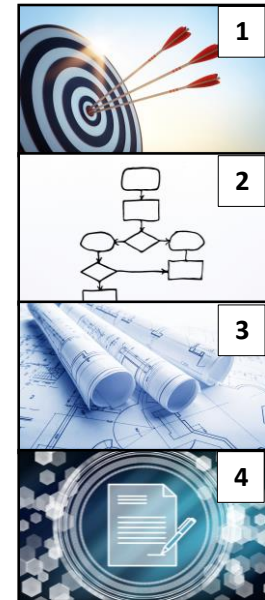


Figura II-5 Ilustración de los 4 pasos para realizar un BEP.

A continuación, se describirán los cuatro pasos fundamentales a seguir para realizar un BEP:

### 1) Identificar los objetivos y usos de BIM en el proyecto

El primer paso para desarrollar un BEP es identificar los objetivos del proyecto para que el equipo decida el uso que se le dará a la información obtenida. Los objetivos de utilizar BIM deben ser medibles, específicos para el proyecto y servir para mejorar la planeación, el diseño, la construcción y operación de la obra. Pueden ser objetivos generales, como reducir el costo o incrementar la calidad del proyecto o ser objetivos especializados, por ejemplo, mejorar la sustentabilidad de la obra utilizando energías renovables.

Una vez establecidos los objetivos, el siguiente paso es definir los usos BIM para el proyecto.



---

Para lograr una elección que cumpla con los objetivos, el equipo de planificación debe analizar las competencias de la empresa o empresas que se encuentren colaborando en el proyecto y asegurarse de que los usos que se van a dar sean realistas y necesarios.

Algunos de los usos BIM más relevantes se enlistan a continuación<sup>30</sup>:

- 1.- *Building Maintenance Scheduling* – Programación del mantenimiento.
- 2.- *Building System Analysis* – Análisis del rendimiento del sistema.
- 3.- *Asset Management* – Gestión de los recursos del edificio.
- 4.- *Space Management and Tracking* – Gestión de los espacios.
- 5.- *Disaster Planning* – Planificación para emergencias.
- 6.- *Record Modeling* – Registro del modelado de la construcción (As Built).
- 7.- *Site Utilization Planning* – Planificación de las instalaciones temporales para la obra.
- 8.- *Construction System Design* – Diseño y análisis del sistema constructivo del edificio.
- 9.- *Digital Fabrication* – Fabricación digital.
- 10- *3D Control and Planning* – Control y planeación tridimensional.
- 11.- *3D Coordination* – Coordinación 3D y detección de interferencias.
- 12.- *Design Authoring* – Realización del diseño.
- 13.- *Engineering Analysis* – Análisis de ingenierías.
- 14.- *Sustainability Analysis* – Evaluación de sustentabilidad.
- 15.- *Code Validation* – Verificación de cumplimiento con la normatividad.
- 16.- *Programming* – Programa espacial para la revisión del diseño.
- 17.- *Site Analysis* – Análisis del sitio en el que se desplantará el proyecto.
- 18.- *Design Reviews* – Revisión de las propuestas de diseño.
- 19.- *Phase Planning (4D)* – Planificación por fases (4D).
- 20.- *Cost Estimation (5D)* – Estimación de costos (5D).
21. *Existing Conditions Modeling*. – Modelado de las condiciones existentes.



## 2) Diseñar el proceso de ejecución BIM

Una vez que se identificaron los objetivos y usos BIM, el siguiente paso es realizar un plan para alcanzarlos realizando mapas de procesos. Con estos mapas, el equipo de trabajo debe poder identificar la forma en que la información va a ser creada y compartida entre los involucrados.

Existen 2 niveles en estos mapas; El nivel 1, se trata de un mapa general conocido como *BIM Overview Map*, que muestra la relación de los usos BIM que serán empleados en el proyecto. Contiene el proceso para intercambio de información que se utilizará en el ciclo de vida del proyecto.

El nivel 2 se trata de mapas detallados (Detailed BIM Use Process Maps). Se crea un mapa por cada uso BIM a utilizar en el proyecto y se identifica a los responsables de cada proceso, se referencia la información de partida y los intercambios de ésta con otros procesos.

Para los mapas se utiliza la notación BPMN (Business Process Modelling Notation).

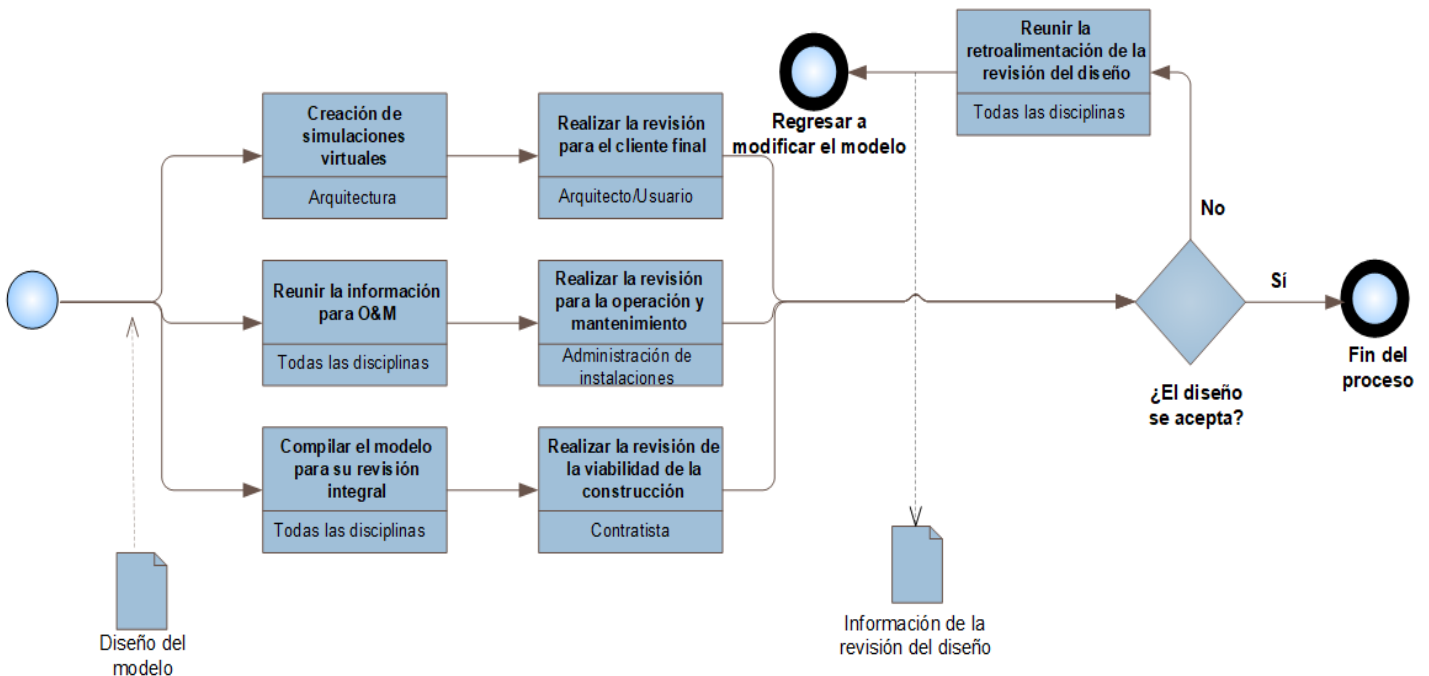


Figura II-6 Ejemplo de un mapa detallado (Uso: Record Model).<sup>30</sup>



### 3) Definir los entregables BIM y su formato

En este paso el objetivo es poner en claro la información que se desea obtener del modelo. Luego de la creación de los mapas de procesos, es necesario que todos los involucrados en el proyecto tengan clara la forma en la que van a intercambiar la información del proyecto y sus entregables. Los pasos para realizar este apartado son los siguientes:

1. Identificar cada intercambio potencial de información del mapa general BIM.
2. Elegir una estructura para el documento de intercambio de información.
3. Identificar los requerimientos de información para cada intercambio. Se debe definir quién recibirá la información, el tipo de archivo y verificar la información sea precisa para el uso BIM que se le dará.
4. Asignar responsabilidades a cada equipo de trabajo.
5. Comparar las entradas de información con las salidas.

INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Información</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Tamaño preciso &amp; localización, se incluyen materiales y parámetros de los objetos</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Tamaño general y localización, se incluyen datos paramétricos</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Diseño conceptual y localización</td> </tr> </tbody> </table>			Información		A	Tamaño preciso & localización, se incluyen materiales y parámetros de los objetos	B	Tamaño general y localización, se incluyen datos paramétricos	C	Diseño conceptual y localización	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Responsable</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ARCH</td> <td>Arquitecto</td> </tr> <tr> <td>CON</td> <td>Contratista</td> </tr> <tr> <td>CE</td> <td>Ingeniero Civil</td> </tr> <tr> <td>FM</td> <td>Mantenimiento</td> </tr> <tr> <td>MEP</td> <td>Ingeniero MEP</td> </tr> <tr> <td>SE</td> <td>Ingeniero estructural</td> </tr> <tr> <td>TC</td> <td>Contratista-Inst.Especiales</td> </tr> </tbody> </table>			Responsable		ARCH	Arquitecto	CON	Contratista	CE	Ingeniero Civil	FM	Mantenimiento	MEP	Ingeniero MEP	SE	Ingeniero estructural	TC	Contratista-Inst.Especiales					
Información																																		
A	Tamaño preciso & localización, se incluyen materiales y parámetros de los objetos																																	
B	Tamaño general y localización, se incluyen datos paramétricos																																	
C	Diseño conceptual y localización																																	
Responsable																																		
ARCH	Arquitecto																																	
CON	Contratista																																	
CE	Ingeniero Civil																																	
FM	Mantenimiento																																	
MEP	Ingeniero MEP																																	
SE	Ingeniero estructural																																	
TC	Contratista-Inst.Especiales																																	
<b>Uso BIM</b>				<b>Realización del diseño</b>			<b>Modelado de las condiciones existentes</b>			<b>Estimación de costos</b>																								
<b>Fase del proyecto</b>				<b>Diseño</b>			<b>Diseño</b>			<b>Diseño</b>																								
<b>Time of Exchange (SD, DD, CD, Construction)</b>																																		
<b>Responsable (Persona que recibe la información)</b>																																		
<b>Formato para recibir información</b>																																		
<b>Programa y versión</b>																																		
<b>Model Element Breakdown</b>				<b>Info</b>	<b>Resp</b>	<b>Notas</b>	<b>Info</b>	<b>Resp</b>	<b>Notas</b>	<b>Info</b>	<b>Resp</b>	<b>Notas</b>																						
A	<b>Subestructura</b>																																	
	<b>Cimentaciones</b>																																	
		Cimentaciones estándar																																
		Cimentaciones especiales																																
		Losas a nivel																																
	<b>Construcción del sótano</b>																																	
		Excavación del sótano																																
		Paredes del sótano																																

Figura II-7 Ejemplo de formato para definir el intercambio de información.<sup>30</sup>



#### 4) Desarrollar la infraestructura necesaria para su implementación.

El último de los cuatro pasos desarrolla la infraestructura necesaria para implementar el plan de ejecución BIM. Debe de crearse el documento que contenga la información siguiente:

1	Información general del documento	Esta sección sirve para que el equipo de trabajo comprenda la razón por la que fue creado el documento y debe establecer la importancia de seguir el plan.
2	Información del proyecto	En este apartado se debe incluir información básica del proyecto que ayude a identificarlo. Por ejemplo: El promotor, el nombre del proyecto, la localización, el tipo de contrato, una descripción corta del proyecto, fases y forma de entrega.
3	Datos de contactos principales	Se deben colocar nombres y datos de contacto de los representantes de cada especialidad, por ejemplo, del Project Manager, contratistas, líder de cada disciplina entre otros.
4	Objetivos BIM/Usos BIM	En esta etapa se documentan los pasos anteriores del plan de ejecución BIM, incluyendo una lista de los objetivos BIM y los usos seleccionados.
5	Personal involucrado y sus roles	Por cada uso BIM seleccionado, se deben indicar a los responsables de llevarlo a cabo y sus tareas específicas.
6	Diseño del proceso BIM	En esta parte se deben incluir los mapas de procesos creados en el paso número 3 para crear un BEP.
7	Formatos de intercambio BIM	Se necesitan incluir los formatos de intercambio de información por cada disciplina.
8	Requerimientos de la obra ya terminada	Dependiendo del cliente y el uso final del proyecto, se necesitan definir los entregables y el modelo.
9	Procedimiento de colaboración	Se deben incluir las actividades concretas que se tienen que desarrollar para llevar a cabo el trabajo colaborativo.
10	Control de calidad	Su función es la de establecer los procedimientos para el aseguramiento y control de calidad del proyecto.
11	Infraestructura tecnológica necesaria	Se definen las necesidades de hardware y software para realizar el proyecto, así como las conexiones a internet y el almacenamiento en la nube.
12	Estructura del modelo	Definir cómo se intervendrá en el modelo por los diferentes agentes de modelado, así como por los de control.
13	Entregables del proyecto	Se deben definir los formatos e información que debe haber en las diferentes entregas.
14	Estrategia de entrega / Contrato	Se establecen los momentos de entrega y se integran los contratos.

Tabla II-7 Resumen de información a contener en un BEP.



## 2.5 Gestión de un proyecto BIM por fase

A continuación, se describen las fases del ciclo de vida del proyecto de acuerdo con RIBA.<sup>31</sup>

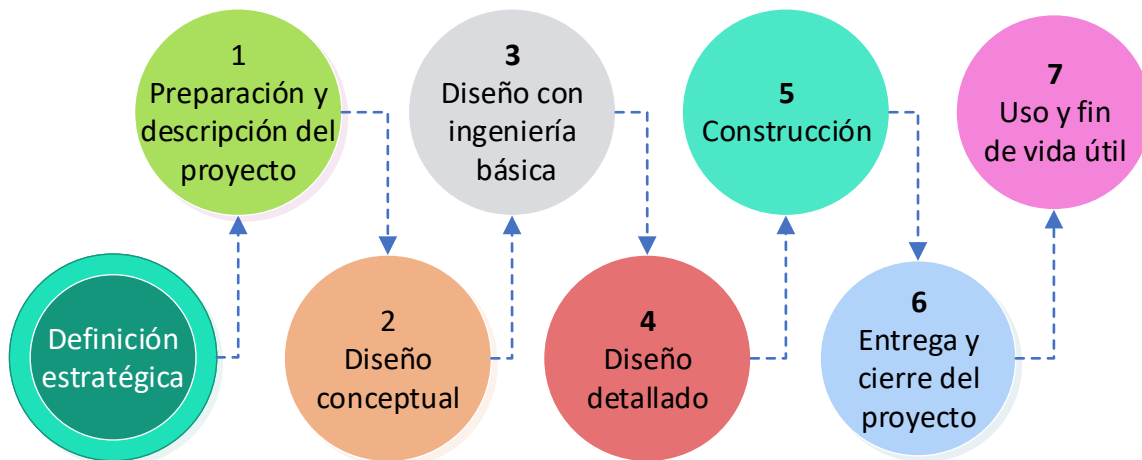


Figura II-8 Diferentes fases para la gestión de un proyecto BIM. Error! Bookmark not defined.

### 0. Definición estratégica

La etapa de la definición estratégica es en la que el proyecto se valora y se empieza a definir, en ella se identifican los requerimientos de los inversionistas y se comienzan a revisar posibles sitios y alternativas para realizar el proyecto.

### 1. Preparación y descripción del proyecto

En esta etapa del proyecto se desarrollan los objetivos de éste, se define lo que se espera obtener de él, los objetivos de calidad, de sustentabilidad, se define el presupuesto base para el proyecto. También se realizan estudios de viabilidad y se revisa la información del sitio en el que se pretende desplantar el proyecto.

<sup>31</sup> Royal Institution of British Architects, RIBA (2013). *RIBA Plan of Work 2013 Overview*. Londres. [Citado] 19.01.18 [En Línea] <https://www.architecture.com/-/media/gathercontent/riba-plan-of-work/additional/documents/ribaplanofwork2013overviewfinalpdf.pdf>.





---

Otro aspecto importante que considerar durante esta etapa es la evaluación de riesgos asociados al proyecto, los cuales se deben determinar para cada parte involucrada, también se debe definir la estrategia de contratación que se seguirá y se comienza con el cronograma del proyecto.

Se empieza a establecer el equipo que desarrollará las diferentes etapas del proyecto, esto incluye al equipo BIM, sus responsabilidades e información a preparar.

## **2. Diseño conceptual**

En esta etapa se prepara el diseño conceptual del proyecto, para ello se deben incluir ya las propuestas de diseño arquitectónico, estructural, los servicios que tendrá el edificio y se revisa la información preliminar del costo del proyecto.

También se desarrollan en esta etapa una serie de estrategias a seguir, por ejemplo, de sustentabilidad y de seguridad entre otras. Mientras se va desarrollando el proyecto a nivel conceptual también se va actualizando la información del costo del proyecto, la estrategia para la construcción, para el mantenimiento y operación, al tiempo que se actualiza el plan de ejecución del proyecto.

En esta etapa los modelos sirven para simular diferentes opciones de proyectos y para mostrarlos al cliente con el objetivo de que pueda ir tomando decisiones más informadas respecto al proyecto.

## **3. Diseño básico**

Durante esta fase el diseño conceptual se continúa desarrollando, en ella los diseños de las diferentes disciplinas que deben estar realizados y comienza el proceso de realizar una coordinación espacial entre ellos. Este proceso puede requerir de varias iteraciones y del uso de diferentes herramientas tecnológicas.

Para el final de esta fase, los diseños de las diferentes disciplinas deben estar desarrollados y revisados por el líder del proyecto. Ya con el diseño más desarrollado, se debe revisar que se continúe dentro del presupuesto y se deben comenzar a implementar controles de cambios.



---

La fase de diseño básico es en la que se empieza a modelar, pero no con el detalle para construcción, sino para empezar con la ingeniería básica y ver en dónde conviene cambiar más detalle.

#### **4. Diseño detallado**

En esta etapa se prepara el diseño a detalle del proyecto, en ella todas las disciplinas se han desarrollado para incluir las ingenierías a detalle y el trabajo de los especialistas y subcontratistas se ha terminado. Se deben revisar las estrategias realizadas previamente y vigilar que se esté cumpliendo con los objetivos del proyecto. Utilizando el diseño coordinado en la fase anterior, los responsables de las diferentes disciplinas deben haber terminado de desarrollar sus diseños. Un especialista o equipo de especialistas debe revisar que estos diseños finales se encuentren bien coordinados y que no haya interferencias entre ellos, también se debe definir el programa de construcción para cada parte del proyecto.

Al final de esta etapa, todos los aspectos del diseño deben estar completos, aunque no se encuentra exento de que existan modificaciones menores en sitio.

#### **5. Construcción**

Como su nombre lo indica, esta es la etapa de ejecución del proyecto. A partir del proyecto ejecutivo que se terminó de desarrollar en la etapa anterior, se comienza la construcción del proyecto. Durante esta etapa, la construcción se realiza conforme al proyecto constructivo y siguiendo un cronograma definido. A lo largo de esta etapa se debe llevar a cabo el control de la calidad del proyecto, control del presupuesto, de riesgos y de todo lo necesario para llevar el proyecto a la correcta conclusión.

Es importante que durante esta etapa se vaya generando la documentación necesaria para actualizar el modelo, para que, al concluir esta etapa, lo que se tenga sea un modelo “As Built” o como quedó construido.



---

Los objetivos para el uso del modelado de información de la edificación se concretan en el programa de diseño, que se prepara durante la etapa de desarrollo del diseño, a más tardar, y en el plan de BIM vinculado o incluido en este. Durante la etapa de preparación del diseño, se garantizan los requisitos de programación y la información afines a la tecnología BIM.

En las ofertas de licitaciones basadas en un diseño BIM, éste se tendría que adjuntar a los contratos, con lo cual el uso de los modelos y los requisitos especificados de contenido de información se convierten en vinculantes para las partes interesadas.

## **6. Entrega y cierre del proyecto**

En esta etapa, el objetivo es la entrega exitosa del proyecto al cliente final, se debe revisar que se están cumpliendo con todos los objetivos del contrato, incluyendo la inspección de defectos. El cliente, además de recibir la obra terminada, debe revisar que la documentación está en orden y el modelo As-Built para asegurarse de que la calidad entregada cumple con sus requisitos.

## **7. Operación, mantenimiento y fin de la vida útil**

Durante esta etapa, la información generada anteriormente es de gran utilidad. Se refiere a la operación, mantenimiento y utilización del edificio.

El flujo de trabajo utilizando la metodología BIM es especialmente útil en este punto, ya que debido a que la información se tuvo que ir actualizando a lo largo de la obra el modelo final deberá de corresponder a lo que fue construido, también llamado As-Built. Con un modelo As Built realista y que refleje los cambios que sufrió el proyecto durante su construcción, se procederá a la puesta en marcha, servirá para que se dé el mantenimiento necesario.



## 2.6 Relación entre el uso de BIM y los conceptos de dirección de proyectos

El uso de BIM tiene implicaciones directas con el proceso de gestión de proyectos, siendo su relación motivo de estudio por diferentes autores y organizaciones. Al ser la implementación de la metodología BIM cada vez más necesaria en los proyectos de construcción, se ha hecho imperativa la redefinición de los conceptos de dirección de proyectos para incorporar esta relación <sup>32</sup>. En este sentido, las definiciones dadas por el PMBOK pueden ser interrelacionadas con las capacidades BIM, siendo un enfoque válido establecer esta relación con base en las áreas de conocimiento establecidas en el PMI (University of Nebraska) <sup>33</sup>. La figura II-9, muestra la relación de diferentes áreas de conocimiento con BIM.

La primera área del conocimiento, la gestión de la integración del proyecto tiene la función de integrar la documentación, planes y esfuerzos de los diferentes involucrados en el proyecto, esto puede ser logrado integrando el control de la documentación con el BEP.

Al gestionar el alcance del proyecto es necesario definir los elementos necesarios para que éste se pueda concluir con éxito, mediante el uso de BIM se simplifica este proceso ya que facilita categorizar y dividir las diferentes partes, logrando así que se descarten adiciones innecesarias y que se consideren exclusivamente las que sí lo son.



Figura II-9 Relación entre la gestión de proyectos y la metodología BIM

<sup>32</sup> RCIS (2017). *BIM for Project Managers*. Reino Unido.

<sup>33</sup> University of Nebraska (2015). *Building Information Modeling in Project Management: Needs, Challenges and Outcomes*. Estados Unidos de América.



---

El área de gestión del tiempo se encuentra directamente relacionada con la dimensión 4D utilizada en BIM, siendo posible tener una mejor planificación del proyecto con ella, mientras que la de gestión de los costos se considera utilizando la quinta dimensión BIM.

En la metodología BIM, cuando se realiza la detección de interferencias, también se está asegurando la calidad del proyecto pues se reconoce, modifica y analiza el modelo. Además, el tener un modelo tridimensional con información e ir comparándolo con lo realizado en obra, también se está mejorando la calidad.

Para el caso de la gestión de los recursos, en BIM ésta se lleva a cabo a través de facilitar de la colaboración entre los diferentes miembros del equipo.

En el caso del área de control de riesgos para el proyecto, una de las formas para mitigarlos es analizando la viabilidad de la construcción, que es una técnica de manejo de proyectos para revisar los procesos de construcción de principio a fin durante el periodo antes de la construcción, esto se utiliza para prevenir errores que implican demoras y sobrecostos, siendo el uso de BIM clave en esta revisión.

La gestión de las comunicaciones es otra de las características que la metodología BIM mejora, ya que para lograr implementarla es necesario definir a todos los involucrados en el proyecto y definir los canales de comunicación entre ellos.

Para poder realizar las compras y adquisiciones necesarias para el proyecto, BIM es de gran ayuda pues permite una correcta cuantificación de los materiales.

Es importante aclarar que, aunque la guía y áreas del conocimiento del PMBOK pueden ser apoyadas en gran medida por la metodología BIM, aún existe un área de oportunidad para integrar los planes de ejecución BIM con los estándares de la dirección de proyectos.

Una propuesta interesante es integrar en los planes de ejecución BIM (BEP), la metodología Internacional del PMI desarrollado en el PMBOK, (Cajade Sánchez, 2018)<sup>34</sup>. Al realizar un análisis de la inclusión de las áreas de conocimiento del PMI en el BEP, Cajade identificó que, aunque varias áreas de conocimiento ya se encuentran contempladas, aún existen deficiencias en el BEP principalmente en el área de conocimientos de las adquisiciones, pues en el BEP no se considera el cierre de contratos, en la gestión de los costos, en la de riesgos y en la de los interesados.

---

<sup>34</sup> D. Cajade Sánchez and P. del Solar Serrano (2018). Integration of the BIM execution plan with the guide to the project management body of knowledge (PMBOK) of PMI (Project Management Institute. Building and Management, vol.2(3), pp.24-32.



---

En el sentido de los roles desarrollados, ambos procesos se encuentran ampliamente interrelacionados, de acuerdo con el PMI, el director del proyecto es la persona que es asignada para liderar al equipo que será responsable de alcanzar los objetivos del proyecto.

En cuanto a BIM, para lograr su implementación correcta también es necesario el rol de director del proyecto. Los roles BIM se pueden dividir en cuatro grupos principales:<sup>35</sup> roles vinculados a la gestión, roles vinculados a las fases del ciclo de vida del proyecto, roles vinculados a las diferentes disciplinas y roles transversales que pueden colaborar en los diferentes niveles.

Existen diversas publicaciones que abordan este tema y que definen los roles vinculados a la gestión y las aptitudes necesarias para desarrollarlos.<sup>36</sup> Estas responsabilidades corresponden a las de un BIM Manager (Gestor/Director BIM), que puede desarrollarse bajo dos ámbitos principales, para la organización, para un proyecto en específico. Los requerimientos y habilidades necesarias para su desarrollo son los siguientes:

#### BIM Manager/Gestor BIM (Rol en la organización)

- Implementar la metodología BIM en la organización.
- Crear flujos de trabajo a nivel compañía
- Desarrollar y vigilar que se cumplan los estándares y protocolos BIM.
- Colaborar con socios y equipos dentro de la organización.
- Formular los objetivos BIM para la empresa.
- Realizar investigación acerca de mejores prácticas.
- Preparar y gestionar la estrategia BIM de entrenamiento para la organización.

#### BIM Manager/Gestor BIM (Rol en el proyecto)

- Asegurar que el software se encuentre instalado apropiadamente.
- Determinar las bases de referencia a utilizar en el proyecto.
- Analizar si el modelo cumple con los requisitos necesarios.
- Realizar análisis de interferencias y generar reportes respecto a ellos.
- Desarrollar el plan de ejecución BIM y revisar que se cumpla en el proyecto.
- Coordinar la gestión de información, el contacto con el cliente y al equipo BIM.

---

<sup>35</sup> Instituto de Tecnología de la Construcción (ITec). (2019). *Libro blanco sobre la definición estratégica de implementación del BIM en la Generalitat de Catalunya* (1° ed.). Barcelona: Generalitat de Catalunya.

<sup>36</sup> Kathryn Davies, Suzanne Wilkinson, Dermott McMeel. (2017). *A review of specialist role definitions in BIM guides and standards*. Journal of Information Technology in Construction (ITcon), Vol. 22, pg. 185-203, [En Línea] <http://www.itcon.org/2017/10>



## 2.7 Herramientas de software más utilizadas

Debido a que BIM no es un software, sino una metodología de colaboración, como ya se explicó en capítulos anteriores, lograr su implementación no se limita al uso de un solo programa o compañía desarrolladora. Dependiendo de la función que se desee realizar, existe un amplio catálogo de programas computacionales disponibles. Algunos de los requerimientos más habituales que buscan satisfacer estos programas incluyen conceptualizar el proyecto, realizar análisis de ingenierías, diseñar para la construcción, cuantificar materiales, presupuestar, hacer una planificación de los tiempos y llevar la administración del proyecto. En la Fig. II-10 se observa un ejemplo de softwares disponibles.

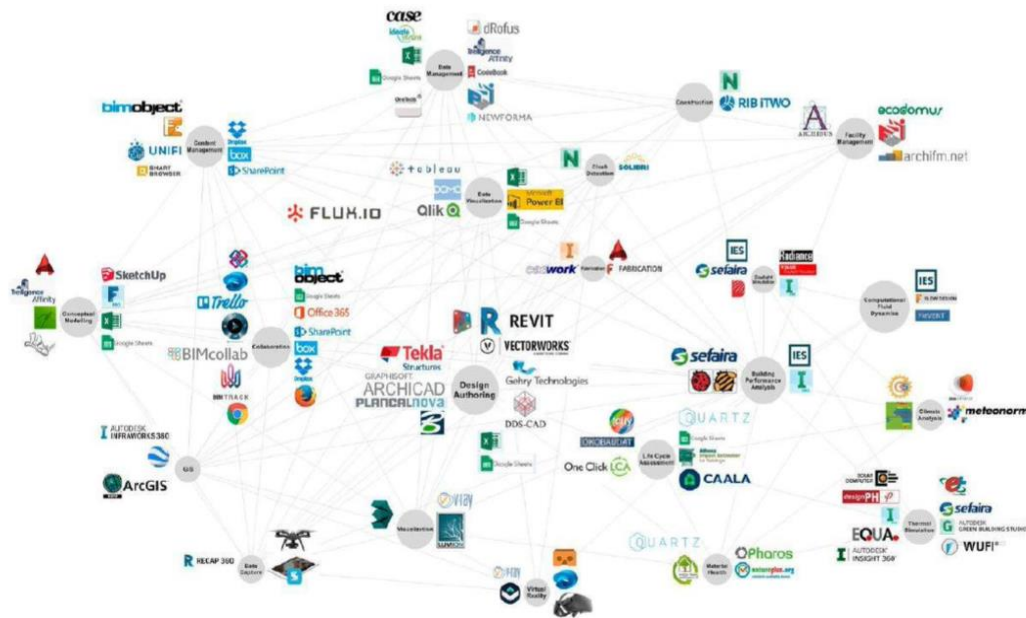


Figura II-10 (Autodesk University, Ramboll)<sup>37</sup>

Existen programas aislados y otros que son parte de plataformas colaborativas que han adquirido popularidad y su uso se extiende cada vez más en las compañías constructoras. Cinco de las compañías con más éxito en este aspecto son: Autodesk, Graphisoft, Nemetschek, Bentley y Tekla. A continuación, se explicará más acerca del software principal de diseño de estas plataformas.

<sup>37</sup> Smidtas, Mantas (2018). *Advanced Data Flows And Visualization Through InfraWorks*. Autodesk University. [Citado] 18.12.18 [En Línea] <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Advanced-Data-Flows-And-Visualization-Through-InfraWorks-2018>.



## REVIT (Autodesk)

Revit es un software CAD BIM, donde colaboran diferentes disciplinas (arquitectura, instalaciones y estructuras). Es propiedad de Autodesk<sup>38</sup> y se encuentra desarrollado para Windows. Es el software más utilizado gracias a su fácil manejo y conectividad entre disciplinas, así como a que existen más cursos y entrenamiento disponibles. En la figura II-11 se aprecia una ilustración del modelo realizado con Revit para el diseño y construcción de un hospital por parte de la compañía nórdica Skanska.<sup>39</sup>



Figura II-11 Good Samaritan Hospital (Skanska).

Las empresas en muchas ocasiones adquieren el software debido a su conectividad con la suite de Autodesk (Ver fig. II-12), que incluye otros programas muy populares como Navisworks, que funciona para definir los tiempos de ejecución y dar seguimiento a la obra, así como para la visualización y detección de interferencias del modelo tridimensional, Infracworks 360 para conceptualización de proyectos de infraestructura, AutoCAD Civil 3D para modelar infraestructura y Robot para el análisis estructural, entre otros programas. Una de las limitantes del flujo de trabajo usando Revit es el costo de la licencia del programa y, en su caso, del conjunto de programas necesarios para aprovechar mejor su potencial.



Figura II-12 Ejemplos incluidos en la suite de Autodesk.<sup>38</sup>

<sup>38</sup> Autodesk. (2018). *Architecture. Engineering and Construction Collection*. [Citado] 18.09.17 [En Línea] <https://www.autodesk.mx/>

<sup>39</sup> Skanska (2015). *BIM – Building Quality*. Nordic Ecolabelled Printed Matter 441 209. [Citado] 18.10.17 [En Línea] [www.skanska.com/BIM](http://www.skanska.com/BIM)





## ARCHICAD (Graphisoft)

ArchiCAD es la segunda herramienta BIM más utilizada después de Revit, les permite a los usuarios trabajar con objetos paramétricos, y fue el primero en aplicar el término BIM. Este programa permite a los usuarios crear edificios virtuales con elementos constructivos como muros, techos, puertas, ventanas y muebles. Al igual que en el caso de Revit, la comunidad de usuarios es grande, existiendo diversos recursos de ayuda y objetos creados para su uso en ArchiCAD. En la figura II-13 se muestra un ejemplo de un render realizado con este software.



Figura II-13 Render realizado con ArchiCAD<sup>40</sup>.

Algunos de los atractivos de ArchiCAD incluyen la capacidad para diseñar fachadas complejas y la integración en el flujo de trabajo con aplicaciones como Rhinoceros y Grasshopper. En el caso de la colaboración, ArchiCAD puede operar con un flujo abierto de trabajo para el intercambio de información, se centra en el diseño arquitectónico, siendo una de sus desventajas que no cuenta con una integración completa entre las diferentes disciplinas, como es el caso de Revit.

<sup>40</sup> Kravchenko, Svetlana (2018). *Case study: ArchiCAD: Revisiting Visualization — new opportunities for architects*. Graphisoft. [Citado] 19.03.16 [En Línea] <https://www.graphisoft.com.sg/ftp/marketing/case-studies/graphisoft-case-study-svetlana-2018.pdf>.



## ALLPLAN (Nemetschek)

Allplan se trata de un software de diseño en 2D/3D que permite el intercambio y recolección de información. Ofrece tres soluciones principales, Allplan Architecture, para diseño de edificios y gestión de proyectos arquitectónicos; Allplan Engineering, especializado en obras de infraestructura y para ingenieros civiles (Ver Fig.II-14); así como Allplan Bimplus, que es una herramienta de colaboración.

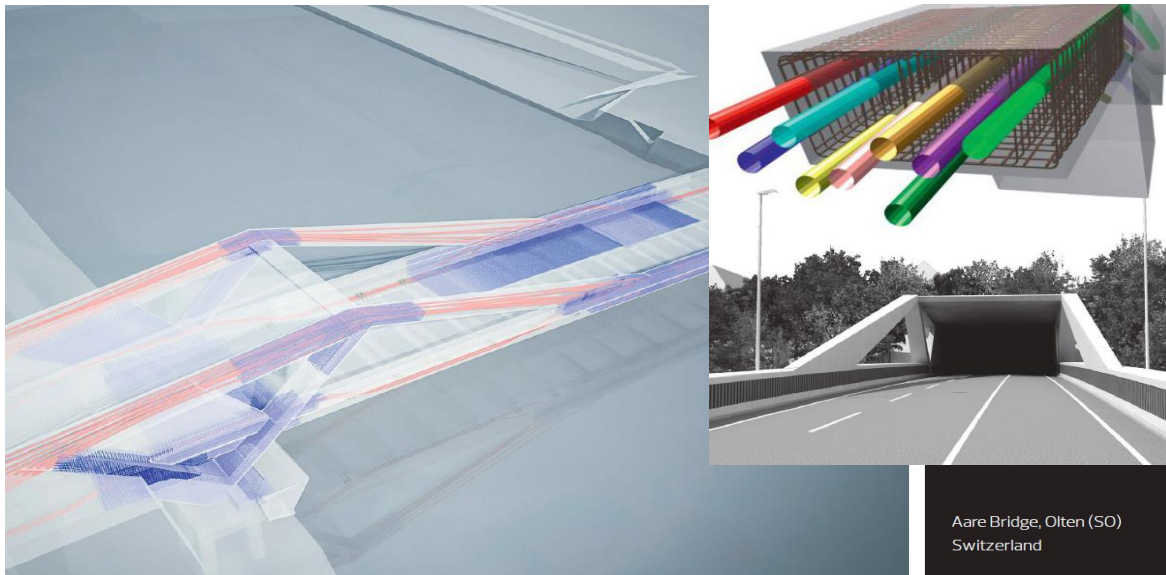


Figura II-14 Ejemplo de utilización de All Plan para el diseño de un puente.<sup>41</sup>

Desde sus inicios, el programa integra el trabajo colaborativo con un servicio centralizado y automatizado de intercambio de proyectos, debido a que la compañía Nemetschek tiene una amplia variedad de programas con distintas funcionalidades (Ver Fig. II-15), por lo que AllPlan cuenta con buena interoperabilidad. Se trata de un programa menos popular que Revit o Archicad, pero su uso se ha expandido en el continente europeo y es especialmente utilizado en Alemania, ya que tiene su origen en ese país e incluye su normatividad.



Figura II-15 Grupo Nemetschek<sup>42</sup>

<sup>41</sup> © 2017 ALLPLAN GmbH Munich, Germany <https://www.allplan.com/en/references/> © Photos: Allplan GmbH, ACS-Partner; © Text: Peter Rahm, freelance journalist, Gossau ZH.

<sup>42</sup> Nemetschek. (2018). *Building Software – Empowering The Entire AEC Lifecycle*. [Citado] 18.09.17 [En Línea] <https://www.nemetschek.com/>



## AECOsím Building Designer (Bentley)

Es el producto BIM de Bentley que incluye herramientas para el diseño arquitectónico, estructural, de instalaciones mecánicas y eléctricas en una sola aplicación y con un único interfaz.<sup>43</sup> Este programa es utilizado en proyectos de infraestructura grandes que contienen una gran cantidad de información. Es un programa más orientado a la ingeniería civil que a la arquitectura, contrario a ArchiCAD (Ver fig. II-16 como ejemplo).



**Figura II-16 Proyecto para el puente de Bageng realizado con AECOsím.**

Dentro de las capacidades del programa se encuentran el análisis del rendimiento del sistema de construcción, la inclusión de herramientas para coordinar diferentes disciplinas, la facilidad para generar documentación e informes y la de realizar visualizaciones de los edificios modelados.

Una de sus ventajas principales es que, al pertenecer a Bentley Systems, se encuentra integrado



**Figura II-17 Modelo utilizado para reducir gasto de materiales.**

con su plataforma por ejemplo con ProjectWise (Ver Fig. II-17), que sirve para cuantificación y simulación, y con STAAD<sup>44</sup> Pro para el análisis estructural.

<sup>43</sup> Bentley Systems. (2018). *AECOsím Building Designer*. [Citado] 18.11.16 [En Línea] <https://www.bentley.com/es/products/product-line/building-design-software/openbuildings-designer>

<sup>44</sup> Bentley Systems, Incorporated. (2018), AECOsím Building Designer for the Bageng Bridge.



## TEKLA (Trimble)

Al igual que otros programas basados en 3D, no dibuja simplemente líneas sino directamente sólidos paramétricos dentro de un modelo 3D. Tekla Structures es un software especializado en el modelado estructural, con él es posible modelar directa y rápidamente perfiles y detalles generales. A través de macros y soluciones predefinidas permite resolver uniones y nudos estructurales. Tekla Structures también diseña y despieza automáticamente estructuras de acero, así mismo, permite estimar costos y analizar diferentes opciones de diseño. En la Figura II-18 se ilustran las capacidades del programa, con un modelo estructural generado para uno de los edificios más altos del mundo.

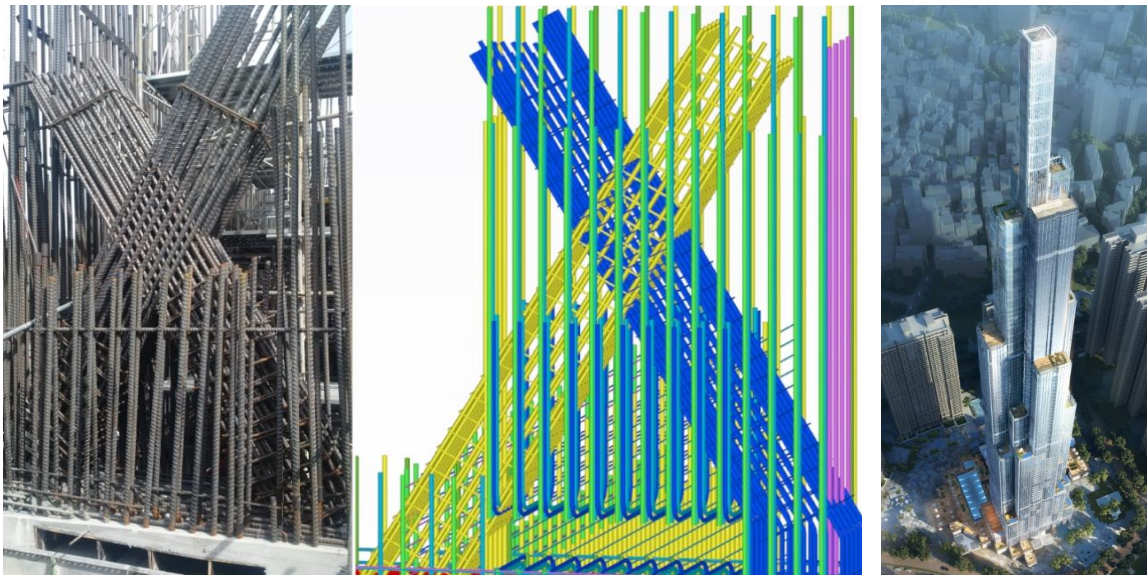


Figura II-18 Ejemplo de la utilización de Tekla Structures para el edificio Vinhomes Landmark 81.<sup>45</sup>

Para la colaboración, Tekla se encuentra integrado perfectamente con el software de Trimble. También cuenta con un flujo de trabajo especializado con Revit<sup>46</sup> para poder utilizar sus capacidades estructurales junto con las arquitectónicas y de instalaciones del software de Autodesk.

<sup>45</sup> Trimble. *The Tallest Building in SEA Built with Tekla and Trimble*. [Citado] 19.06.15 [En Línea] <https://resources.tekla.com/case-studies/the-tallest-building-in-sea-built-with-tekla-and-trimble>

<sup>46</sup> Lash, David. (2019). Tekla Structures and Revit BIM Workflows. Tekla Structures. [Citado] 19.04.15 [En Línea] <https://teklastructures.support.tekla.com/support-articles/tekla-structures-revit-bim-workflows>



## INTEROPERABILIDAD

Con el objetivo de mejorar la colaboración entre las diversas plataformas de software, existe una iniciativa conocida como Open BIM que se basa en flujos de trabajo con estándares abiertos. El estándar principal de referencia (ISO 16739-1:2018), es el desarrollado por la organización Building Smart International, y es conocido como Industry Foundation Classes (IFC)<sup>47</sup>. IFC se trata de un formato de archivo basado en objetos que contiene información geométrica y alfanumérica de un modelo y que es independiente del vendedor de software, algunas de las aplicaciones que soportan este formato se pueden observar en la Figura III-16.



Figura II-19 Ejemplos de aplicaciones homologadas con IFC.<sup>48</sup>

Otra especificación importante para la mejora de interoperabilidad entre archivos es la denominada como Construction Operations Building Information Exchange (COBie)<sup>49</sup>, esta especificación funciona para identificar la información que debe ser capturada e intercambiada durante el ciclo de vida de un proyecto. La diferencia principal entre un archivo IFC y COBie es que, mientras un archivo IFC contiene la información geométrica y datos generales de un modelo, uno COBie contiene información específica que se utilizará para gestionar y operar el proyecto una vez terminado.

<sup>47</sup> buildingSMART International. *Industry Foundation Classes (IFC)*. [Citado] 19.05.16 [En Línea] <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>

<sup>48</sup> ArchiCAD. (2019). Bienvenido a ArchiCAD 22. [Citado] 19.04.02 [En Línea] [https://www.graphisoft.lt/AC22\\_ES\\_WC.pdf](https://www.graphisoft.lt/AC22_ES_WC.pdf)

<sup>49</sup> East, E. William (2012). Construction-Operations Building information exchange (COBie). buildingSMART alliance, National Institute of building Sciences, Washington, DC. [Citado] 19.04.03 [En Línea] [http://www.nibs.org/?page=bsa\\_cobie](http://www.nibs.org/?page=bsa_cobie)



---

## 2.8 Resumen de beneficios y limitaciones del uso de BIM

### Usos y beneficios:

- Ayuda a tener una captura de la situación actual
- Eficiencia en los grupos de trabajo.
- Control.
- Mejora la Colaboración.
- Simulación de la realidad y visualización más clara.
- Detección de interferencias.
- Programas de obra y seguimiento de avances.
- Documentación.
- Presentación.
- Movilidad.
- Actualización de cambios.

### Limitaciones

- Costo elevado de las licencias de software.
- Falta de capacitación en el personal.
- Pérdida de tiempo si no se definen bien los alcances.
- No todas las compañías tienen objetos BIM, por lo que modelar ciertas cosas puede resultar una tarea cansada y llevar a problemas en la precisión.
- En el caso de Revit falta de compatibilidad con versiones anteriores, si un proyecto se encuentra creado con una versión posterior a la que tenemos, ya no lo podemos abrir.
- Problemas en la colaboración entre las diferentes personas que integran el equipo, especialmente si no hay comunicación directa entre ellas.



---

## III. DEL PROYECTO AL PRESUPUESTO

---

*“El único presupuesto bueno es el presupuesto equilibrado.” - Adam Smith*

Obtener un estimado acertado del costo de un proyecto es uno de los factores más determinantes en el éxito o fracaso de éste. De acuerdo con el PMBOK, determinar el presupuesto es el proceso que consiste en sumar los costos estimados de las actividades individuales o paquetes de trabajo para establecer una línea base de costos autorizada.

Existen diversos métodos para realizar un presupuesto o estimación de costos, presupuesto por precios unitarios, presupuesto a precio alzado y presupuesto paramétrico. El método de precios unitarios se describirá más a detalle en los siguientes apartados del capítulo, pero esencialmente consiste en elaborar un catálogo de conceptos de la obra, después obtener las cantidades y finalmente realizar un análisis detallado de cada concepto de trabajo para obtener el precio por unidad de concepto de trabajo.

En un presupuesto a precio alzado se determina desde el principio de los trabajos el monto final que tendrá que ser pagado al contratista por los trabajos a ejecutar.

La otra forma de realizar un presupuesto es por el método paramétrico, que está basado en datos estadísticos recopilados o investigaciones denominados parámetros. Este método es utilizado generalmente cuando se tiene poco tiempo para realizar la oferta o no se tiene un proyecto ejecutivo. Se puede decir que un presupuesto paramétrico es la estimación preliminar del costo de una obra/proyecto que se realiza utilizando parámetros de costo de construcción. Este tipo de presupuesto puede realizarse con parámetros genéricos o detallados. Existen publicaciones que contienen listas con precios que pueden adaptarse al proyecto que se esté realizando, aunque se puede optar por utilizar datos históricos recopilados de proyectos similares de la empresa para presupuestar con este método.



---

## 3.1 El proyecto ejecutivo

### 3.1.1 Contenido del proyecto ejecutivo y su revisión

El proyecto ejecutivo de una obra es el siguiente paso al proyecto arquitectónico. En el proyecto arquitectónico se definen los espacios de acuerdo con las necesidades y requerimientos del cliente y el proyecto ejecutivo se refiere al desarrollo del proyecto, incluyendo las ingenierías y los detalles e información necesarios para poder llevar a cabo la construcción del proyecto.

En el proyecto ejecutivo se integran además de los planos del proyecto arquitectónico, los planos de detalles, planos ejecutivos o planos constructivos de las diferentes especialidades (Carpintería, Cancelería, Estructurales, de Instalaciones, etc.) así mismo se integran las especificaciones técnicas, memorias de cálculo y todos los documentos necesarios para el constructor en los que se detalla cómo se debe ejecutar la obra en tiempo y forma.

El proyecto ejecutivo debe contener:

- La descripción del proyecto.
- Su objetivo y justificación.
- Proyecto arquitectónico.
- Proyecto estructural.
- Proyecto de instalaciones.
- Proyecto de acabados.
- Proyectos especiales.
- Proyecto de áreas exteriores.
- Especificaciones técnicas de los procesos constructivos.
- Memorias de cálculo.
- Planos constructivos necesarios.
- Catálogo de conceptos.
- Presupuesto base elaborado por Precios Unitarios de los Conceptos de Trabajo.





- Programa de obra.

Dentro del proyecto se deben incluir, entre otros, los siguientes entregables:

- Planos del conjunto.
- Plantas, cuyo número varía dependiendo de las necesarias de acuerdo con las características del proyecto.
- Todos los planos de cortes necesarios.
- Planos de fachadas.
- Planos de azotea.
- Obras Exteriores.
- Perspectivas generadas de manera digital.
- Maquetas (En caso de ser necesario).
- Modelo 3D (En caso de requerirlo).
- Recorrido Virtual (Si resulta conveniente para el proyecto).

#### Dentro del Proyecto Estructural:

Se incluye el conjunto de planos necesarios que muestran la disposición de los elementos estructurales que dan forma, rigidez y estabilidad estructural al proyecto.<sup>50</sup> En estos planos muestran la manera en que cada columna, castillo, zapata, trabe y cualquier elemento estructural va a ser armado. Además, debe incluir los cálculos

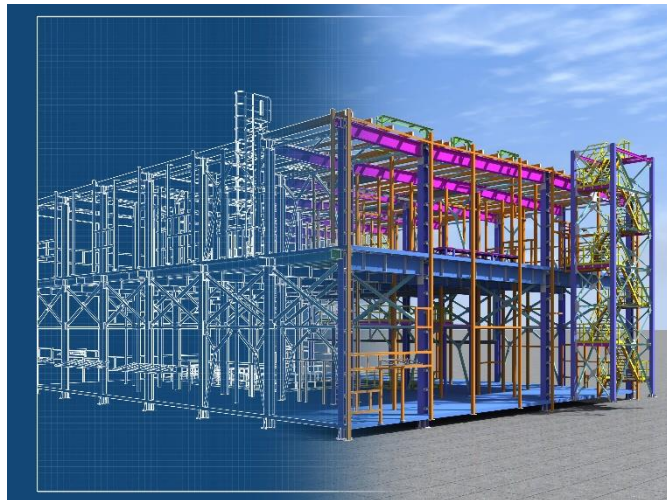


Figura III-1 Ejemplo de un proyecto estructural.

estructurales para construir una losa de azotea, muro de contención etc. Todos los planos van acompañados de una memoria de cálculo y el proyecto estructural va acompañado de la firma de un perito responsable por los cálculos realizados.

---

<sup>50</sup> González Meléndez, Raúl. (2017). *Libro Universal de Análisis de Precios Unitarios*. Ciudad de México: Instituto Mexicano de Ingeniería de Costos (IMIC).



---

## Dentro del Proyecto de Instalaciones Mecánicas:

De la misma forma que los proyectos anteriores, los proyectos hidráulicos, sanitario y de gas son el conjunto de planos y memorias técnicas, en la cual se determinará la disposición de la red sanitaria, hidráulica y de gas del proyecto. Mostrando el grosor de la tubería a utilizar en determinadas áreas, la disposición de registros sanitarios, determinación de materiales para realizar el ramaleo de la tubería y los planos isométricos de cada instalación.



**Figura III-2 Ejemplo de proyecto de instalaciones mecánicas.**



## Dentro del Proyecto de Instalaciones Eléctricas

Es el proyecto que muestran todos los planos y memorias de cálculo que determinan en primer lugar, la disposición de luminarias, contactos, apagadores, abanicos, telefonía, internet, salidas de televisión, etc.

Se realizan planos para diseñar la forma en la que se va a ejecutar toda la red eléctrica, además de realizar los cálculos necesarios para determinar los cuadros de cargas y diagramas eléctricos necesarios para el correcto funcionamiento de la red eléctrica del proyecto.

## Dentro del Proyecto de Acabados

Este es el proyecto donde se determina en planos, fotografías y catálogos los acabados que se van a utilizar en el proyecto, incluyendo los planos de carpintería, cerrajería, herrería cancelería, muros divisorios, etc. Mostrando el tipo de material que se va a utilizar, el lugar donde se van a instalar y manera de colocarse.



**Figura III-3 Ejemplo de proyecto de acabados.**



---

## Dentro del Proyecto de Aire Acondicionado

En caso de que el proyecto así lo determine, se elabora un proyecto de aire acondicionado, realizando los planos necesarios para establecer la red de ductos o se calcula la cantidad y la clase de equipos a utilizar. Se entrega un plano con la disposición de equipos, así como las instalaciones eléctricas e hidráulicas necesarias para la correcta instalación del aire acondicionado.

### 3.1.2 Obtención del catálogo de conceptos

Una vez habiendo estudiado en forma exhaustiva el Proyecto Ejecutivo, el primer paso para obtener el Catálogo de Conceptos consistirá en dividir la obra en grandes rubros de acuerdo con actividades o especialidades relacionadas entre sí, es decir, en partidas de obra y subpartidas en su caso, pidiéndose el criterio de tomar como partidas a los diferentes sistemas constructivos de la obra o las diferentes etapas constructivas, etc. En estas Partidas de Obra se agruparán los Conceptos de Trabajo con características o circunstancias similares.

Ejemplos de partidas:

- Obras Preliminares.
- Cimentación.
- Estructura de Concreto.
- Estructura Metálica.
- Muros, etc.

Después de haber definido las partidas y subpartidas (en su caso) en la que vamos a dividir la obra el siguiente paso será definir los conceptos de trabajo que se deberán incluir en cada una de ellas.

Para la realización de estos conceptos de trabajo, lo que se puede hacer es seguir los siguientes pasos:



---

1.- Identificar y hacer un listado de todas y cada una de las actividades que se deben realizar dentro de cada partida definida.

2.- Ese listado de actividades es precisamente el listado de los conceptos de trabajo que intervienen en la obra.

3.- A cada uno de esos conceptos de trabajo se le deben de definir ciertas características individuales que lo distinguen de cualquier otro.

4.- Asignar una clave o código de identificación: Generalmente se define en dos partes, la primera indica la familia de conceptos de trabajo (el folder en donde va a estar agrupado) en donde va a estar agrupado este concepto de trabajo, por ejemplo: muro, castillo, cimbra, etc. Se puede definir solo con las primeras letras de esa agrupación (mur, cas, cim, etc.). La segunda parte solo se asigna generalmente un número subsecuente 0010, 0020, 0030, etc. (lo ceros indican espacio para intercalar otros conceptos).

5.- Descripción el concepto de trabajo: Se trata precisamente de describir las características del trabajo que se desea realizar, así como sus alcances. En este apartado se debe especificar qué se va a hacer, con qué método y recursos, así como lo que incluye el concepto y lo que no. También se deben mencionar las circunstancias particulares en las que se va a hacer, especificar si está o no relacionado con alguna especificación o nota técnica, croquis o plano del proyecto ejecutivo, así como ratificar que el precio unitario calculado es por unidad de obra terminada, en cuyo caso se colocan las siguientes siglas: P.U.O.T.

6.- Determinación de las unidades de medida o de pago por concepto: Con el objetivo de calcular correctamente el importe de cada concepto, es de vital importancia definir de manera adecuada la unidad de trabajo. Debe ser una unidad acorde al concepto, que no cree confusión para la cuantificación y que sea ejecutable para el contratista.

7.- Cuantificar los conceptos de trabajo y obtención de números generadores: Una vez definidos los conceptos y las unidades de trabajo se debe proceder a realizar su cuantificación. Los documentos en donde se indican, para cada concepto de trabajo, las







---

8.- Crear el catálogo de conceptos del proyecto: Consiste en agrupar cada uno de los conceptos de trabajo del proyecto en sus correspondientes partidas y subpartidas de obra. Con la realización de este paso tendremos el catálogo de conceptos terminado (sin precio).

Así mismo y con el apoyo de un Catálogo General de Precios Unitarios se seleccionan los conceptos que intervienen en cada una de las Partidas anteriores, y además se indican los Conceptos de Trabajo particulares para esta obra y que no estén contenidos en el Catálogo General. Se hacen las correcciones y adecuaciones tanto en las descripciones como en las Unidades de Medida de cada Concepto de Trabajo para adecuarlas a la obra en cuestión.

Entre más clara sea la descripción y más definidos sus alcances, se tendrá una mejor base para efectuar los análisis.

Al unir todos los Conceptos de Trabajo identificados, ordenados en sus respectivas partidas de obra y cuantificados llegamos al catálogo de conceptos de trabajo en el que se incluye la clave, la descripción del concepto, la unidad de medida y la cantidad





---

## 3.2 El presupuesto a precio unitario

El presupuesto de una obra o servicio es el recurso estimado que la dependencia o entidad determina que es necesario para ejecutar los trabajos. En este presupuesto se desglosa el listado de conceptos de trabajo o actividades, así como las unidades de medida, cantidades de trabajo y precios unitarios correspondientes de cada uno de ellos.

El proceso para formar un presupuesto de obra incluye:

- Definir los conceptos que componen la obra o servicio.
- Medir las cantidades de esos conceptos de trabajos.
- Establecer el costo de cada uno de ellos, cuyos componentes son los materiales utilizados, la mano de obra necesaria para su realización, la herramienta de mano, equipo y maquinaria que se requieren, con cuyos cargos se obtiene el costo directo.
- Agregar a este costo obtenido todos los gastos administrativos de la empresa que lo realizará, además del financiamiento y la utilidad, y en algunos casos incluir un cargo adicional.
- Para realizar estos cálculos se utilizan matrices o tarjetas de análisis de precios unitarios.

### 3.2.1 Costos Directos

El costo directo es la suma de los costos de los insumos que intervienen directamente en la realización de cada concepto de obra. Se compone de cargos por materiales, mano de obra, equipo y herramienta.

El costo directo por materiales es el correspondiente a las erogaciones que hace el constructor para adquirir o producir todos los materiales necesarios para la correcta ejecución del concepto de trabajo, asegurando que se cumpla con las normas de calidad y las especificaciones generales y particulares de construcción requeridas en el proyecto ejecutivo. Se calcula de la siguiente manera:  $M = P_m * C_m$  (Ver tabla III-1).



CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
Clave del material	Descripción del material	Unidad de medida utilizada	<b>Cm</b>	<b>Pm</b>	<b>M</b>

Tabla III-1 Formulación de costos directos por materiales.

El **costo de la mano de obra** en una obra de construcción es muy importante ya que representa uno de los costos que más impactan en el presupuesto de la construcción.

El costo directo por mano de obra es el derivado de las erogaciones hechas por el contratista por el pago de salarios reales al personal que interviene en la ejecución del concepto de trabajo de que se trate, incluyendo al primer mando (hasta la categoría de cabo o jefe de una cuadrilla de trabajadores). No se deben considerar dentro de este costo las percepciones del personal técnico, administrativo, de control, supervisión y vigilancia, que corresponden a los costos indirectos.

El costo de mano de obra se obtiene de la siguiente expresión:  $Mo = Sr / R$

CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	RENDIMIENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE
Clave de la cuadrilla o salario real	Descripción de la cuadrilla o salario real	Jor (Jornada de 8 horas)	<b>R</b>	<b>1/R</b>	<b>Sr</b> (Salario real del personal que interviene en el concepto).	<b>Mo</b>

Tabla III-2 Formulación de costos directos por mano de obra.

El **costo horario directo por maquinaria** o equipo de construcción es el derivado del uso correcto de las máquinas o equipos adecuados y necesarios para la ejecución del concepto de trabajo, de acuerdo con lo estipulado en las normas de calidad y especificaciones generales y particulares que determine el proyecto ejecutivo y conforme al programa de ejecución.

El costo horario directo por maquinaria o equipo de construcción es el que resulta de dividir el importe del costo horario de la hora efectiva de trabajo entre el rendimiento de dicha maquinaria o equipo en la misma unidad de tiempo, de conformidad con la siguiente expresión:  $ME = Phm/Rhm$



---

---

<b>CLAVE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>RENDIMIENTO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>IMPORTE</b>
Clave de la maquinaria	Descripción de la maquinaria o equipo	Hora	<b>Rhm</b>	<b>1/Rhm</b>	<b>Phm</b>	<b>ME</b>

**Tabla III-3 Formulación de costos directos por maquinaria.**

Finalmente, el costo directo por herramienta de mano se obtiene como un porcentaje, generalmente del 3% aunque depende del concepto, del importe por mano de obra.

### 3.2.2 Costos Indirectos

Los costos indirectos consisten en considerar los costos de oficinas, honorarios, sueldos y prestaciones, pasajes y viáticos, depreciación de maquinaria y equipo, rentas y mantenimiento de locales, bodegas, instalaciones, muebles y operación de vehículos, así como de campamentos; fletes y acarreos, papelería y servicios tales como luz, teléfonos, gas, equipos de cómputo y gastos como los correspondientes a participar en una licitación, capacitación, seguridad e higiene, trabajos previos y auxiliares, seguros y fianzas, entre otros que se consideren en cada obra en particular.

Para la determinación del costo indirecto se tiene que considerar que el costo correspondiente a las oficinas centrales del contratista comprende solamente los gastos necesarios para dar apoyo técnico y administrativo a la superintendencia encargada directamente de los trabajos.

En el caso de los costos indirectos de oficinas de campo se deberán considerar todos los conceptos que de ello se deriven. Se tienen que conocer los siguientes datos:

1. Importe a costo directo de las obras que la constructora efectúa en un año.
2. Importe a costo directo de la obra que se está presupuestando.
3. Saber la duración de la obra para poder calcular entre otras cosas durante cuantos meses se le va a pagar al personal de supervisión.



Para saber cuánto se pagará a las oficinas de campo y a las de administración central se realiza una división por partidas que se puede representar de la siguiente manera:

Partida	Descripción	Importe de administración central	Importe de administración de campo	Importe de administración central + administración de campo	%
I	Honorarios, sueldos y prestaciones				
II	Depreciación, mantenimiento y rentas				
III	Servicios				
IV	Fletes y acarreos				
V	Gastos de oficina				
VI	Capacitación y adiestramiento				
VII	Seguridad e higiene				
VIII	Seguro y finanzas				
IX	Trabajos previos y auxiliares				
<b>IMPORTE TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS</b>					

Tabla III-4 Resumen por partidas de costos indirectos.

Para calcular el porcentaje de los costos indirectos sobre el costo directo de la obra se utiliza la siguiente metodología:

<b>CD</b> = Costo Directo de la Obra	\$
Importe Total de Costos Indirectos por Administración Central	\$
Importe Total de Costos Indirectos por Administración de Campo	\$
<b>CI</b> = Importe Total de Costos Indirectos = A. Central + A. de Campo	\$
<b>% de COSTOS INDIRECTOS sobre el Costo Directo = (CI / CD) x 100</b>	__ . __ %

Tabla III-5 Obtención del porcentaje de costos indirectos.



---

### 3.2.3 Costo por financiamiento, utilidad y cargos adicionales.

Ya que tenemos el presupuesto de la obra a costo directo y los costos indirectos, se debe obtener el **costo por financiamiento**. Esto se logra en base al programa de obra. Este costo se refiere a los intereses que se tendrá que pagar a una institución de crédito por el dinero prestado. Para esto se calcula el capital requerido y se obtiene la diferencia de ingresos y egresos por periodo. El costo de financiamiento depende de la tasa de interés utilizada.

Se expresa como un porcentaje de la suma de los costos directos más los costos indirectos.

El **cargo por utilidad** es la ganancia que recibe el contratista por la ejecución del concepto de trabajo, el contratista lo fija y se representa como una suma de los costos directos, indirectos y del financiamiento.

Los **cargos adicionales** aplican exclusivamente para las obras públicas y se estiman como el 0.5% del monto de las estimaciones.

### 3.2.4 Presentación del precio unitario integrado

Para integrar la matriz del precio unitario se utiliza el catálogo de conceptos de obra, los costos directos de los conceptos, se debe incluir el porcentaje correspondiente a los costos indirectos, al financiamiento, a la utilidad y a los cargos adicionales (en su caso). En los formatos para hacer el análisis de precios unitarios se debe incluir la cantidad por ejecutar de cada concepto de trabajo y adicionar después de obtener el costo directo del concepto de trabajo, la tabla correspondiente a la integración del factor de sobre costo, obteniendo finalmente el precio unitario del concepto estudiado. Un ejemplo es el desarrollado en la Figura III.6.



### FORMATO PARA ANÁLISIS DE CONCEPTOS DE PRESUPUESTO

CLAVE	DESCRIPCIÓN DEL CONCEPTO DE TRABAJO:	UNIDAD
	Muro de block de concreto mediano macizo de 15 x 20 x 40 cm en 15 cm de espesor, asentado con mortero cemento arena en proporción 1:4, en juntas de 1.5 cm de espesor, incluye refuerzo horizontal de escalerilla de alambón a cada 3 hiladas, acabado común y a una altura de 0.00 a 2.50 m	

#### CANTIDAD POR EJECUTAR:

CLAVE	DESCRIPCIÓN	UNI	RENDI-MIENTO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	IMPORTE	%
<b>Materiales</b>							
	Block de Conc. macizo 15 x 20 x 40 cm	PIEZA		11.77	8.04	94.63	
	Refuerzo de escalerilla de alambón	m		1.26	4.01	5.05	
	Agua	m3		0.010	45.00	0.45	
	Mortero Cemento - Arena 1:4	m3		0.0162	1,296.38	21.00	
	Andamio de Caballetes y tablonés	USO		0.04365	26.96	1.18	
<b>SUMA DE MATERIALES</b>						<b>122.31</b>	
<b>Mano de Obra</b>							
	Cuadrilla No. 1 formada por 1 oficial albañil un peón	Jor	11.42	0.0875	879.67	76.97	
<b>SUMA DE MANO DE OBRA</b>						<b>76.97</b>	
<b>Maquinaria y Equipo</b>							
	Herramienta de mano	% MO		3.00	76.97	2.31	
	Equipo de Seguridad Personal	% MO		2.00	76.97	1.54	
<b>SUMA DE MAQUINARIA Y EQUIPO</b>						<b>3.85</b>	

<b>COSTO DIRECTO (CD)</b>		203.13	100.00
<b>COSTOS INDIRECTOS (CI)</b>	( 11.60 ) % del CD	23.56	
<b>COSTO POR FINANCIAMIENTO (CF)</b>	( 0.49 ) % del (CD + CI)	1.11	
SUMA (CD + CI + CF) =		227.80	
<b>CARGO POR UTILIDAD (CU)</b>	( 7.80 ) % del (CD + CI + CF)	17.77	
SUMA (CD + CI + CF + CU) =		245.57	
<b>CARGOS ADICIONALES (CA)</b>	( 0.5025 ) % de (CD + CI + CF + CU)	1.23	
<b>PRECIO UNITARIO (PU)</b>		246.80	121.49
Factor de Sobre Costo = FSC = PU / CD = 246.80 / 203.13 =		1.21	

Figura III-6 Ejemplo de formato para análisis de precios unitarios.<sup>50</sup>

En el Anexo A<sup>53</sup> se incluyen formatos ejemplo para la obtención del catálogo de conceptos, para realizar el análisis de precios unitarios, obtener costos indirectos y para analizar el factor por financiamiento.

<sup>53</sup> Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2019). *Anexos correspondientes a la oferta económica (AE)*. [Citado] 19.04.15 [En Línea] <https://msc.cfe.mx/Aplicaciones/NCFE/Concursos/>



---

## 3.3 Integración del presupuesto con BIM (5D)

### 3.3.1 El uso de BIM para la presupuestación

Cuando la metodología BIM se ha implementado a lo largo del ciclo de vida de un proyecto, generalmente una de las expectativas principales es que el presupuesto del proyecto se pueda obtener de manera más rápida y precisa, para ello existen dos aspectos principales a considerar, el primero se refiere a la obtención de cantidades certeras y el segundo, al tiempo, factor que influye ampliamente en la planeación y en la obtención de los costos indirectos de la obra.<sup>54</sup>

#### 1.- Ahorros de tiempo.

El uso de la metodología BIM tiene el potencial de resultar en ahorros de tiempo de diferentes maneras a lo largo de las diversas fases del proyecto. En el aspecto monetario, esto se refleja en una reducción del costo de la mano de obra, reducción de los costos preliminares y mayor velocidad en el envío de entregables.

#### 2.-Ahorro en materiales.

Otro de los aspectos que se mejoran es que, al utilizar correctamente esta metodología, se pueden reducir los desperdicios de material y tener mayor certeza de que los volúmenes ordenados para la compra son los correctos. El utilizar menos materiales también disminuye el impacto ambiental provocado. En algunos casos, el revisar los materiales de una forma más completa puede llevar a decidir mejorar la calidad de los materiales utilizados para así reducir gastos de operación y mantenimiento en el futuro.

#### 3.-Ahorro en costos.

Al poder prever problemas en la obra existen diversos ahorros, incluyendo la detección de interferencia a tiempo, ahorro en gastos legales, mitigación de órdenes de cambio, reducción en gastos de salud y seguridad.

Con el objetivo de un modelado efectivo, es necesario que, desde el inicio del proyecto, mediante la utilización del BEP, se defina la forma de modelar y el uso que se le dará al

---

<sup>54</sup> Smith, Dawn et al. (2015). *BIM for cost managers: requirements from the BIM model*. Londres: Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS).



---

modelo en cada etapa del proyecto. Se deben de considerar también los niveles de detalle del proyecto y la información correspondiente.<sup>55</sup>

El equipo debe identificar también cuando existan problemas en el modelo, por ejemplo:

- Que no se identifiquen correctamente los elementos
- Que no se cuente con el nivel de detalle que se acordó en un principio
- Que algunos elementos no tengan material asignado.
- Que existan elementos duplicados, entre otras.

Existen diferentes convenciones y sistemas que garantizan la interoperabilidad que hay que poner en práctica para lograr una colaboración eficiente entre los participantes.

Un requerimiento importante para evitar confusiones es que se cuente con un código estructurado. Los modelos, documentos, información del proyecto deben estar organizado para asegurar que se pueda realizar una planeación de costos acertada. Algunos sistemas que se pueden utilizar para ello son Uniclass, NEM 1,2 y 3. CESMM, SMM, BCIS, NBS BIM Toolkit, MasterFormat (US) y UniFormat (US). Al momento de diseñar, los modeladores no siempre toman en cuenta la importancia de realizar el modelo de una manera que sea fácil de entender para la empresa que obtendrá el costo de la obra, esto puede crear confusión y añadir tiempo a la realización de volumetría de la obra. También es importante recalcar que desde el BEP se debe acordar la forma de nombrar los archivos. En proyectos grandes es muy común que el archivo se deba dividir en varias partes, de ahí la importancia de nombrar los archivos correctamente y de utilizar códigos que sirvan para la identificación y agrupación de los diferentes elementos constructivos.

---

<sup>55</sup> PricewaterhouseCoopers LLP. (2018). *BIM Level 2 Benefits Measurement Methodology*. Reino Unido: Pwh





---

### 3.3.2 Integración con software especializado para presupuestación

Existen distintas herramientas comerciales que sirven para realizar presupuestos, aunque su integración con BIM aún presenta retos. Uno de ellos, es que no todos se encuentran perfectamente integrados con BIM, uno de los problemas que se tienen es que muchos softwares avanzados se encuentran adaptados para su país de origen y no para México u otros países que no desarrollan este tipo de aplicaciones, tal es el caso de programas como Presto, Cost It que se encuentra integrado a Revit, pero para la normatividad española.

En México, ejemplos de software ampliamente utilizados para la realización de presupuestos son Opus y Neodata. La tendencia de ambos programas es hacia una mejor integración con software BIM (Ver ejemplo en Fig. III-7 acerca de OPUS).

#### 5. Comunicación BIM con REVIT. Del diseño a la cuantificación directa con REVIT y al presupuesto automático con OPUS. Mas detalles próximamente.

**Figura III-7 Ejemplo de mejoras propuestas en la integración de OPUS con Revit.<sup>56</sup>**

En cuanto a Neodata, éste es un software que permite controlar la construcción y facilita la exportación a software BIM mediante un archivo de compatibilidad IFC, lo mismo sucede en sentido contrario.

Desde hace muchos años gran parte de la base maestra de Neodata se distribuye de manera gratuita para todos los usuarios de la ingeniería de costos, por lo tanto, es una gran herramienta.

A continuación, se ejemplifica el proceso para obtener un presupuesto a partir de un modelo BIM en ArchiCAD, utilizando el software de precios unitarios Neodata<sup>57</sup>.

---

<sup>56</sup> Ecosoft. *OPUS 18*. [Citado] 19.03.20 [En Línea] <https://opus2015.com.mx/opus-2018.html>

<sup>57</sup> Velázquez, Javier. (2016). *Del modelo BIM a los precios Unitarios*. Neodata. [Citado] 19.03.15 [En Línea] <https://neodata.mx/cursos/2016/10/28/archicad-neodata-open-bim>



Paso 1:

Se modela la construcción a analizar (Ver Fig. III-8), en este caso se trata de una casa habitación, aunque para la demostración se eligieron tres partidas a presupuestar.

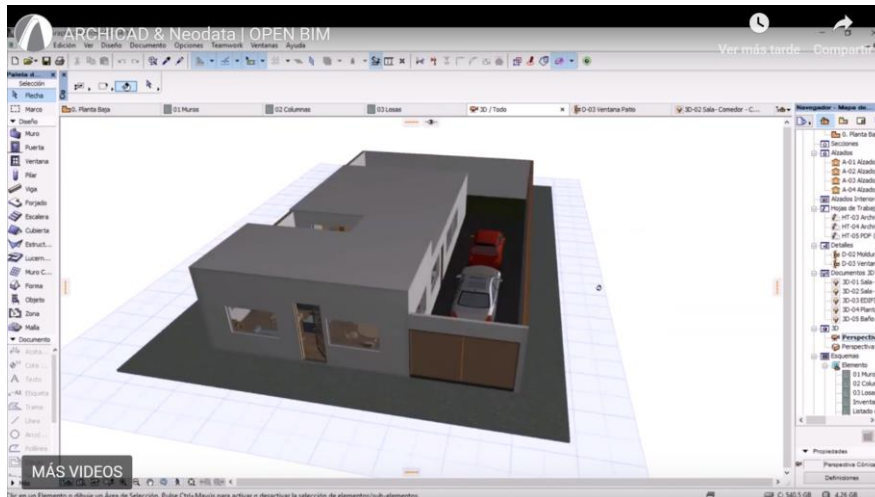


Figura III-8 Imagen de pantalla de modelo en ArchiCAD. (Neodata)

Paso 2:

Se realiza una verificación del modelo para asegurarse de que se están definiendo correctamente los elementos para las partidas del presupuesto que se van a analizar.

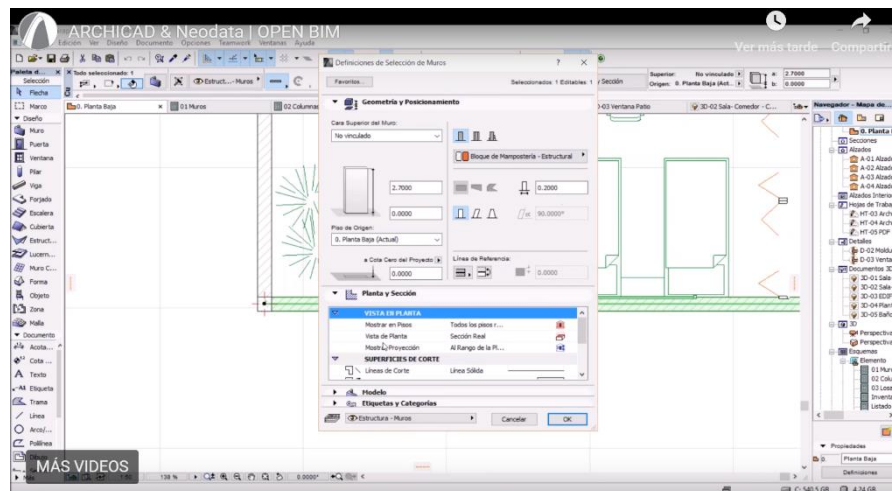


Figura III-9 Ejemplo de verificación del modelo. (Neodata)

Paso 3:

Se crean las tablas de cuantificación de ArchiCAD para los diferentes elementos que conformarán las partidas.

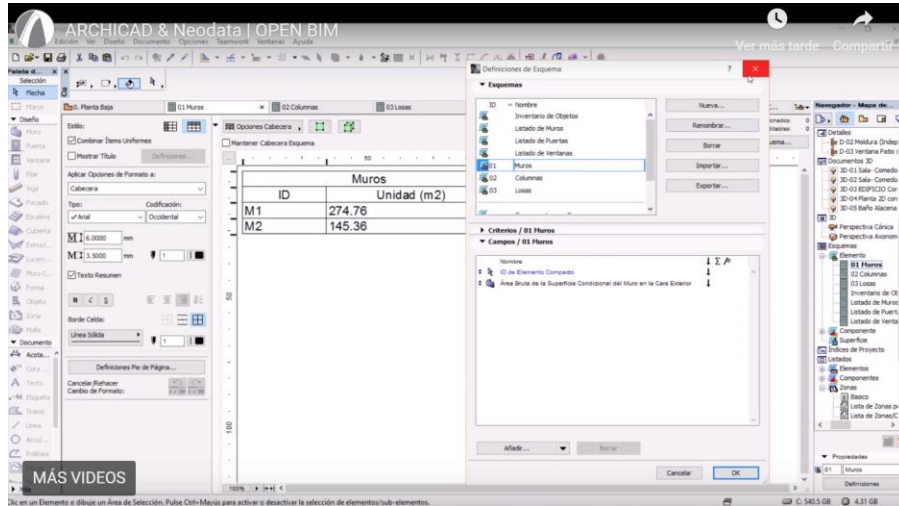


Figura III-10 Cuantificación automática por medio de tablas.

Paso 4:

Los datos de las tablas que se exporta a formato .txt, luego a Excel y posteriormente se pueden pegar en el software de precios unitarios Neodata.

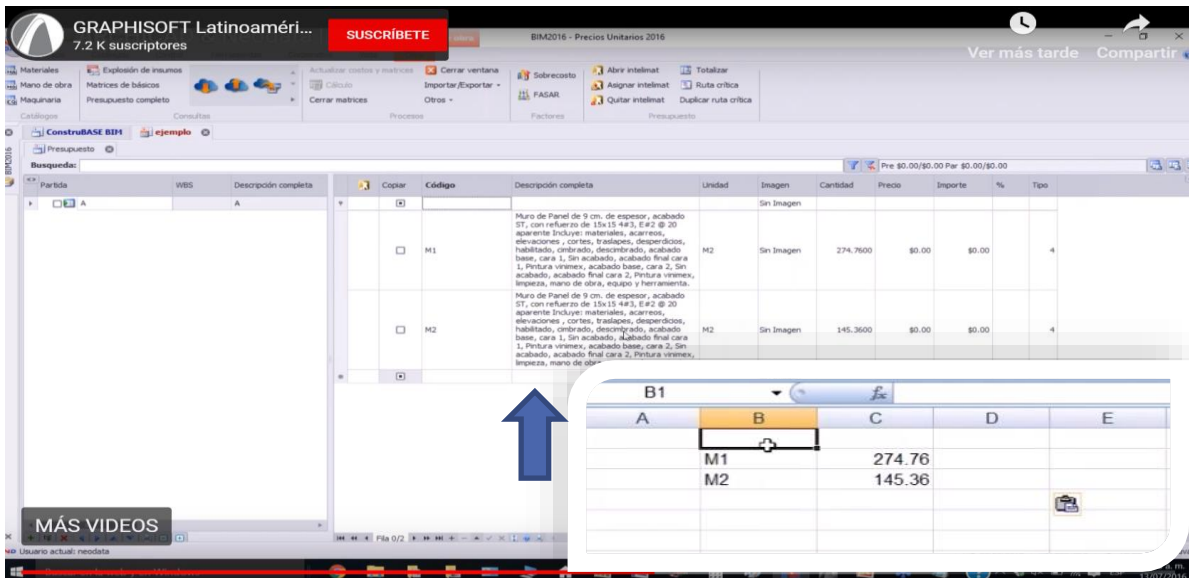


Figura III-11 Conexión entre el programa BIM y el de análisis de precios unitarios.



Paso 5:

Ya con las cantidades, se utilizan las capacidades del software y sus bases de datos para obtener el precio unitario de cada uno de los conceptos requeridos. Al sumar los importes, se obtiene el precio de la obra a precio unitario.

Pre \$271,660.73/\$271,660.73 Par \$178,636.75/\$178,636.75									
Copiar	Código	Descripción completa	Unidad	Imagen	Cantidad	Precio	Importe	%	
				Sin Imagen					
	04-0002	Muro de 14 cm. de espesor, de tabique rojo recocido, asentado con mezcla cemento arena 1:5 acabado común, incluye: materiales, mano de obra, equipo y herramienta.	M2	Sin Imagen	261.0220	\$294.35	\$76,831.83	28.2...	
	04-0320	Castillo de 15x15 cm. de concreto hecho en obra de Fc=200 kg/cm2, acabado aparente, armado con 4 varillas de 3/8" y estribos del No.2 a cada 20 cm, incluye: materiales, acarreo, cortes, desperdicios, armado, traslapes, amarres, cimbrado, coldado, descimbrado, mano de obra, equipo y herramienta.	M	Sin Imagen	55.2368	\$193.36	\$10,680.59	3.93 %	
	04-0321	Castillo de 15x20 cm. de concreto hecho en obra de Fc=200 kg/cm2, acabado común, armado con 4 varillas de 3/8" y estribos del No.2 a cada 20 cm, incluye: materiales, acarreo, cortes, desperdicios, armado, traslapes, amarres, cimbrado, coldado, descimbrado, mano de obra, equipo y herramienta.	M	Sin Imagen	104.4088	\$221.37	\$23,112.98	8.51 %	
	04-0455	Aplanado acabado fino sobre muros, con mezcla cemento arena en proporción de 1:4, incluye: suministro de materiales, acarreo, andamios, limpieza, mano de obra, equipo y herramienta.	M2	Sin Imagen	274.7600	\$143.93	\$39,546.21	14.5...	
	04-0514	Aplanado en muros con mezcla yeso cemento, incluye: suministro de materiales, acarreo, andamios, limpieza, mano de obra, equipo y herramienta.	M2	Sin Imagen	274.7600	\$103.60	\$28,465.14	10.4...	
				Sin Imagen					

Figura III-12 Presupuesto con precios unitarios en Neodata.



### 3.3.2 Diferencias entre el flujo de trabajo con CAD y BIM.

El enfoque tradicional de diseño en dos dimensiones se realiza por medio de dibujos que son creados con líneas y arcos, representando objetos en planos de planta, elevaciones y detalles.<sup>58</sup> Los dibujos se pueden realizar a mano o con una computadora utilizando software tipo CAD (Computer Aided Design).

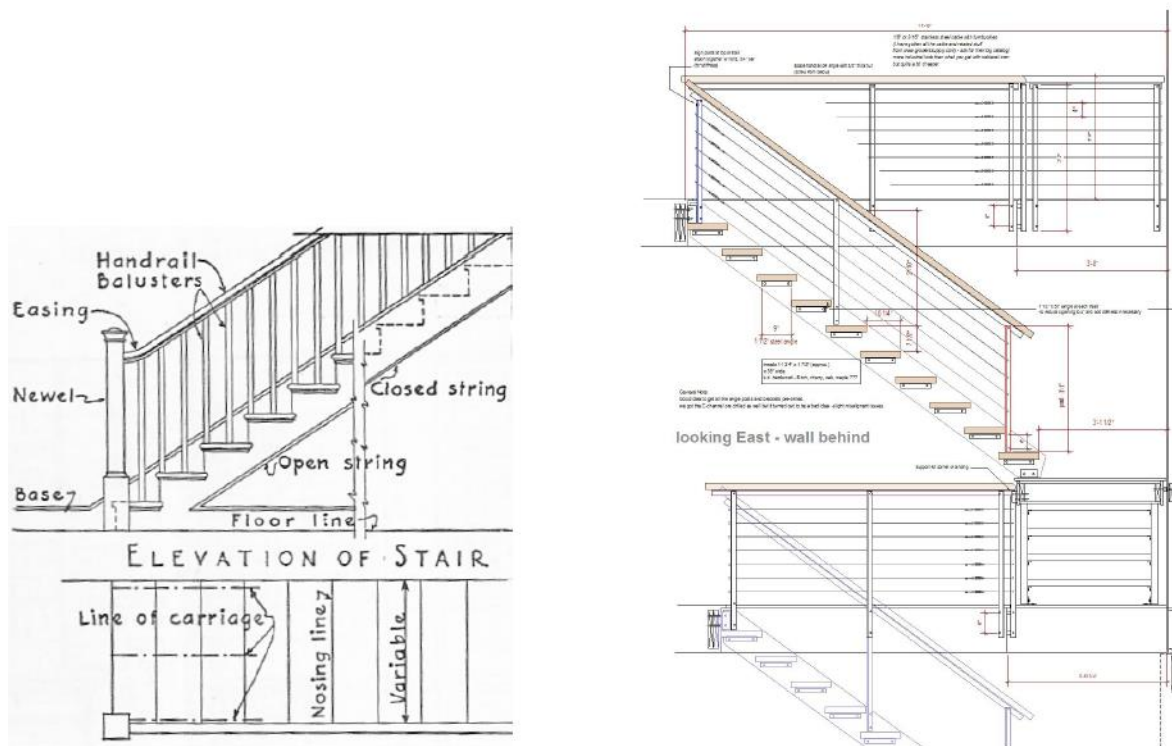


Figura III-13 Ejemplo de dibujo a mano alzada (izquierda) y de dibujo utilizando CAD (derecha).

La limitante de los programas basados en dibujos 2D es que los datos que tienen los objetos no se encuentran completos y, generalmente, solamente contiene información básica como su longitud y altura. Cabe mencionar que, el que se pueda crear elementos 3D en programas basados en 2D como AutoCAD, no quiere decir que estos elementos sean inteligentes, ya que son modelos sin información adjunta.

<sup>58</sup> Grabowski, Ralph. (2010). *A Report on Graphisoft ArchiCAD's DWG Workflow*. [Citado] el [En Línea] [https://info.allplan.com/hubfs/07\\_Guides/ALLPLAN\\_Whitepaper\\_Vorteile\\_3D\\_Planung\\_ing\\_EN.pdf?hsLang=de-de](https://info.allplan.com/hubfs/07_Guides/ALLPLAN_Whitepaper_Vorteile_3D_Planung_ing_EN.pdf?hsLang=de-de). upFront.



Cuando un edificio es diseñado en un programa basado en 3D, se busca que en un solo archivo se contenga toda la información conocida acerca de sus propiedades, tales como la conformación de su estructura, el cableado eléctrico y la cuantificación de materiales.

Ambos enfoques de diseño son diferentes y, aunque cada vez es más frecuente y con mejores prestaciones el software 3D/BIM, aún es más popular diseñar mediante 2D, principalmente debido a que el dibujo en 2D es más fácil de entender y comenzar a utilizar, así como a que el costo del software 3D/BIM es generalmente más elevado.

De acuerdo con BIM LEVEL 2<sup>59</sup>, utilizar puramente dibujos en 2D es trabajar en el nivel 0, utilizar el nivel 1 es trabajar con modelos 3D y con dibujos en 2D, mientras que el nivel 2 ya se piensa como un modelo colaborativo BIM, con requerimientos principales como la preparación de modelos estructurados que incluyen datos tanto geométricos como no gráficos y que pueden ser intercambiados entre plataformas. Este nivel de madurez es el que está siendo requerido en países como Reino Unido para proyectos públicos.

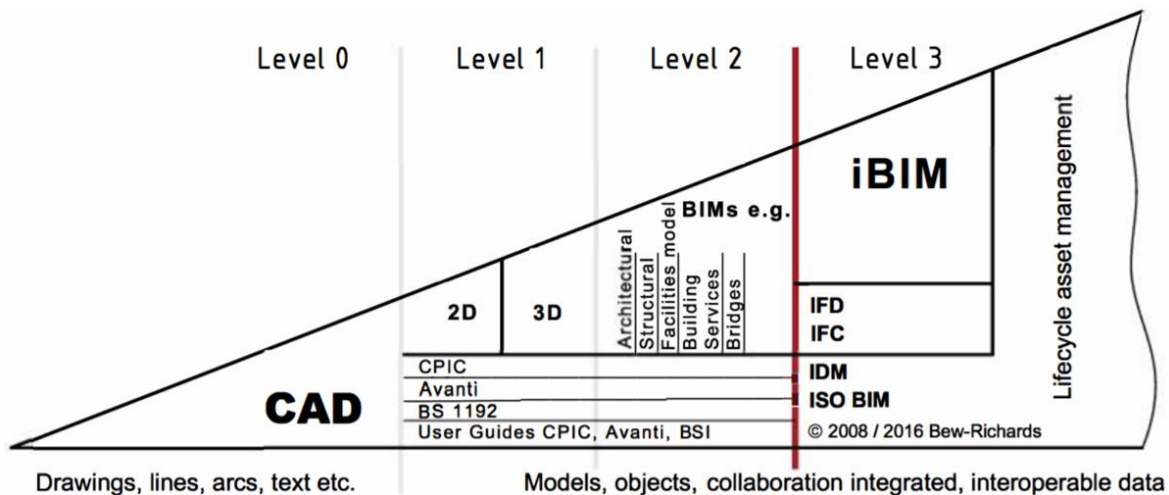


Figura III-14 Modelo de madurez de Bew-Richards.

<sup>59</sup> About BIM Level 2. *Bew-Richards maturity model*. [Citado] 19.05.12 [En Línea] <https://bim-level2.org/en/about/>



Los requerimientos principales de este nivel de madurez incluyen tener archivos en PDF de dos dimensiones que sean extraídos de los modelos, tener los modelos tridimensionales individuales en formatos nativos y manejar un estándar de intercambio de información. Con ello el objetivo es la reducción de costos frente a la forma tradicional de realizar los proyectos.

En la figura III-15 se muestra una comparación entre la forma tradicional y la forma utilizando modelos 3D/BIM de obtener una estimación de los costos del proyecto.

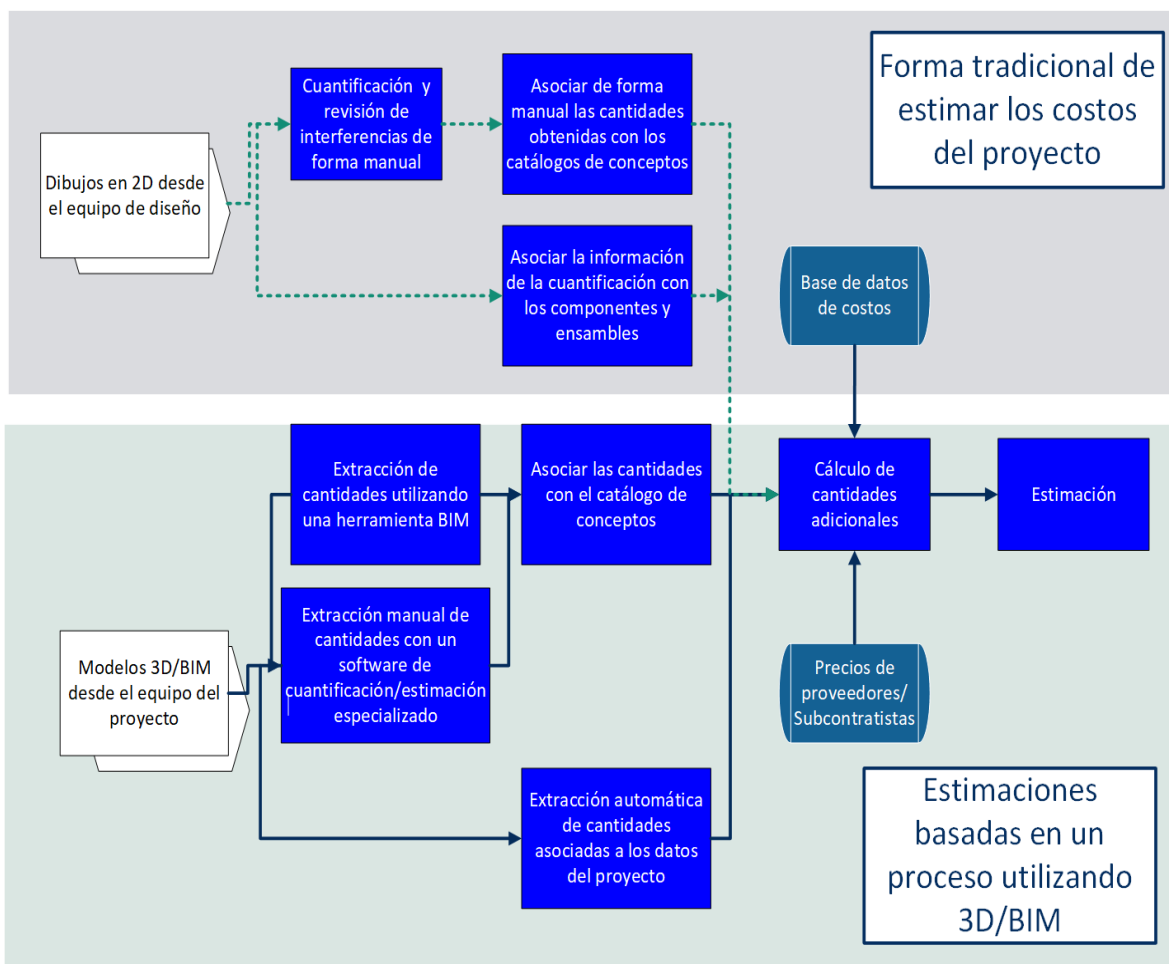


Figura III-15 Diferencias entre el flujo de trabajo tradicional y el flujo de trabajo con BIM.<sup>54</sup>



## IV. CASOS DE ESTUDIO

*“Cuando el objetivo te parezca difícil, no cambies de objetivo; busca un nuevo camino para llegar a él” - Confucio*

### 4.1 El Tren México-Toluca

#### 4.1.1 Antecedentes

El Tren Interurbano México-Toluca (TIMT), es un proyecto impulsado en el 2012 por el Ejecutivo Federal cuyo propósito es el de mejorar la movilidad urbana entre Toluca y la Ciudad de México (Fig. IV-1).



Figura IV-1 Localización de la línea. Error! Bookmark not defined.

El municipio de Toluca se localiza en la zona central

del Estado de México, algunos municipios colindantes son, al sureste Metepec, al este Lerma y San Mateo Atenco y al oeste Zinacantepec. El municipio se localiza a 72 kilómetros de distancia de la Ciudad de México.

De acuerdo con datos de la SEDESOL, de 1980 al 2010, la población en el área metropolitana de la Ciudad de México creció aproximadamente 1.41 veces y la superficie ocupada 3.57 veces. Por otro lado, la población de Toluca se incrementó en 3.25 veces y la superficie ocupada en 26.28 veces. La cercanía entre ambos desarrollos metropolitanos ha generado su conurbación y que cada día miles de personas se trasladen para llegar a su trabajo o vivienda. En el estudio análisis beneficio para el proyecto, la SENER<sup>60</sup> determinó que un viaje que inicia en el Municipio de Zinacantepec al poniente de Toluca y cuyo destino final es el Anillo Periférico de la Ciudad de México, se realiza en no menos de 130 minutos.

<sup>60</sup> Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Secretaría de Energía. (2013). *Análisis Costo-Beneficio Proyecto “Construir el Tren Interurbano México Toluca 1era Etapa”*. México.





La solución que se propuso fue un servicio de transporte masivo de tipo ferroviario regional, cuyo trazo planeado para la línea fue de una longitud de 57.7 Km, con 6 estaciones (4 intermedias y 2 terminales)<sup>61</sup>. Las características principales del proyecto se pueden apreciar en la Figura IV-2.

Ficha Técnica	
Longitud:	58 km (4.7 km de túnel)
Estaciones:	6 (2 terminales y 4 intermedias)
Equipo:	30 trenes de 5 vagones, fabricante CAF.
Velocidad:	Max 160 km/h
Tiempo de Recorrido:	39 minutos
Aforo:	230 mil pasajeros por día

Figura IV-2 Características principales (SCT).<sup>61</sup>

Las estaciones que componen al proyecto se listan a continuación y se pueden apreciar, junto con el trazo del tren, en la figura IV-3.

- 1) Estación terminal – Zinacantepec;
- 2) Estación intermedia – Pino Suárez (Terminal de autobuses);
- 3) Estación intermedia – Tecnológico (Metepec);
- 4) Estación intermedia – Lerma;
- 5) Estación intermedia – Santa Fe;
- 6) Estación Terminal – Observatorio



Figura IV-3 Ruta del TIMT (SCT).<sup>61</sup>

Originalmente el proyecto tuvo un presupuesto dividido en 4 años de 38 mil millones de pesos e inició su construcción en junio de 2014. Algunos de los beneficios buscados con la realización del TIMT son el reordenamiento vehicular en la zona, la disminución de contaminantes, el incremento de la seguridad en el traslado, la generación de empleo y, finalmente, el incremento en la calidad de vida de los ciudadanos.

<sup>61</sup> Secretaría de Comunicaciones y transporte. *Tren Interurbano México-Toluca*. [Citado 18-06-19] [En Línea] <http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/transporte-ferroviario-y-multimodal/tren-interurbano-mexico-toluca>.



#### 4.1.2 Descripción del proyecto

El proyecto ejecutivo de la obra se dividió en los siguientes tramos: Tramo I, que comprende un viaducto elevado de 36.15 kilómetros con inicio en el km 0+000, en Zinacantepec y terminación en el kilómetro 36+150, en el Estado de México; el tramo II, que consiste en un túnel que comprende 4,634 kilómetros de longitud, iniciando en el kilómetro 036+150.00 y terminando en el kilómetro 040+784, en la Ciudad de México; el tramo III, el cual comprende un viaducto elevado de 16,935 kilómetros de longitud iniciando a la salida del túnel del tramo III y que va hasta la estación del metro Observatorio en la Ciudad de México; el tramo IV, que es el relacionado a los trabajos para el material rodante; y el denominado tramo V, el cual comprende la construcción de los talleres y cocheras.<sup>62</sup> De estos tramos, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) es la responsable de los tramos I y II, mientras que en el tramo III existe un convenio con la Secretaría de Obras y Servicios de la Ciudad de México (SOBSE CDMX).

La subsecretaría de la SCT encargada del proyecto es la Dirección General de Desarrollo Ferroviario y Multimodal (DGDFM). La empresa a la que se le adjudicó el anteproyecto ejecutivo se trató de SENERMEX, una empresa de ingeniería de la Secretaría de Energía. En la figura IV-4 se puede apreciar un diagrama con las principales contratistas por tramo.<sup>63</sup>

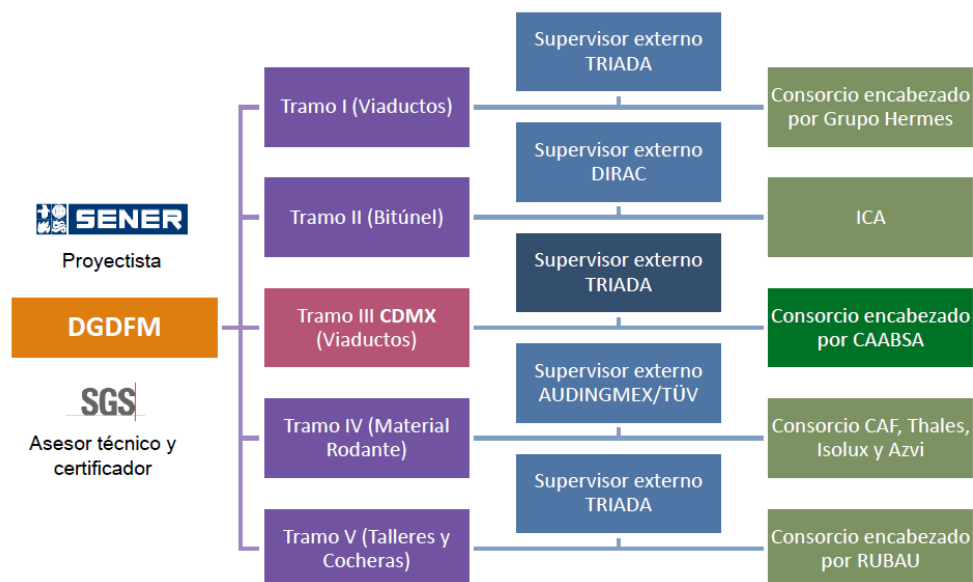


Figura IV-4 Principales contratistas para el TIMT.<sup>63</sup>

<sup>62</sup> Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2018). *Tren Interurbano México-Toluca Primera Etapa, Libro Blanco*. [En Línea] [http://www.sct.gob.mx/fileadmin/Transparencia/rendicion-de-cuentas/LB/20\\_LB.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/Transparencia/rendicion-de-cuentas/LB/20_LB.pdf)

<sup>63</sup> Secretaría de Comunicaciones y Transporte. (2018) *Presentación para el Tren Interurbano México-Toluca*. Subsecretaría de transporte. [Citado] 18.09.10 [En Línea] <https://www.gob.mx/sct>



A continuación, se incluye una breve descripción de las características por tramo:

### TRAMO I

Este tramo corresponde a la porción “Zinacatepec-Marquesa”, fue adjudicado en mayo del 2014 a la empresa denominada La Peninsular Compañía Constructora (Grupo Hermes), en participación conjunta con la empresa Constructora de Proyectos Viales de México (Grupo OHL). El tramo tiene una longitud de aproximadamente 36.15 km y se encuentra conformado por 5 viaductos elevados, 4 estaciones y 5 tramos a nivel, como se muestra en la Fig. IV-5.

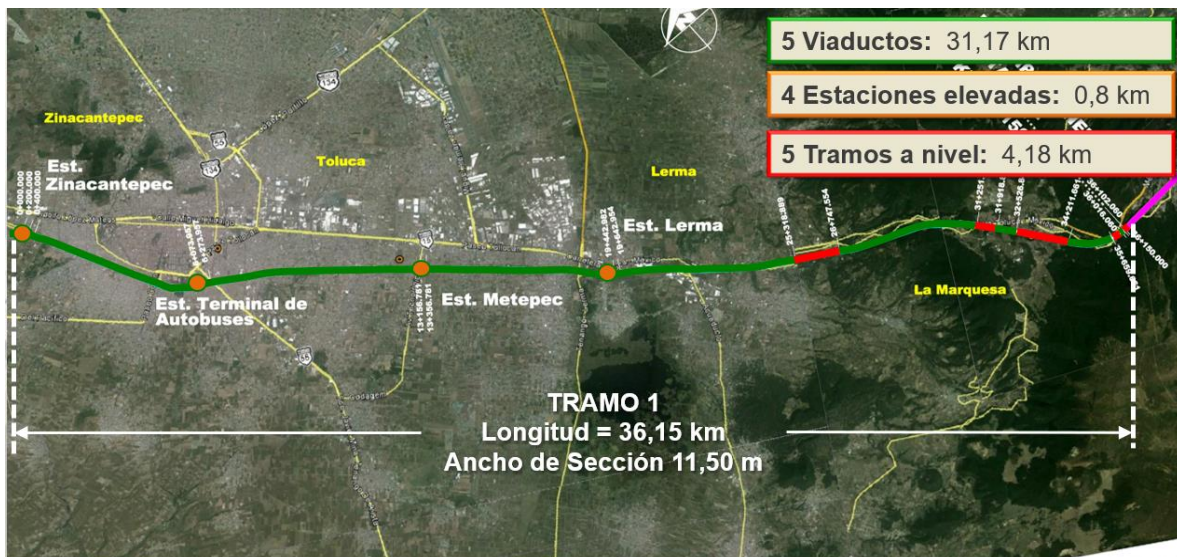


Figura IV-5 Características principales del Tramo 1(SCT)

La longitud de los viaductos elevados es de 31.17 km, siendo el viaducto 1 el más largo y el que transcurre en zona urbana de este tramo. El tramo general tiene las siguientes características (Ver Fig.IV-6)<sup>64</sup>:

- Altura máxima: Varía dependiendo de la topografía del terreno, las columnas van desde 10 m hasta los 74 metros.
- Superestructura: Trabes de concreto.
- Subestructura: Columnas.
- Infraestructura: Pilas de concreto.
- Sistema constructivo: Columnas coladas en sitio; trabes prefabricadas y montadas con grúa.

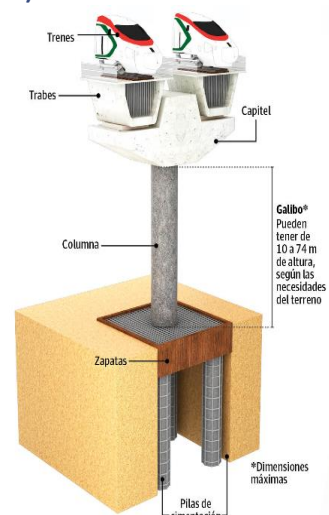


Figura IV-6 Ejemplo sistema constructivo.

<sup>64</sup> Lagos, Francisco. (2016). *Infografía del Tren Interurbano México-Toluca*. La Razón de México [Citado] 19.02.15 [En Línea] <http://visualoop.com/infographics/train-intercity-mexico-toluca>



## TRAMO II BI-TÚNEL

El tramo II del proyecto es el Bi-túnel de 4.6 km de longitud que une al Estado de México con la Ciudad de México. Esta parte se encuentra desarrollada por la SCT, siendo ICA la contratista. La construcción de este túnel representó grandes retos técnicos debido a las condiciones geológicas e hidrológicas del tramo y a los potenciales riesgos geotécnicos identificados.<sup>65</sup> Para la excavación y construcción del bitúnel se utilizaron dos tuneladoras



Figura IV-8 Fotografía del bi-túnel.<sup>65</sup>

especiales marca Herrenknecht tipo Earth Pressure Balanced Multimode TBM (Tunneling Boring Machine), con un diámetro exterior de 8.56 metros y uno interior de 7.50 metros. El funcionamiento de la tuneladora para la excavación se aprecia en la Figura IV-7.

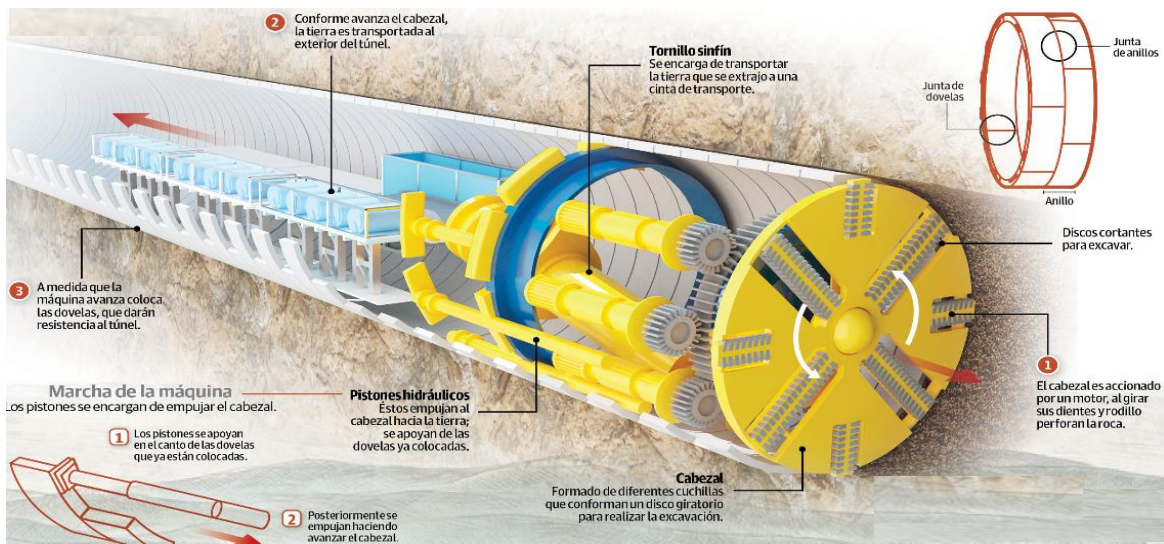


Figura IV-7 Ejemplo del funcionamiento de la tuneladora.<sup>64</sup>

El método de construcción del túnel tipo Bi-tubo es a través de la colocación de un anillo de siete dovelas colocadas durante el avance de la máquina tuneladora. El proceso de construcción del túnel a base de dovelas permite trabajar una vez que ha pasado la máquina tuneladora, ya que esta es la misma que coloca las dovelas en su posición dejando el armado listo y con el túnel en las condiciones para colocar el resto de la infraestructura necesaria.

<sup>65</sup> Alfadiario. (2018). *Concluye perforación bitúnel*. [En Línea] <http://www.alfadiario.com.mx/articulo/2018-06-27/1023421/concluye-perforacion-bitunel-del-tren-interurbano>



### TRAMO III BI-TÚNEL A OBSERVATORIO

El tercer tramo constructivo corresponde a los 17 kilómetros de longitud que van desde la salida del Bi-túnel hasta la estación Observatorio en la Ciudad de México. Este tramo consta de aproximadamente 10.35 km de viaducto elevado, 5.6 km de viaducto doble (férreo y vehicular), 0.1 km de túnel falso y 2 estaciones elevadas.



Figura IV-9 Localización del tercer tramo para el TIMT.<sup>66</sup>

Las estaciones son Santa Fe (Fig. IV-10), compuesta por andenes, edificios, pasarelas y vialidades internas, y la estación terminal Observatorio, la cual contará con tres andenes y cuya función es acoger los flujos peatonales de los sistemas de transporte que convergerán en este punto.



Figura IV-10 Columnas principales para la estación Santa Fe.<sup>66</sup>

Para este tramo la SCT realizó un convenio marco de coordinación de acciones con la SOBSE de la Ciudad de México. La SCT es responsable de la liberación de los derechos de vía y de ciertos frentes de trabajo en el tramo, mientras que la SOBSE<sup>66</sup> lo es del resto de trabajos.

El consorcio encabezado por CAABSA Constructora S.A. de C.V. fue el ganador de la licitación pública promovida por el Gobierno de la Ciudad de México para la construcción, mientras que para los frentes (secciones) 1, 2, 4, 5, 7 y 9, la responsable es la DGDFM.

Para la realización de este tramo se optó por utilizar la tecnología BIM, con el objetivo de detectar y mitigar riesgos en el sitio de construcción.

<sup>66</sup> Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno de la Ciudad de México (SOBSE). Tren Interurbano México-Toluca. [Citado] 19.03.18 [ En Línea] <https://www.obras.cdmx.gob.mx/proyectos/TrenTramoCDMX>



## TRAMO IV: SUMINISTROS

De acuerdo con el Libro Blanco del Tren Interurbano México Toluca, publicado en el año 2018 por la SCT, El 16 de julio de 2014, la DGDFM inició el procedimiento de licitación pública internacional para la contratación de una obra consistente en el suministro, instalación y puesta en marcha del material rodante, sistemas ferroviarios (Ver Fig.12)<sup>67</sup>, sistemas de comunicaciones, boletaje, centro de control, sistemas electromecánicos del túnel y del viaducto, vía, sistemas de energía y construcción de dos subestaciones de tracción 25 kV y edificios técnicos en línea del TIMT, en el que participaron 3 empresas adjudicando el contrato a Construcciones y Auxiliar de Ferrocarriles, S.A., en propuesta conjunta con CAF México, S.A. de C.V., Construcciones Ferroviarias y Subsistemas, S.A. de C.V., CAF Signalling, S.L.U., Thales México, S.A. de C.V., Thales España GRP, S.A.U., CORSAN-CORVIAN Construcción, S.A., Isolux de México, S.A. de C.V., Isolux Ingeniería, S.A., y Construcciones Urales, S.A. de C.V.

  **PROYECTO PARA EL TREN INTERURBANO MEXICO - TOLUCA** 

### Sistemas ferroviarios

Material móvil

- 30 unidades de 5 coches
- Composición: Mc-M-M-M-Mc
- Longitud: 98.978 m
- Número plazas: 711
- Velocidad Máxima: 160 Km/h
- Equipamiento:
  - ✓ Climatización pasajeros
  - ✓ Equipo de Video vigilancia (CCTV) (cámaras frontales y retrovisoras)
  - ✓ Sistema de Información al Viajero, displays interiores e indicador de destino frontal
  - ✓ Espacio disponible para dos sillas de ruedas
  - ✓ Comunicación con tierra mediante red inalámbrica de banda ancha
  - ✓ Radio GSM-R
  - ✓ ERTMS Nivel 2
  - ✓ Sistema de detección de incendios

©SENER Grupo de Ingeniería, S.A. - Getxo 2016



**Figura IV-11 Características principales del sistema ferroviario para el TIMT (SCT,SENER). <sup>67</sup>**

<sup>67</sup> Presentación de la Secretaría de Energía. (2016). *Proyecto para el Tren Interurbano México-Toluca*. [Citado] 19.03.15 [En Línea] [www.ingenieriaconstruccion.sener](http://www.ingenieriaconstruccion.sener)



## TRAMO V: TALLERES Y COCHERAS

El tramo V se sitúa en Zocatepec, ocupa un área de aproximadamente 22 hectáreas y se compone de talleres, las cocheras del TIMT, edificio administrativo, edificios auxiliares, instalaciones fijas y equipamiento general de cada taller, así como de vehículos auxiliares de vía, áreas de estacionamiento, jardines y urbanización en general. Este complejo se compone de 15 edificios, ocupando un conjunto de 60,500 m<sup>2</sup> construidos.<sup>68</sup>

La empresa adjudicataria de estas obras con un contrato a precio unitario y por un tiempo determinado, fue Rubau México S. de R.L. de C.V., en participación conjunta con Construcciones Rubau, S.A., CIACSA, S.A. de C.V., MM-MEX, S.A. de C.V., SAMPOL Ingenierías y Obras México, S.A. de C.V., y Grupo Electro Costa, S.A. de C.V.

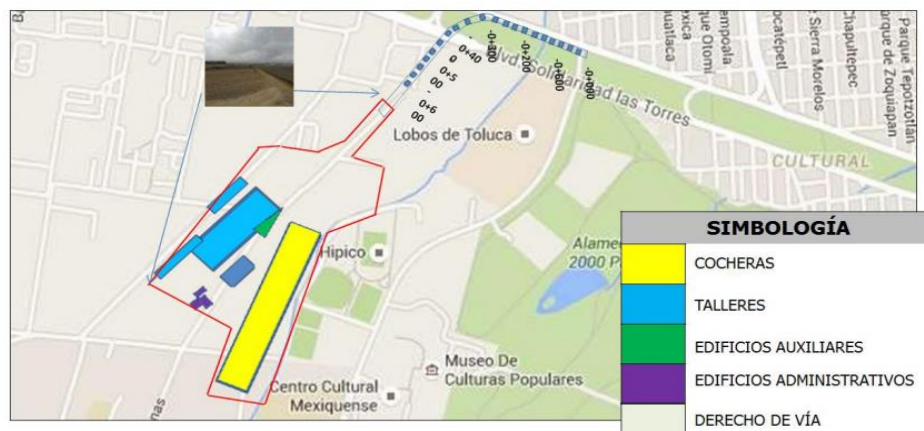


Figura IV-13 Distribución del predio para talleres y cocheras.



Figura IV-12 Fotografía de los Tableres y Cocheras para el TIMT.

<sup>68</sup> Secretaría de Energía. (2018). *Talleres y Cocheras del Tren Interurbano Valle de México – Toluca*. [Citado] 18.12.05 [En Línea] <http://www.infraestructurasytransporte.sener/proyecto/talleres-y-cocheras-del-tren-interurbano-valle-de-mexico-toluca>



### 4.1.3 Uso de BIM para el TIMT

Para el TIMT, se reporta la utilización de BIM principalmente para el Tramo III, aunque también se encuentra dentro de los alcances de la SENER para el tramo V de talleres y cocheras. Los alcances que reporta la SENER<sup>68</sup> para el tramo V incluyen el diseño arquitectónico, el proyecto ejecutivo-constructivo de todas las disciplinas de la obra, la supervisión de obra, la implementación, seguimiento y control del Sistema Informático BIM y la gestión de documentos y control de cambios.

En cuanto al tramo III, en noviembre de 2015 la SOBSE, de la Ciudad de México, publicó una convocatoria al procedimiento de licitación pública nacional 909005989-DGOP-F-011-15 909005989-DGOP-F-011-15 “Servicios relacionados con la Obra Pública para el apoyo técnico y administrativo a las áreas responsables de la ejecución de los trabajos de la construcción y obras complementarias del tramo 3 para el viaducto elevado del tren interurbano Toluca - Valle de México”. Dentro de los apoyos técnicos requeridos por la dependencia se encuentran los siguientes:

- Apoyos Generales a las Áreas responsables de la Ejecución de las Obras.
- Apoyo Técnico Administrativo de ingeniería geodésica.
- Apoyo Técnico Administrativo para el control de BIM (Building Information Modeling) (Modelado de Información para la Construcción).

Luego de realizado el procedimiento de licitación, las empresas ganadoras del contrato fueron Supervisión Digital, Sanjer, Sediaki y el Consorcio IUYET (Fig. IV-14)<sup>69</sup>.

Unidad Administrativa:	DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS PÚBLICAS
Área Operativa	DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS CONCESIONADAS
Contrato No.	DGOP-LPN-F-5-056-15
Importe del Contrato	\$252'188,290.70
I. V. A. ( 16 % )	\$40'350,126.51
Importe Total	\$292'538,417.21
Oficio de Suficiencia Presupuestal:	SOBSE/DGA/DRFM/2869/2015
Fecha de inicio:	17 DE DICIEMBRE DE 2015
Fecha de terminación:	31 DE DICIEMBRE DE 2017
Contratistas:	SUPERVISIÓN DIGITAL, S.A. DE C.V., EN PARTICIPACIÓN CONJUNTA CON PROYECTO Y DISEÑO SANJER, S.A. DE C.V., DISTRIBUIDORA SEDIKAI, S.A. DE C.V. Y CONSORCIO IUYET, S.A. DE C.V.

Figura IV-14 Extracto de convocatoria con el monto y empresa adjudicataria de los trabajos.

<sup>69</sup> Gobierno de la Ciudad de México. (2015). *Contrato de Servicios Relacionados con la Obra Pública DGOP-LPN-F-5-056-15*. Dirección general de obras públicas.





En la Figura IV-15 se muestra el extracto del contrato mencionado anteriormente. En esta se describen las actividades a realizar por empresa, siendo el CONSORCIO IUYET S.A. DE C.V., el elegido para el apoyo técnico en ingeniería geodésica y en el control de obra en ambiente BIM.

**SUPERVISIÓN DIGITAL, S.A. DE C.V.**, se obliga a planear, desarrollar, dirigir, aportar todos los profesionales técnicos y administrativos, incluyendo al superintendente y a su grupo de trabajo, (excepto los profesionales técnicos de la empresa "CONSORCIO IUYET, S.A. DE C.V."), el equipo de trabajo de "SUPERVISIÓN DIGITAL, S.A. DE C.V." se encargará de la dirección y ejecución de los servicios y presentar las estimaciones a cobro con toda la documentación soporte, así como cualquier otro requerimiento que le establezca la Dirección General de Obras Públicas y Dirección General de Obras Concesionadas cuya dotación esté relacionada con los alcances pactados con la Convocatoria.

**PROYECTO Y DISEÑO SANJER, S.A. DE C.V.**, se obliga al desarrollo de logística y asesorías técnicas relacionadas con los alcances establecidos en la convocatoria.

**DISTRIBUIDORA SEDIKAI, S.A. DE C.V.**, se obliga a la contratación, pago, liquidación, finiquito, todo lo relacionado con la carga social, carga fiscal, demandas laborales y cualesquiera tema de relaciones laborales, recursos humanos, administración de personal y todos sus trascendentales legales correspondientes, relacionadas con los alcances pactados en la convocatoria, excepto los de la empresa "CONSORCIO IUYET, S.A. DE C.V."




**CONSORCIO IUYET, S.A. DE C.V.**, se obliga a llevar a cabo todos los trabajos correspondientes a **ORTOFOTO, GEODESIA, BIM, CONTROL DE OBRA EN AMBIENTE BIM**, y demás trabajos relacionados con los alcances de "BIM", establecidos en la convocatoria; también obligándose con todo su personal relacionado a los trabajos referentes de BIM que serán ejecutados por la empresa "CONSORCIO IUYET, S.A. DE C.V." a su contratación, pago, liquidación, finiquito, todo lo relacionado con la carga fiscal, demandas laborales y cualesquiera tema de relaciones laborales, recursos humanos, administración de personal y todos sus trascendentales legales correspondientes, relacionadas con los alcances pactados en la convocatoria.

Figura IV-15 Extracto de convocatoria con los trabajos correspondientes a IUYET.

El monto del contrato para la asesoría técnica asciende a los \$252,188,290.70 pesos más I.V.A, aunque no se encuentra desglosada la cantidad asignada a IUYET para la implementación BIM. El contrato es a precio unitario y por tiempo determinado.

**SEGUNDA.- Monto del Contrato:**

De conformidad a lo señalado en el artículo 45 último párrafo de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas, se indica que el monto del presente Contrato de Servicios Relacionados con la Obra Pública asciende a la cantidad de **\$252'188,290.70 (Doscientos cincuenta y dos millones ciento ochenta y ocho mil doscientos noventa pesos 70/100 M.N.)**, correspondiente al importe de los servicios, más la cantidad de **\$40'350,126.51 (Cuarenta millones trescientos cincuenta mil ciento veintiséis pesos 51/100 M.N.)** que corresponde al Impuesto al Valor Agregado; por lo tanto, el importe total del contrato es de **\$292,538,417.21 (Doscientos**

**CONTRATO DE SERVICIOS A BASE DE PRECIOS UNITARIOS  
Y TIEMPO DETERMINADO**  
No. DGOP-LPN-F-5-056-15  
Página 11 de 29

Secretaría de Obras y Servicios  
Dirección General de Obras Públicas  
Dirección de Procedimientos de Licitación de Obras Públicas  
Subdirección de Concursos y Contratos de Obras Públicas

Figura IV-16 Extracto con el tipo y monto del contrato.



De acuerdo a declaraciones realizadas por el consorcio IUYET<sup>70</sup>, se utilizó la plataforma de Autodesk para el control de obra en el tramo III del TIMT. Para la captura de la situación se utilizaron escaneos laser y levantamiento mediante drones, ReCap para procesar las nubes de puntos obtenidas; utilizaron AutoCAD para recibir información de clientes y de otras empresas; Revit para el diseño y modelado del proyecto; InfraWorks para el diseño conceptual y visualización del proyecto; Navisworks para la revisión de interferencias e integración de especialidades; 3dsMax para renders y animaciones y A360 como visualizador, entre otras herramientas.

Esta declaración coincide con los esfuerzos realizados por Autodesk para mejorar el uso de la plataforma BIM en proyectos de infraestructura. Para lograrlo, una de las apuestas de la empresa es integrarlo en las diferentes fases del proyecto, la visión general del proceso para lograrlo se ilustra en la Figura IV-17.



**Figura IV-17 Proceso propuesto por Autodesk para proyectos ferroviarios con BIM<sup>71</sup>.**

Modelar las condiciones del sitio es una de las primeras tareas para poder planear correctamente el proyecto, con ello se persiguen los siguientes objetivos:

1. Tener modeladas las condiciones existentes del terreno.
2. Realizar una integración con los Sistemas de Información Geográfica (GIS).
3. Poder buscar los criterios de sustentabilidad y analizar alternativas para el proyecto.
4. Programar la utilización de los terrenos para la obra.

<sup>70</sup> Instituto Nacional del Emprendedor. (2018). Explotando al máximo la tecnología en la construcción. [Citado]19.02.16. [En Línea] <https://www.inadem.gob.mx/explotando-al-maximo-la-tecnologia-en-la-construccion/>

<sup>71</sup> Assali, Mohammad. *Rail: From PLanning and Concept to Detailed Design*. Material para conferencia. [Citado] 18.06.19 [En Línea] <https://www.autodesk.com/autodesk-university/>



Para el caso del tramo III del TIMT, la empresa IUYET, a diferencia de los otros tramos en los que se utilizó levantamiento topográfico convencional mediante estación total y GPS, y como lo pidió la convocatoria correspondiente, realizó un levantamiento topográfico de alta resolución (HDS), con el que se capturan datos 3D con precisión milimétrica y que permite trabajar en un ambiente digital. Fue mediante escáner laser y levantamiento con drones (Ver Fig. IV-18), que lograron obtener el levantamiento completo del sitio, lo que les ayudó a evitar problemas como perforar tomas de agua existentes, lo cual habría dejado a miles de personas en la Ciudad de México sin agua en lo que se reparaban los daños. Para procesar las nubes de puntos obtenidas se utilizó ReCap, y posteriormente esta fue la información utilizada para iniciar con el diseño de la vía.



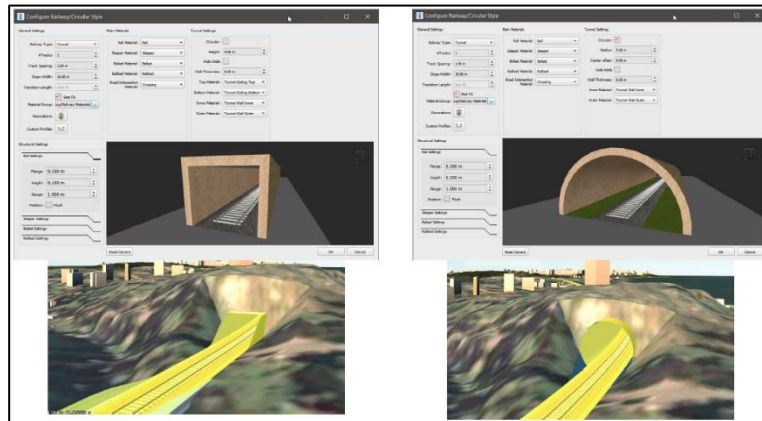
**Figura IV-18 Escáner utilizado por IUYET para modelar el terreno.<sup>66</sup>**



**Figura IV-19 Nube de puntos obtenida al escanear el tramo en cuestión.<sup>66</sup>**



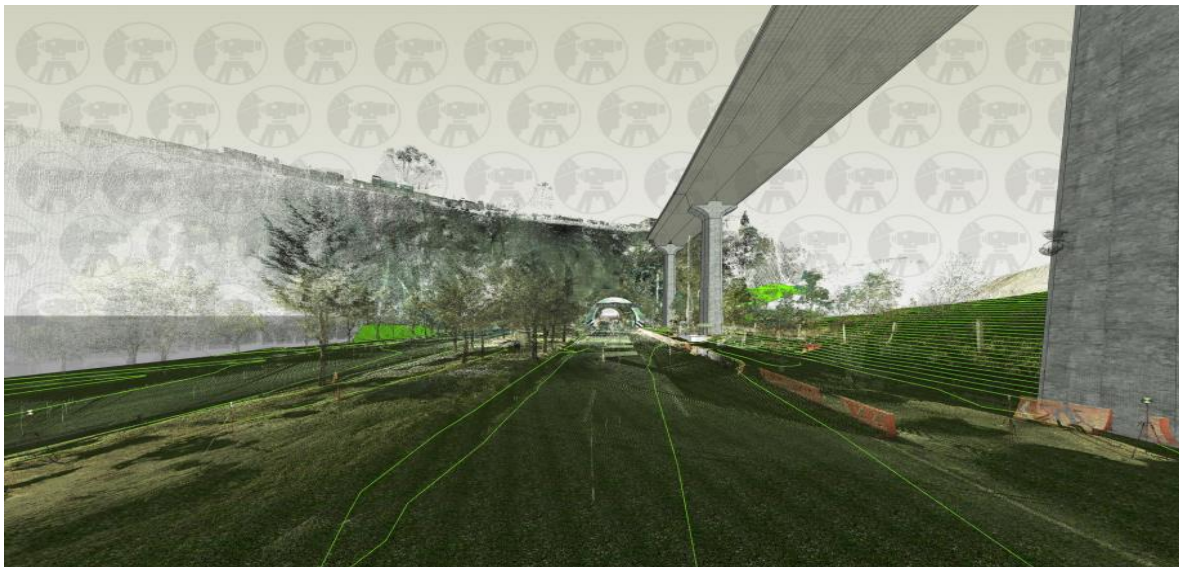
Con el objetivo de realizar el diseño conceptual del proyecto, una vez que se tiene el levantamiento topográfico y la información ha sido analizada, ésta se puede utilizar en un programa como Infracworks con el propósito de empezar con el modelado y análisis de soluciones a los problemas de diseño. Un ejemplo del tipo de



**Figura IV-20 Ejemplo de ventajas en la toma de decisiones con Infracworks.<sup>71</sup>**

decisiones que se pueden tomar mediante este proceso se puede observar en la Fig. IV-20 de Autodesk, en la que se aprecian dos alternativas para tomar la decisión de la geometría de un túnel.

Para obtener un diseño conceptual más detallado, puede haber colaboración con programas como Civil 3D, al que se importan datos de Infracworks para diversas actividades tales como el diseño de los alineamientos, cuantificaciones iniciales y análisis de alternativas. La Figura IV-21 corresponde a una imagen publicada por IUYET, en la que se aprecia que se está diseñando sobre las condiciones existentes capturadas.



**Figura IV-21 Imagen de referencia de IUYET para ilustrar el diseño de la infraestructura a partir del modelo de condiciones existentes.<sup>72</sup>**

<sup>72</sup> Consorcio IUYET. *Tren Interurbano México-Toluca*. Coordinación y supervisión de ingeniería. [Citado] 19.03.15 [En Línea] <http://www.iuyet.mx/proyecto/tren-interurbano-m%C3%A9xico-toluca/129>

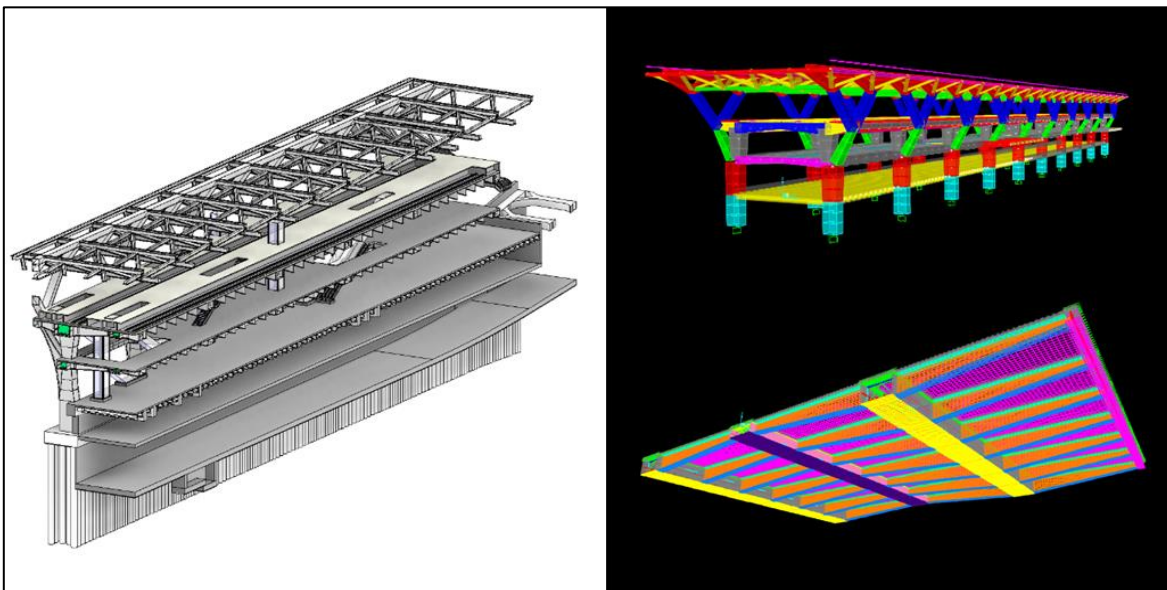


Ya con un diseño conceptual y básico se puede proceder al detalle, esto se logra mediante la utilización de programas como Civil 3D, Revit y de análisis. Algunas de las tareas que se pueden realizar son las siguientes:

1. Diseño de puentes y viaductos elevados.
2. Cálculo de pendientes.
3. Diseño de los rieles de la vía.
4. Modelado de los terraplenes.
5. Modelado de corredores viales.
6. Cuantificación del volumen de movimiento de tierras.
7. Obtención de la documentación para la construcción.

Para el modelado en esta etapa, una opción es utilizar un programa de diseño como Revit, como se hizo para el TIMT con el objetivo de modelar a detalle las estaciones del tren, así como las estructuras del proyecto. También, mediante su integración con otros programas, se puede realizar el análisis estructural de los edificios que componen el proyecto.

Un ejemplo se muestra en la Figura IV-22<sup>73</sup>, en la se puede observar la estructura de la estación Observatorio (Revit) en la imagen de la izquierda y, a partir de ella, el modelo para el análisis estructural de la estación y su plataforma en las imágenes a la derecha.



**Figura IV-22 Ejemplo del modelado de la Estación Observatorio (Santiago Ferri).**

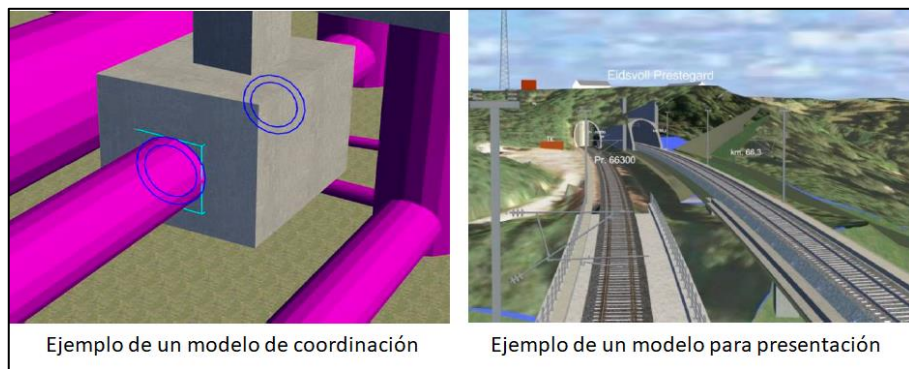
<sup>73</sup> Ferri, Santiago. *Diseño de estructura civil para Tren Interurbano México-Toluca*. [Citado] 19.04.15 [En Línea] <http://www.bimmaster.top/santiago-ferri/>



Con la finalidad de poder revisar el diseño y detectar las interferencias, se realiza un proceso de coordinación entre las diferentes disciplinas del proyecto. Uno de los más utilizados y, que se reporta, se utilizó para el caso del Tren México-Toluca es Navisworks.

Parte de lo que se realiza en esta etapa son reportes, se comentan los dibujos o modelos, revisando que sean aptos para realizar planos de taller o se determina si necesitan mejorar sus especificaciones o un modelado más detallado.

Existen diferentes tipos de modelos y niveles de detalle, dependiendo de los requerimientos para ellos, en la Figura IV-23 se pueden ver ejemplos de ellos. En el caso del TIMT, los niveles de detalle requeridos se encuentran especificados en la convocatoria (Ver anexo 1).



**Figura IV-23 El nivel de detalle será diferente dependiendo de los requerimientos (Autodesk).<sup>71</sup>**

Uno de los requerimientos para el tramo III, fue tener una visualización. Para lograr que se pudiera ver el proyecto se utilizaron herramientas como Infracore y 3Ds Max, esto permitió crear animaciones e imágenes de gran calidad que han servido para que la población tenga un mejor entendimiento del proyecto. Un ejemplo de ello es la Figura IV-24, que es una representación de la Estación Santa Fe.



**Figura IV-24 Render de la Estación Santa Fe (IUYET).<sup>72</sup>**



Gestión de la documentación:

Para poder revisar la documentación y mantenerla actualizada se utilizan diversas herramientas, tales como A360 y BIM360, que son formas de compartir y almacenar información en la nube, permitiendo así que sea posible ver y modificar información por parte del equipo de trabajo (Fig. IV-25).

## BIM360 – Common Data Environment

**COMMON DATA ENVIRONMENT**

Publicar

Compartir

Visualizar

Comentar

Gestión de la calidad

Control de la seguridad en obra

Supervisión

Coordinación BIM

Manejo de problemas

Revisión de cambios

Figura IV-25 Entorno común de datos (CDE).<sup>71</sup>



#### 4.1.4 Situación actual y visión a futuro

Actualmente la situación del Tren México-Toluca es incierta debido a diferentes problemas que incluyen el reclamo de daños a terrenos por parte de ejidatarios, falta de liberación de derechos de vía, restricciones ambientales y, principalmente, problemas presupuestales, debido a que se ha incrementado el costo de la obra sustancialmente.

De acuerdo con el Libro Blanco del TIMT, al 31 de octubre del 2018 los avances por tramo manejado por la SCT eran los mostrados en la figura IV-26.

Tramo	Avance	Representación en porcentaje
Tramo I (Km. 0+000 al km. 36+150)	Avance físico 28.81 km concluidos de obra civil, de los cuales 21.64 km son continuos.	94%
Tramo II (Km. 36+150 al km. 040+784)	Avance físico 100% de excavación de dos túneles. 71% de avance en la ejecución de galerías técnicas y de emergencia.	98%
Tramo III (Secciones 2, 4, 5 y 7)	Avance físico Frente 2: 25%. Frente 4: 60%. Frente 5: 53.3%. Frente 7: 100%.	59.62%
Tramo III (Secciones 1 y 9)	Avance físico Frente 1: 43.7%. Frente 9: 57.8%.	50.73%
Tramo IV (Material rodante)	Avance físico Considera material rodante y obra electromecánica.	60%
Tramo V (Talleres y cocheras)	Avance físico Obra en proceso de cierre.	100%

Figura IV-26 (Libro Blanco)

En cuanto a la parte del tramo III a cargo de la Ciudad de México, para septiembre de 2018 se tenía reportado un avance de aproximadamente el 58%<sup>74</sup>, aunque a la fecha no se ha terminado y aún existen predios con problemas de liberación de derecho de vía.

En el cronograma original, se tenía contemplado realizar el proyecto en un periodo de 4 años comenzando en el 2014, pero hasta el momento de la presentación de este trabajo escrito, aún no se tiene una fecha confirmada para la terminación del TIMT.

<sup>74</sup> Obras. (2018). El Tren México-Toluca operará al 100% hasta el 2020. [Citado] 18.05.30 [En Línea] <https://obrasweb.mx/construccion/2018/09/28/el-tren-mexico-toluca-operara-al-100-hasta-el-2020>





En cuanto al presupuesto, de acuerdo al Libro Blanco, este proyecto quedó inscrito en diciembre del 2013 en la cartera de proyectos de inversión de la SHCP bajo la clave 13093110008, con un monto total de inversión de \$34,114,855,980, dicho monto, para finales del 2018, había sufrido las modificaciones presentadas en la figura IV-27.

Ejercicio Fiscal	Monto Planeado	Monto Modificado
2014	\$40,070,113,686	\$38,608,134,400
2015	\$41,432,537,622	\$42,721,507,424
2016	\$42,737,662,555	\$44,067,234,908
2017	\$56,511,397,350	\$56,511,397,350
2018	\$59,216,751,581	\$59,216,751,581

Figura IV-27 Libro Blanco TIMT.

Aunado al sobrecosto, se han encontrado irregularidades en el manejo del presupuesto, incluyendo las presentadas por la Auditoría Superior de la Federación, atribuidas a falta de liberación de derechos de vía, deficiencias en planeación, problemas con la elaboración de proyectos ejecutivos y en la ejecución y supervisión de obras, por un monto de 745.5 millones de pesos.<sup>75</sup>

En cuanto al uso de la metodología BIM, formalmente fue utilizada solamente en un tramo del proyecto, uno de los principales problemas es que no estuvo involucrada desde el inicio, resultando en pérdidas económicas no previstas y con el problema de que no funcionó como debiera; siendo utilizada más para visualización y creación de videos que para los demás usos BIM, que incluyen una mejora sustancial en el proceso de presupuestación y planificación de tiempos. En el caso del tramo III, el contrato para BIM se utilizó como herramienta de apoyo técnico, pero no fue requerido para las contratistas de la obra entregar su información con ciertos formatos, esto genera retrabajo y que no se alcancen los objetivos planteados.

<sup>75</sup> Auditoría Superior de la Federación (ASF). (2019). *Tercera Entrega de Informes Individuales y del Informe General Ejecutivo Fiscalización Superior de la Cuenta Pública 2017*. [Citado] 2019.06.15 [En Línea] <https://www.asf.gob.mx/uploads/55 Informes de auditoria/Mensaje ASF Entrega2017 20 02 19.pdf>



## 4.2 El “Crossrail” de Londres

### 4.2.1 Antecedentes

El proyecto de “Crossrail” para Londres, también conocido como Elizabeth Line, es reconocido como uno de los más grandes proyectos de infraestructura en Europa<sup>76</sup>. Se trata de un tren suburbano que pretende conectar el oeste con el este de Londres, incluyendo los centros de empleo principales. En la Figura IV-28 se muestra la localización de este proyecto.

El objetivo de la nueva línea es mejorar la congestión en el transporte público de Londres, reduciendo los tiempos de viaje y de conmutación para los pasajeros.

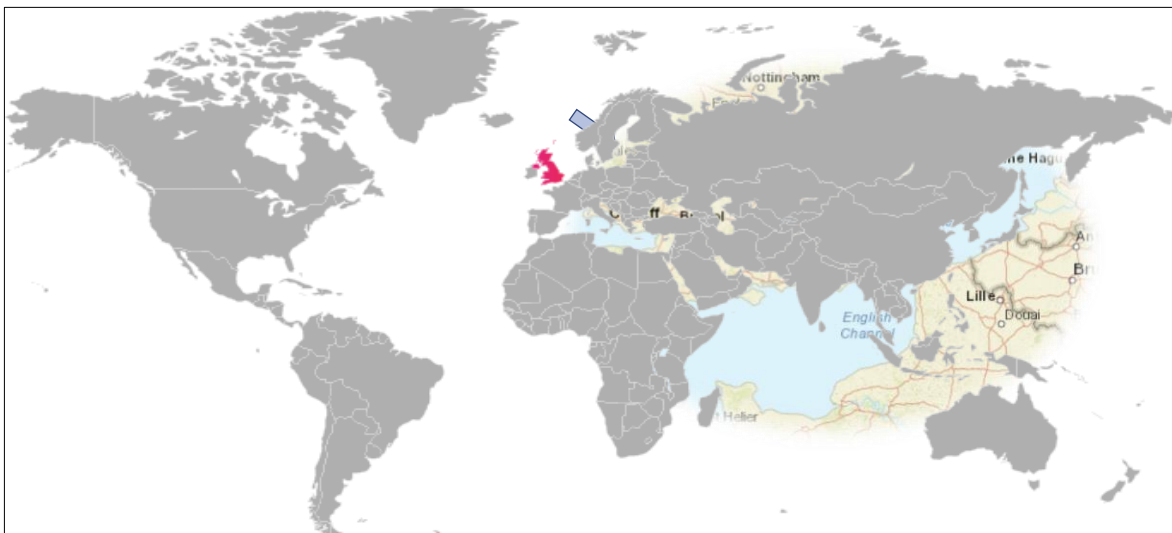


Figura IV-28 Localización del proyecto.

El camino hacia la construcción de este megaproyecto ha sido largo. Después de la segunda guerra mundial, la población de Londres se había reducido significativamente, pero en los años 90's se fue recuperando y para el 2015 era de 8.7 millones de personas<sup>77</sup>. Combinado con el mejoramiento de la economía y el aumento en los servicios financieros de Londres, construir el Crossrail se convirtió en una necesidad. Luego de intentos fallidos para promover el nuevo tren de pasajeros, por la gran inversión que representaba, en el año 2002 se formó el Cross London Rail Links Ltd (CLRL) para desarrollar nuevas propuestas. Fue hasta el 2008, en que se firmó el acta del Crossrail, que se dio marcha al proyecto.<sup>78</sup>

<sup>76</sup> Crossrail Ltd. (2019). Europe's Biggest Railway Infrastructure Project. [Citado] 19.05.18 [En Línea] (<http://www.crossrail.co.uk/construction/>)

<sup>77</sup> Wolmar, Christian. (2018). *The Story of Crossrail*. Londres: Head of Zeus Ltd.

<sup>78</sup> City of London Corporation. (2015). The Impact Of Crossrail. Reino Unido. [Citado] 2019.04.16 [En Línea] (<https://www.cityoflondon.gov.uk/business/economic-research-and-information/Pages/default.aspx>)



Después de diversas modificaciones, el presupuesto que se aprobó fue de 14.8 billones de libras esterlinas, por la magnitud del proyecto, el financiamiento fue uno de los principales obstáculos. Finalmente, el financiamiento se aprobó como se muestra en la figura IV-29.

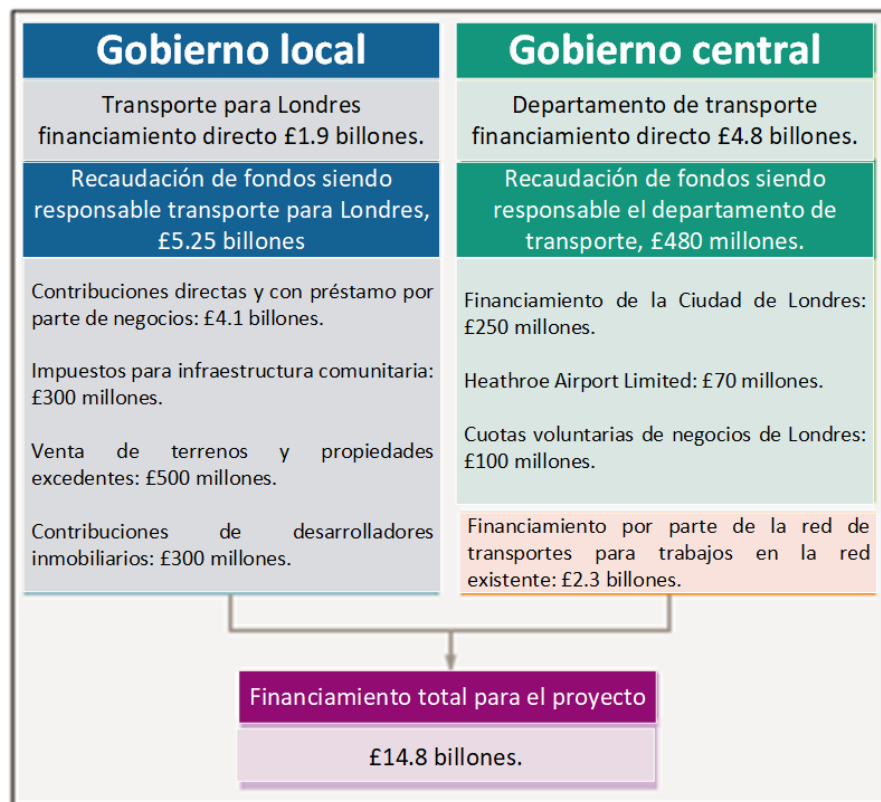


Figura IV-29 Modelo de financiamiento para el Crossrail.

Una vez con el financiamiento, se procedió con el proyecto. La construcción comenzó oficialmente en el año 2009 y se planeaba su terminación en diciembre de 2018. La ruta a través de la Ciudad de Londres conectará 41 estaciones, siendo 10 de nueva construcción.

Algunos datos importantes relativos al proyecto son los siguientes:

- Unión de 41 estaciones.
- Incremento de la capacidad ferroviaria en Londres en aproximadamente 10%.
- Un estimado de 200 millones de pasajeros anuales.
- Presupuesto de 14.8 billones de libras esterlinas.
- Reducción de la congestión y saturación en Londres en un porcentaje del 20% al 60%.



- Longitud de aproximadamente 100 km desde Reading y Heathrow en el oeste al Shenfield y Abbey Wood en el este.



Figura IV-30 Mejoras en los tiempos de viaje con el Crossrail

#### 4.2.2 Descripción del proyecto

El proyecto del Crossrail es un megaproyecto ferroviario cuya vía unirá los servicios desde Reading hasta Shenfield. Consta de aproximadamente 118 km de longitud, con 42 kilómetros de construcción de túneles a través de las estaciones centrales del proyecto. Las nuevas estaciones que se construirán son 10, aunque también incluye la renovación de 31 estaciones más.

Los componentes principales del proyecto incluyen lo siguiente:

- Túneles
- Vía férrea y electrificación
- Estaciones
- Trenes
- Operación del servicio

#### TÚNELES

Uno de los retos más difíciles del proyecto consistió en perforar los túneles de 42 kilómetros y 6,2 metros de diámetro bajo el centro de la capital. Esta hazaña se consiguió gracias a ocho tuneladoras (TBM). A la complejidad de estas obras se sumó que, debido a que pasan por el centro de Londres, hubo que enfrentarse a los retos planteados por el hecho de que se encontraron diversos restos arqueológicos de gran valor histórico.

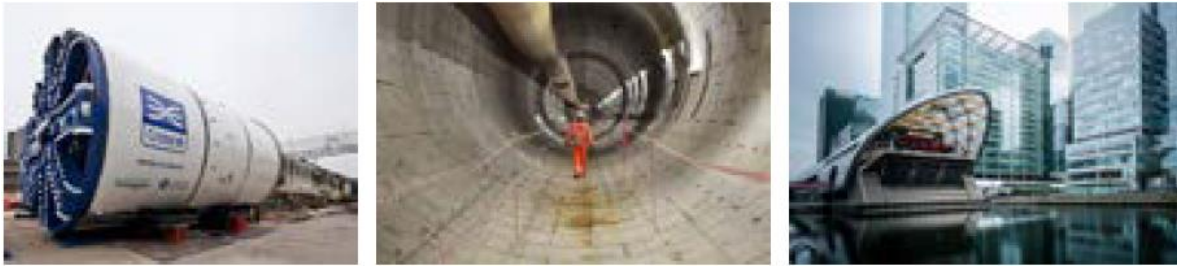


Figura IV-31 Ilustración de los trabajos realizados para el Crossrail.

## VÍA FÉRREA Y ELECTRIFICACIÓN

Una vez que los túneles estaban contruidos, la vía de concreto y de acero pudo ser tendida, así como las líneas eléctricas requeridas para electrificar el tren y los sistemas necesarios para el proyecto.

## ESTACIONES

De las 10 estaciones de nueva construcción, siete de ellas son subterráneas. Las plataformas de cada estación son de alrededor de 240 metros de longitud y pueden acomodar trenes de 200 metros de longitud.

## TRENES

En febrero del 2014 TfI adjudicó el contrato de diseño, operación y mantenimiento de los trenes que correrán por la Elizabeth Line. Los trenes serán clase 345 y tendrán nuevos sistemas para proveer a los pasajeros de información para optimizar tiempos. Estos trenes se encuentran diseñados para poder transportar a 1,500 personas cada uno.

## OPERACIÓN

La compañía ganadora del contrato para el mantenimiento y operación es Mass Transit Railway (MTR), con un contrato de 10 años.



### 4.2.3 Usos BIM en el proyecto de “Crossrail”

Debido a la magnitud del proyecto y a que es de interés público, para construir el Crossrail se ha utilizado la metodología BIM desde un principio, también se ha documentado su uso e impacto en el proyecto a través del tiempo en diferentes documentos de lecciones aprendidas.

Estos documentos se clasifican por áreas que incluyen las siguientes: dirección y control de proyectos, terrenos y propiedades, seguridad y salud, cuidado del medio ambiente, ingeniería, operaciones, innovación y tecnología con manejo de información. Es dentro de los documentos de dirección de proyectos que se encuentran los relacionados con las aplicaciones BIM en el Crossrail.<sup>79</sup>

Aunque el inicio oficial del proyecto se dio con la firma del acta del Crossrail en el 2008 y desde el principio se tuvo contemplado el uso de BIM, fue hasta el 2011 que el gobierno británico anunció que los proyectos financiados con dinero público deberían utilizar BIM con un nivel de madurez 2 de forma obligatoria y en el 2013 se publicó Crossrail BIM principles, cuyo propósito fue describir las formas en la que se utilizaría BIM en el proyecto y los beneficios que esta metodología brindaría.

Por otro lado, en el 2018 se publicó uno de los documentos principales que integran la aplicación de la metodología BIM en la construcción de este “Crossrail Project: Application of BIM, and Lessons Learned”<sup>80</sup>. En este documento ya no solamente se detalla cómo se planeaba utilizar BIM, sino que se habla de cuál fue su proceso de adopción y las lecciones aprendidas a partir de su uso en el Crossrail.



Figura IV-32 Corredor debajo de Liverpool Street.<sup>81</sup>

<sup>79</sup> 7Crossrail Ltd. (2019). Project Information Management Documents. [Citado] 19.06.20 [En línea] <https://learninglegacy.crossrail.co.uk/learning-legacy-themes/information-management-and-technology/information-management/>

<sup>80</sup> Tayloy, Malcomb (2018). *Crossrail Project: Application of BIM (Building Information Modelling) and lessons learned*. Crossrail LTD. [Citado] 19.06.19 [En línea] <https://learninglegacy.crossrail.co.uk/documents/crossrail-project-application-of-bim-building-information-modelling-and-lessons-learned/>

<sup>81</sup> Crossrail Ltd (2019). [En línea] <http://www.crossrail.co.uk/construction/building-information-modelling/>



Desde el punto de vista de la información, el proyecto para la Elizabeth Line se clasificó como la creación de dos líneas diferentes, la física y la versión virtual.<sup>82</sup> El objetivo de crear un modelo completo virtual es el de tener la información necesaria tanto para la construcción como para el mantenimiento del tren por un periodo de vida de aproximadamente 120 años.

Las características BIM para este proyecto incluyeron la utilización del common data environment (CDE), con requerimientos de intercambio de información y una planeación definida para cada etapa del ciclo de vida del proyecto. Para el Crossrail BIM es visto como el proceso de la creación y manejo de información digital a través del ciclo de vida del proyecto ferroviario utilizando información geoespacial (GIS), modelado tridimensional (3D), y diseño asistido por computadora (CAD) unidos a bases de datos con información confiable. Como lineamiento se utilizaron los estándares británicos BSI 1192 y se crearon documentos especiales para el BIM del Crossrail.

Los estándares británicos hacen énfasis en la importancia del manejo de la información y de tener bases de datos estructuradas para todas las fases del proyecto con el objetivo específico de que tanto las visualizaciones 3D como los modelos de datos puedan ser utilizados durante el tiempo de operación de la obra a realizarse. En la figura IV-33 se ilustra la importancia que van cobrando ambos tipos de modelos durante el ciclo de vida de la infraestructura.<sup>64</sup>

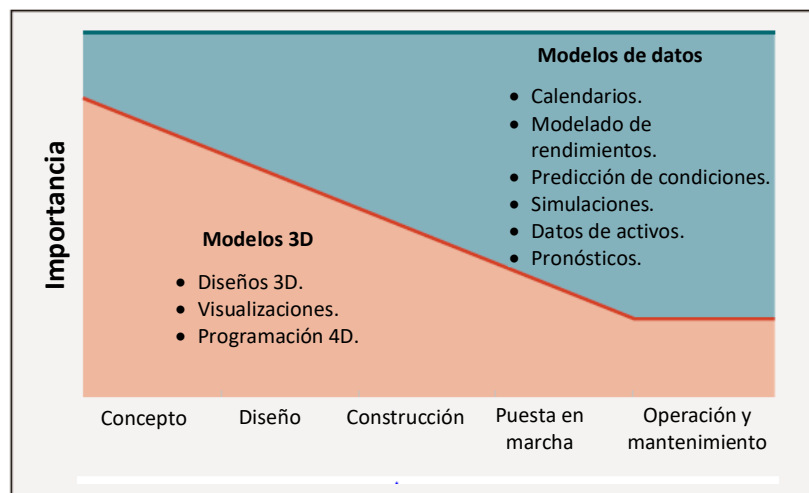


Figura IV-33 Importancia de los tipos de modelos en diferentes etapas del ciclo de vida de un proyecto.

<sup>82</sup>Malcomb, Taylor (2017), *Crossrail Project: building a virtual versión of London's Elizabeth line*. Institution of Civil Engineers. Vol. 170. [En línea] <http://dx.doi.org/10.1680/jcien.17.00022>



En términos contractuales, el marco de referencia de diseño para los consultores se basó en el plan de trabajo del Royal Institute of British Architects (RIBA) para definir los entregables en las diferentes fases del ciclo de vida del proyecto, además se acordó que cada consultor adoptara los estándares de CAD y BIM requeridos para el Crossrail en lugar de que cada firma adoptara los suyos propios, como sucede tradicionalmente. Para lograr dar seguimiento a este tipo de contratos se desarrolló un sistema de reportes para asegurar que se estaba cumpliendo con los estándares de calidad y tiempo en cada contrato de diseño.<sup>83</sup>

Contract Performance Summary			Modelling				Information & Compliance				GIS			Asset Info					
Ref.	Contractor	Contract	●	●	●	○	○	○	○	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●
<b>CIVILS</b>																			
1			3				0%	0%	1%	0%			4	4	5	4	4	4	5
2			3				0%	0%	0%	0%			4	4	5	4	5	5	4
3			5				0%	0%	0%	0%			4	5	4	5	4	5	4
4			2	4	4	4	1%	1%	4%	1%	4	4	3	4	5	5	5	5	4
5			5	4	5	5	2%	2%	29%	9%	1	5	29%	4	3	2			

Figura IV-34 Ejemplo de reporte de avance para los contratos.

Los siguientes datos ilustran la complejidad de la información creada para el proyecto<sup>61</sup>:

- Más de 5 millones de documentos creados.
- Más de 450,000 dibujos realizados.
- 8,250 usuarios de las bases de datos.
- 450 usuarios CAD.
- 25 contratos de diseño.
- 30 contratistas principales para la construcción
- 1 modelo centralizado de bases de datos ligadas.

Para lograr el diseño y control del proyecto se utilizaron diversos programas computacionales, por ejemplo, Primavera, ProjectWise, Bentley Building Systems, Synchro Pro Navisworks y Solibri.<sup>62</sup> Con ayuda de ellos, se logró ligar los modelos 3D con la calendarización de actividades para así lograr modelos 4D, agregando visualizaciones que podían mostrar el progreso de la obra en diferentes momentos del tiempo e incluir una cuantificación de materiales (5D).

<sup>83</sup> Ahmad T (2017) BIM Metrics. Crossrail Learning Legacy, London, UK. [Citado] 19.05.19 [En Línea] <http://learninglegacy.crossrail.co.uk/documents/bim-metrics/>





Bentley fue la compañía asignada como principal proveedora del software para el Crossrail, los responsables del proyecto llegaron a un acuerdo con ellos para desarrollar los marcos de referencia, suplir licencias y obtener el soporte técnico necesario. Al tener contemplado desde el acta del 2008 el uso de BIM para el proyecto, esta metodología fue utilizada a través de todo su ciclo de vida, intentando integrar la información en una sola base de datos centralizada que permitiera la colaboración eficiente entre las diferentes disciplinas y agentes involucrados en el proyecto.

Se utilizaron escaneos mediante laser para obtener nubes de puntos y así modelar las condiciones existentes y se utilizaron diversas herramientas para modelar el proyecto. En la Figura IV-35<sup>84</sup>, se ejemplifica la forma en la que se fue integrando el modelo BIM.

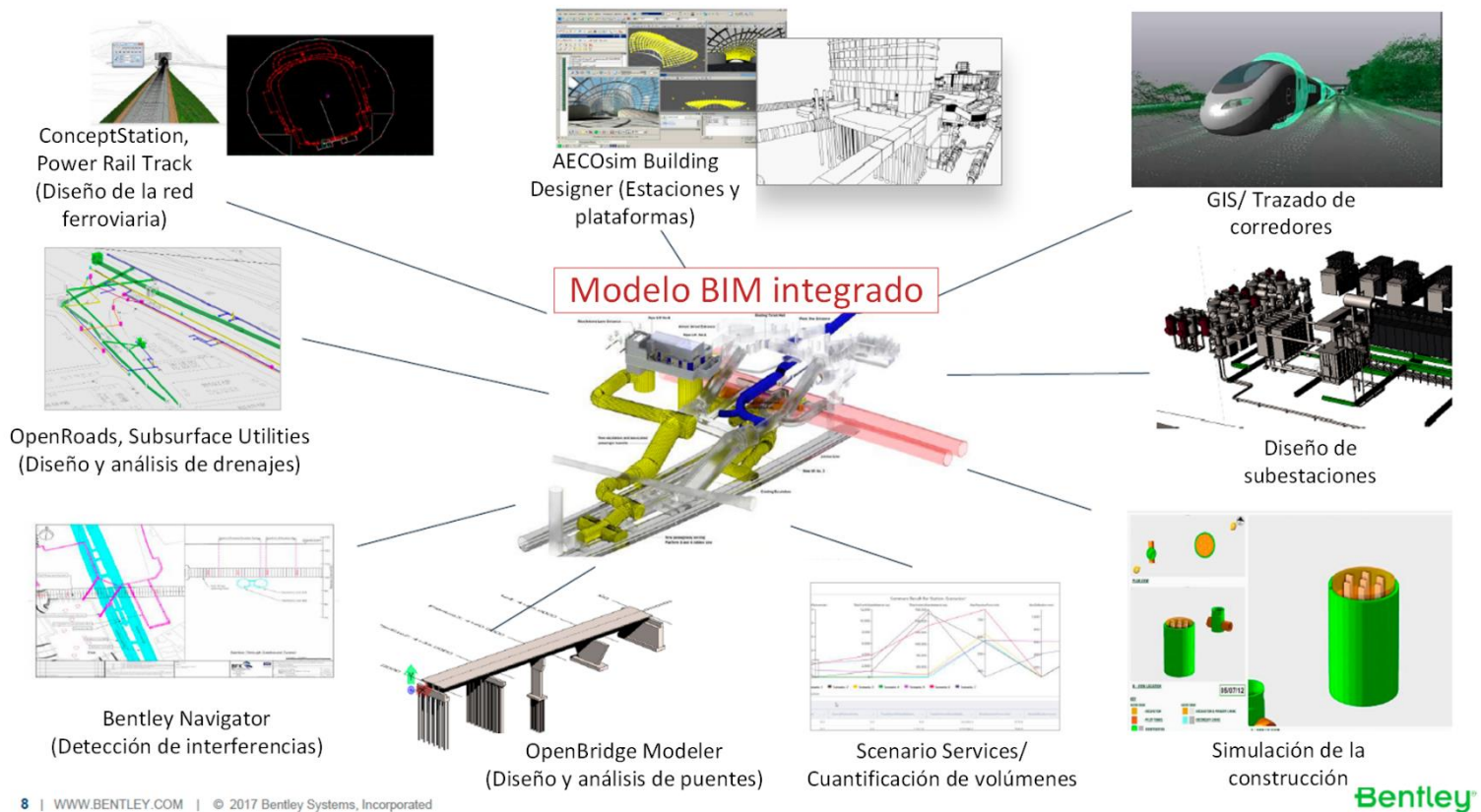


Figura IV-35 Ejemplo de herramientas utilizadas para la integración del modelo BIM (Bentley).

<sup>84</sup> Lau, Jimmy (2017). *BIM for Infrastructure: Road and Rail*. Bentley Systems. [Citado] 19.05.20 [En Línea] [http://sibima.pu.go.id/pluginfile.php/32709/mod\\_resource/content/1/09-Bentley%20Systems.pdf](http://sibima.pu.go.id/pluginfile.php/32709/mod_resource/content/1/09-Bentley%20Systems.pdf)



Para la simulación de la construcción, se utilizaron modelos 4D ayudaron a entender de mejor manera el progreso y a analizar y visualizar el cronograma de trabajos con gráficas de Gant y diagramas, también se reporta que este tipo de modelos fue utilizado para manejar los pagos de los contratistas, pues permitió gestionar el avance de los trabajos de una forma más eficiente.<sup>83</sup> En la

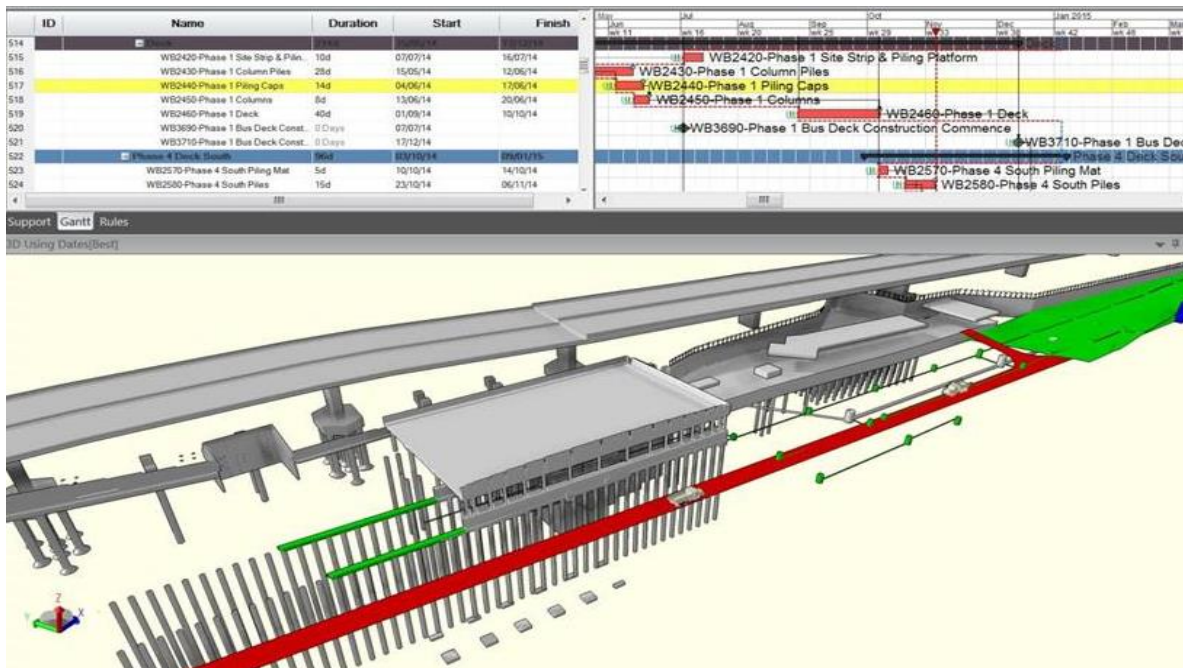


Figura IV-36 se muestra una imagen ejemplo de la utilización de Syncro para modelar una estación del Crossrail con la dimensión del tiempo.<sup>85</sup>

**Figura IV-36 Modelado de estación con Syncro (4D).**

Con el objetivo de realizar el análisis de diferentes alternativas de diseño, se utilizaron los servicios en la nube de Bentley, por ejemplo, Scenario Services.<sup>86</sup> Esta herramienta permite comparar de forma paralela modelos virtuales para descartar alternativas no viables.

<sup>85</sup> Bentley Systems. (2018). Bentley Systems adquiere Syncro Software con el fin de ampliar los flujos de trabajo digitales para la ejecución de proyectos de infraestructura mediante el modelado de construcción 4D. [Citado] 19.02.15 [En Línea] <https://www.bentley.com/es/about-us/news/2018/june/20/synchro-acquisition>

<sup>86</sup> Bentley Systems. (2015). ProjectWise Scenario Services. [En Línea] <https://www.bentley.com/resources/scenario-services>



---

Debido a que el proyecto del Crossrail es pionero en la implementación de BIM a gran escala, se creó, junto con la empresa Bentley, una academia especial para desarrollar y compartir mejores prácticas del uso de BIM alrededor del ciclo de vida del proyecto.<sup>87</sup>

#### 4.2.4 Situación actual y visión a futuro

El proyecto del Crossrail se había programado para terminar en diciembre de 2018, sin embargo, esto no sucedió y ahora se estima se finalice entre octubre de 2020 y marzo de 2021. Lo anterior, junto con el hecho de que se sobrepasó el presupuesto original de 14.8 billones de libras en 2.8 billones, para llegar a los 17.6 billones de libras que se espera sea el costo total del proyecto, originó que se realizara una auditoría al programa.

En mayo de 2019 se publicó un documento realizado por la NAO (National Audit Office)<sup>88</sup>, en el que esta oficina de auditoría del gobierno analiza dificultades presentadas en el proyecto y posibles áreas de mejora. Al realizar la investigación, se encontró que hubo factores que afectaron negativamente el proyecto, algunos de ellos fueron un cronograma comprimido que privilegió intentar terminar en diciembre de 2018 sin considerar suficientemente los riesgos en cuanto a costos que esto conllevaba, el modelo contractual con los contratistas y que el plan de trabajos no fue lo suficientemente detallado. Crossrail Ltd. identificó fallas en el trabajo de la empresa contratada como Project Manager, esta empresa fue despedida y reemplazada por una nueva que es la que actualmente está intentando reestablecer las fechas compromiso de entrega.

Debido a que se trató de un proyecto de gran magnitud y complejidad, se sabía que se iban a encontrar con grandes retos al desarrollarlo, es por eso por lo que el gobierno británico creó la iniciativa de compartir las lecciones aprendidas en él mediante una serie de documentos especializados (aproximadamente 650 hasta el momento).<sup>89</sup>

En términos de dirección de proyectos, se buscó ser líder y referencia para proyectos a gran escala en Reino Unido y en el mundo, creando estrategias para controlar los diferentes aspectos del proyecto.<sup>90</sup> Para el caso del control de costos, Crossrail estableció una estructura

---

<sup>87</sup> Middle East Business Intelligence (2017). *BIM Revolution or Evolution*. Bentley Systems. UK.

<sup>88</sup> National Audit Office (2019). *Completing Crossrail*. Department of Transport. Reino Unido.

<sup>89</sup> Parsi, N. (2018). *Learning Track: Crossrail's Lessons Learned Framework Will Help Other Megaprojects On Track*. PM Network, 32, 62-69. [En Línea] <https://www.pmi.org/learning/library/crossrail-lessons-learned-11367>

<sup>90</sup> Wright, Palczynski et al (2017). *Crossrail programme organisation and management for delivering London's Elizabeth line*. ICE Publishing. [En Línea] <https://learninglegacy.crossrail.co.uk/wp-content/uploads/2017/09/1R-001-Programme-organisation-and-management.pdf>



---

de revisión especial y cada 6 meses se verificaba que se seguía cumpliendo con los lineamientos de transparencia y control necesarios. Con el objetivo de llevar un control adecuado del proyecto, una de las iniciativas principales que se tomó fue la de adoptar la implementación de la metodología BIM desde el inicio del ciclo de vida del proyecto.

Se construyeron dos líneas, una física y una virtual basada en el manejo de información. Dentro de los beneficios de utilizar BIM en el proyecto se encontraron los siguientes:

- Reducción de los desperdicios de materiales al mejorar la coordinación entre disciplinas y minimizar interferencias.
- Una mejora de la eficiencia al reducir el tiempo de aprobación de cambios.
- Una reducción de la pérdida de información conseguida al utilizar solamente los documentos más recientes.
- La reducción de tiempo utilizando el análisis 4D.
- Mejora de la precisión al unir documentación 3D con los sistemas de información geográfica.
- La mejora en la colaboración entre diseñadores y contratistas por la capacidad de compartir los modelos.
- Seguridad – Un mejor entendimiento del proceso constructivo a través de visualizaciones y la combinación de modelos 2D y 3D.
- Ambientales – Reducción de desperdicios y una mejora en la huella de carbono.

También se obtuvieron beneficios sustanciales en el costo del proyecto debido a que se utilizaron flujos de trabajo utilizando una sola fuente y se definieron los requerimientos de información desde el inicio del proyecto, por lo que se redujeron las dudas de que es lo que se requería y esperaba de cada contrato. Se estima que las soluciones utilizando modelos 3D, 4D y con la dimensión del costo, 5D, significaron una reducción de aproximadamente 1.2 millones de libras en cada contrato.

Algunas de las lecciones aprendidas y con posibilidades de mejora fueron las siguientes:

- Se requiere mejoras en el manejo del entorno común de datos, integrándose desde la etapa de inicio del proyecto.
- Intentar mantener los modelos 3D lo más ligeros posible, pero tenerlos ligados a bases de datos completas de las que se pueda extraer la información requerida.
- No se deben desestimar las barreras culturales en la implementación de BIM.
- Los proyectos que utilicen CAD deben tener como base modelos 3D obligatoriamente para reducir problemas de interferencias.



- 
- Se debe de combinar los modelos 3D con los cronogramas lo más cerca al inicio del proyecto posible para así identificar restricciones y para poder realizar ajustes en las actividades.
  - Se deben mejorar los estándares abiertos de intercambio de información, ya que en ocasiones se tuvo el problema de que los proveedores de software vendían su producto como totalmente compatible con otro y este no era el caso.
  - Se deben de identificar áreas y modelos que requieren un mayor nivel de seguridad y aplicar los controles correspondientes para limitar el acceso a ellos.
  - Es necesaria la aplicación consistente de estándares para el éxito de BIM, esto incluye no solamente los estándares para los modelos, sino que también para la información que se genera y su relación.
  - Para el trabajo colaborativo, es necesario que todos los involucrados, clientes, diseñadores y contratistas entre otros, entiendan lo que se requiere de ellos en las diferentes etapas del ciclo de vida del proyecto y lo que se está intentando alcanzar con BIM.
  - Finalmente, no debe desestimarse la necesidad de entrenamiento del personal para poder alcanzar los estándares de calidad buscados. En el caso del Crossrail se tuvo que crear una alianza con Bentley y desarrollar una academia de información para que el personal estuviera capacitado para trabajar con los programas y la metodología BIM.



---

## V. CONCLUSIONES

---

A nivel nacional e internacional existen diversos factores, tales como el crecimiento de la población urbana y el incremento del estándar de calidad de vida de las personas que han hecho que la construcción de proyectos de gran magnitud y complejidad se haya vuelto una necesidad imperante. Al mismo tiempo que las personas cada vez demandan mayores y mejores servicios, se han vuelto comunes los escándalos de corrupción y de sobrecostos en los proyectos de este tipo, generando desconfianza para la población, protestas y enfrentamientos entre distintos participantes tanto sociales como económicos de los proyectos.

Para enfrentar estos problemas, alrededor del mundo se ha apostado por mejorar los procesos constructivos y una de las formas en que se está logrando es con la investigación y promoción de la metodología BIM.

En algunos países, como el Reino Unido, ya es obligatorio el uso de BIM en obras públicas que rebasan cierto presupuesto; en otros, como España y Noruega, se planea que para el año 2020 comience a ser de carácter obligatorio su utilización. En México, se está trabajando para que en unos años ésto aparezca en las leyes, sin embargo, el camino a la adopción de esta tecnología no es solamente saber utilizar un determinado software, como se pudo comprobar en el desarrollo del presente trabajo de investigación, la integración de la información es la base del éxito del proyecto, así como una buena gestión cuyos lineamientos deben ser planteados desde el inicio del ciclo de vida de los proyectos.

Se necesita invertir principalmente en educación, no solo para aprender a manejar los programas, situación que es un freno para muchas empresas que no están dispuestas a pasar por el tiempo de la curva de aprendizaje, sino también para mejorar el trabajo en equipo y la capacidad de comunicación de las personas.



---

En México, uno de los principales objetivos de promover el uso de BIM en los proyectos complejos, tiene que ver con mitigar la corrupción para que sean benéficos para la sociedad en vez de ser proyectos con grandes sobrecostos, que benefician a pocas personas y que en diversos casos se tenga grandes fallas que incluso llegan a comprometer la seguridad de los usuarios. BIM puede ayudar en diversos aspectos para ello, el tener un proyecto con el que se pueda seguir de manera más fiel los avances de las obras puede llevar a una mayor transparencia en el uso de los recursos públicos y privados. Sin embargo, el uso de la metodología BIM debe estar acompañado de leyes claras y transparencia por parte de las autoridades para poder revisar los proyectos minuciosamente, aunque el proyecto se encuentra bien modelado, esto no quiere decir que se elimine la corrupción.

Para el caso del Tren Interurbano México Toluca, se detectaron diferentes irregularidades en todo el proyecto, incluyendo el uso de BIM en él. Un ejemplo es que el trazo que se realizó en un principio tuvo que ser modificado, ocasionando sobrecostos importantes al proyecto, esto se debió a problemas de liberación de derecho de vía, una forma de ayudar en este aspecto habría sido tener un trazo georreferenciado correctamente desde un inicio que permitiera determinar los terrenos o parcelas en las que se podían tener los problemas.

Cómo se revisó en el correspondiente caso de estudio, BIM se utilizó principalmente para un solo tramo del proyecto, el tramo III. Al analizar la convocatoria para realizar los servicios BIM, es posible observar que se trató de un contrato completamente separado a los de construcción para el proyecto, además, aunque en él se especifica que se realizará el control utilizando BIM, los responsables de ingeniería y construcción no estuvieron obligados a enviar la información en formatos específicos, esto significa que para poder revisar los proyectos se tuvo que recibir los archivos en .dwg y luego reproducirlos en un software como Revit, originando retrabajo y con el riesgo de que la revisión de los modelos fuera incorrecta.

En el caso del Crossrail de Londres, la experiencia utilizando BIM fue muy diferente, ellos se dieron cuenta de que con un proyecto con esa complejidad tendrían que tener mucho cuidado y que les serviría como aprendizaje en un futuro. El uso de BIM en este caso fue



---

ampliamente documentado, existiendo informes acerca de su implementación, conferencias, y un seguimiento detallado en la página web de Crossrail Ltd., entre otros medio de información. Se creó una academia en conjunto con la empresa que fue la principal proveedora de software para el proyecto, Bentley, con el objetivo de formar personal para que cumpliera con las expectativas de este proyecto y que, en un futuro, se encontrara capacitado para implementar su conocimiento en el desarrollo de su país.

En este caso, aunque se detectaron múltiples beneficios al implementar la metodología BIM, aun así, se presentaron sobrecostos amplios en el proyecto y la fecha de apertura que en un principio se tenía contemplada para diciembre de 2018, se atrasó hasta marzo del 2021.

Una de las deficiencias detectadas para el Crossrail, se identificó en la parte de la gestión del proyecto, ya que se determinó que los riesgos asociados a modificar procesos constructivos para poder cumplir con la fecha de 2018 no fueron cuantificados correctamente, ocasionando sobrecostos innecesarios y que aun así no se pudiera completar el proyecto para la fecha planeada.

Al analizar ambos casos de estudio, se encontró que un área de oportunidad importante, especialmente para México, se encuentra en la inclusión de la metodología BIM en los contratos. En el caso del Tren México Toluca, su consideración no abarcó todo el proyecto y tampoco involucró a la mayoría de los contratistas, se limitó a un contrato separado de apoyo técnico y supervisión. Al ser este el caso, se perdieron los beneficios principales que se esperaban de implementar la metodología, es decir, la reducción de los sobrecostos en la fase de construcción.

Aún falta una mejor integración de los estándares abiertos de software que permita compartir información entre plataformas sin pérdida de fidelidad.

En el caso de contratos a precio unitario, los alcances de utilizar BIM no se limitan a una mejora en la cuantificación de materiales, sino que con la implementación de BIM 4D, se pueden realizar mejores simulaciones que permitan una programación más eficiente de los trabajos, lo que reduciría errores en el financiamiento de los proyectos, mejoras en el seguimiento de las erogaciones a los contratistas y, finalmente, menores sobrecostos.





---

Recomendaciones:

- Incluir BIM en todo el ciclo de vida del proyecto y no solamente en una parte de este, contrario a lo que se hizo para el Tren México-Toluca.
- Invertir en educación y mejorar la colaboración entre gobierno e industria privada, privilegiando el pensamiento a largo plazo y la creación de bases de datos que permitan entender fallas en la realización de los proyectos. Se puede utilizar como referencia para México el caso del Crossrail y las lecciones aprendidas con él.
- No subestimar la importancia de una buena gestión. Se deben analizar todos los factores que pueden afectar el proyecto y los riesgos a la hora de la toma de decisiones. Es de vital importancia una buena comunicación entre todos los agentes involucrados para asegurar que cada uno entienda su posición en el desarrollo del proyecto. Los estándares del Project Management Institute pueden ser utilizados como guía para lograr este propósito.
- En el caso de BIM para presupuestar, la tendencia va hacia una mayor comunicación entre los modelos 3D y los costos asociados a ellos, lo que permitirá analizar diferentes diseños junto con su implicación económica más rápido.
- Se tienen que considerar los estándares de referencia a utilizar y desarrollar un buen plan de ejecución BIM. Se recomienda basarse en la serie ISO 19650:2018, siendo que esta es la versión más actualizada y que fue desarrollada con las bases aprendidas por Reino Unido con el objetivo de desarrollar la metodología a nivel internacional.



---

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

1. Oxford Economics (2017). *Forecasting infrastructure investment needs and gaps*. Global Infrastructure Outlook [Citado] 18.11.16 [En Línea] <https://outlook.gihub.org/>
2. Project Management Institute, PMI et al. (2017). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. 6ª Edición. Pennsylvania, Estados Unidos de América: PMI.
3. Project Management Institute, PMI et al. (2016). *Construction extension to the PMBOK Guide*. Pennsylvania, Estados Unidos de América: PMI.
4. National Academy of Sciences, NAS et al. (2015). *Guide to Project Management Strategies for Complex Projects*. Washington, D.C., Estados Unidos de América: Transportation Research Board.
5. [zsurie]-Adobe Stock. No. 214699058.
6. Campos, Mariana et al. (2014). *Por un presupuesto realista y sostenible 5 puntos de atención urgente*. México Evalúa. [Citado 2018-11-5]. [En Línea] Disponible en: <https://www.mexicoevalua.org/2014/10/08/por-un-presupuesto-realista-y-sostenible-5-puntos-de-atencion-urgente/>
7. Proyectos México [Citado 2018-09-08] [En Línea] Disponible en: <https://www.proyectosmexico.gob.mx/por-que-invertir-en-mexico/economia-solida/>
8. Banobras (2018), [Citado 2018-11-03]. [En Línea] <https://www.gob.mx/banobras/prensa/en-su-primera-emision-de-2018-banobras-coloca-segundo-bono-sustentable-de-una-banca-de-desarrollo-en-america-latina>.
9. © Ernesto-Adobe Stock. No. 210087476. Terremoto en México 2017.
10. [© Alexander]-Adobe Stock. No. 140786078.
11. [© ekkasit919]-Adobe Stock. No. 170790985.



- 
12. Project Management Institute, PMI et al. (2017). *Guía práctica de ágil*. Pennsylvania, Estados Unidos de América: PMI.
  13. Royal Institute of British Arts (RIBA), (2013). [Consultado 2018-08-15][En Línea] Disponible en: <https://www.architecture.com/knowledge-and-resources/resources-landing-page/riba-plan-of-work>
  14. Environmental Protection Agency (EPA). (2008). *Lifecycle Construction Resource Guide*. Atlanta, Estados Unidos de América.
  15. Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas (2016). Diario Oficial de la Federación, México.
  16. González Meléndez, Raúl (2018). *Costos Paramétricos para Proyectos y Avalúos*. Instituto Mexicano de Ingeniería de Costos (IMIC), México.
  17. Ley de Asociaciones Público-Privadas (2018). Diario Oficial de la Federación (DOF). [Citado 2018-11-05]. [En Línea] [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAPP\\_150618.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LAPP_150618.pdf).
  18. Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2016). Acciones y programas. [Citado: 2018-09-18]. [En Línea] <https://www.gob.mx/shcp/acciones-y-programas/informacion-relevante-96053>.
  19. Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2015). Índice de Elegibilidad. [Citado: 2018-09-25]. [En Línea] [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/22483/Manual\\_APP\\_parte\\_3.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/22483/Manual_APP_parte_3.pdf).
  20. Secretaría de Hacienda y Crédito Público. (2018). *Estrategia para la adopción del Modelado de Información en la Construcción (MIC) en los proyectos de infraestructura de la APF*. [Citado: 2018-10-03]. [En Línea] <https://www.gob.mx/shcp/articulos/estrategia-para-la-adopcion-del-modelado-de-informacion-en-la-construccion-mic-en-los-proyectos-de-infraestructura-de-la-apf?idiom=es>.
  21. Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). *Estrategia para la implementación del Modelado de Información de la Construcción (MIC\*) Estrategias internacionales*. [Citado: 2018-10-08]. [En Línea] <https://www.gob.mx/shcp/acciones-y-programas/experiencias-internacionales-172885?state=published>.
  22. BuildingSMARTalliance. *National BIM Standard-United States*. [Citado: 2018-10-15]. [En Línea] [https://www.nationalbimstandard.org/files/NBIMS-US\\_FactSheet\\_2015.pdf](https://www.nationalbimstandard.org/files/NBIMS-US_FactSheet_2015.pdf).
  23. BIM Forum Chile. *Archivos y descargas en apoyo a la metodología BIM*. [Citado: 2018-10-15]. [En Línea] <http://www.bimforum.cl/descargas/>.
-



- 
24. Singapore Government. *Singapore BIM Guide Version 2.0*. [Citado: 2018-10-25]. [En Línea] <https://www.corenet.gov.sg/general/bim-guides/singapore-bim-guide-version-20.aspx>.
  25. International Organization for Standardization (ISO). *Standards*. [Citado: 2018-10-15]. [En Línea] <https://www.iso.org/standards.html>
  26. Norma Mexicana NMX-C-527-ONNCCE-2017. (2017). *Industria de la Construcción-Modelado de Información de la Construcción – Especificaciones – parte 1: Plan de Ejecución para Proyectos*. ONNCE. México.
  27. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE). *Normalización*. [Citado: 2018-11-15]. [En Línea] <https://www.onncce.org.mx/es/servicios-principal/normalizacion>
  28. Bim Forum International. *Level of development (LOD) Specification part I & Commentary* [Citado: 2019-04-30]. [En Línea] <https://bimforum.org/wp-content/uploads/2019/04/LOD-Spec-2019-Part-I-and-Guide-2019-04-29.pdf>. Abril 2019.
  29. Faro Asbuilt for Autodesk Revit [Citado: 19-04-05] [En Línea] <https://knowledge.faro.com/Software/As-Built/As-Built-for-Autodesk-Revit/PointSense-and-CAD-Plugins-Migration-to-As-Built>.
  30. Penn State University (2011). *BIM Execution Planning Guide and Templates*. Pennsylvania: Penn State University. CIC.
  31. Royal Institution of British Architects, RIBA (2013). *RIBA Plan of Work 2013 Overview*. Londres. [Citado] 19.01.18 [En Línea] <https://www.architecture.com/-/media/gathercontent/riba-plan-of-work/additional/documents/ribaplanofwork2013overviewfinalpdf.pdf>.
  32. RCIS (2017). *BIM for Project Managers*. Reino Unido.
  33. University of Nebraska (2015). *Building Information Modeling in Project Management: Necessities, Challenges and Outcomes*. Estados Unidos de América.
  34. D. Cajade Sánchez and P. del Solar Serrano (2018). *Integration of the BIM execution plan with the guide to the project management body of knowledge (PMBOK) of PMI (Project Management Institute)*. Building and Management, vol.2(3), pp.24-32.
  35. Instituto de Tecnología de la Construcción (ITec). (2019). *Libro blanco sobre la definición estratégica de implementación del BIM en la Generalitat de Catalunya* (1° ed.). Barcelona: Generalitata de Catalunya.
-



- 
36. Kathryn Davies, Suzanne Wilkinson, Dermott McMeel. (2017). *A review of specialist role definitions in BIM guides and standards*. Journal of Information Technology in Construction (ITcon), Vol. 22, pg. 185-203, [En Línea] <http://www.itcon.org/2017/10>
  37. Smidtas, Mantas (2018). *Advanced Data Flows And Visualization Through InfraWorks*. Autodesk University. [Citado] 18.12.18 [En Línea] <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Advanced-Data-Flows-And-Visualization-Through-InfraWorks-2018>.
  38. Autodesk. (2018). *Architecture. Engineering and Construction Collection*. [Citado] 18.09.17 [En Línea] <https://www.autodesk.mx/>
  39. Skanska (2015). *BIM – Building Quality*. Nordic Ecolabelled Printed Matter 441 209. [Citado] 18.10.17 [En Línea] [www.skanska.com/BIM](http://www.skanska.com/BIM)
  40. Kravchenko, Svetlana (2018). *Case study: ArchiCAD: Revisiting Visualization — new opportunities for architects*. Graphisoft. [Citado] 19.03.16 [En Línea] <https://www.graphisoft.com.sg/ftp/marketing/case-studies/graphisoft-case-study-svetlana-2018.pdf>.
  41. © 2017 ALLPLAN GmbH Munich, Germany <https://www.allplan.com/en/references/> © Photos: Allplan GmbH, ACS-Partner; © Text: Peter Rahm, freelance journalist, Gossau ZH.
  42. Nemetschek. (2018). *Building Software – Empowering The Entire AEC Lifecycle*. [Citado] 18.09.17 [En Línea] <https://www.nemetschek.com/>
  43. Bentley Systems. (2018). *AECOSim Building Designer*. [Citado] 18.11.16 [En Línea] <https://www.bentley.com/es/products/product-line/building-design-software/openbuildings-designer>
  44. Bentley Systems, Incorporated. (2018), AECOSim Building Designer for the Bageng Bridge.
  45. Trimble. *The Tallest Building in SEA Built with Tekla and Trimble*. [Citado] 19.06.15 [En Línea] <https://resources.tekla.com/case-studies/the-tallest-building-in-sea-built-with-tekla-and-trimble>
  46. Lash, David. (2019). *Tekla Structures and Revit BIM Workflows*. Tekla Structures. [Citado] 19.04.15 [En Línea] <https://teklastructures.support.tekla.com/support-articles/tekla-structures-revit-bim-workflows>
  47. buildingSMART International. *Industry Foundation Classes (IFC)*. [Citado] 19.05.16 [En Línea] <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>
-



- 
48. ArchiCAD. (2019). Bienvenido a ArchiCAD 22. [Citado] 19.04.02 [En Línea] [https://www.graphisoft.lat/AC22\\_ES\\_WC.pdf](https://www.graphisoft.lat/AC22_ES_WC.pdf)
49. East, E. William (2012). *Construction-Operations Building information exchange (COBie)*. buildingSMART alliance, National Institute of building Sciences, Washington, DC. [Citado] 19.04.03 [En Línea] [http://www.nibs.org/?page=bsa\\_cobie](http://www.nibs.org/?page=bsa_cobie)
50. González Meléndez, Raúl. (2017). *Libro Universal de Análisis de Precios Unitarios*. Ciudad de México: Instituto Mexicano de Ingeniería de Costos (IMIC).
51. Neodata. [Citado] 18.12.06 [En Línea] <https://neodata.mx/descargas/manuales-y-guias-rapidas>
52. Ledezma, Pablo. (2013). *Using Autodesk Products for 5D Design and Construction in Mexico*. Material para presentación: Autodesk University. [Citado] 19.02.15 [En Línea] <https://www.autodesk.com/autodesk-university/>
53. Comisión Federal de Electricidad (CFE). (2019). *Anexos correspondientes a la oferta económica (AE)*. [Citado] 19.04.15 [En Línea] <https://msc.cfe.mx/Aplicaciones/NCFE/Concursos/>
54. Smith. Dawn et al. (2015). *BIM for cost managers: requirements from the BIM model*. Londres: Royal Institution of Chartered Surveyors (RCIS).
55. PricewaterhouseCoopers LLP. (2018). *BIM Level 2 Benefits Measurement Methodology*. Reino Unido: Pwh
56. Ecosoft. *OPUS 18*. [Citado] 19.03.20 [En Línea] <https://opus2015.com.mx/opus-2018.html>
57. Velázquez, Javier. (2016). *Del modelo BIM a los precios Unitarios*. Neodata. [Citado] 19.03.15 [En Línea] <https://neodata.mx/cursos/2016/10/28/archicad-neodata-open-bim>
58. Grabowski, Ralph. (2010). *A Report on Graphisoft ArchiCAD's DWG Workflow*. [Citado] el [En Línea] [https://info.allplan.com/hubfs/07\\_Guides/ALLPLAN\\_Whitepaper\\_Vorteile\\_3D\\_Planung\\_EN.pdf?hsLang=de-de](https://info.allplan.com/hubfs/07_Guides/ALLPLAN_Whitepaper_Vorteile_3D_Planung_EN.pdf?hsLang=de-de). upFront.
59. About BIM Level 2. *Bew-Richards maturity model*. [Citado] 19.05.12 [En Línea] <https://bim-level2.org/en/about/>
60. Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Secretaría de Energía. (2013). *Análisis Costo-Beneficio Proyecto "Construir el Tren Interurbano México Toluca 1era Etapa"*. México.
-



- 
61. Secretaría de Comunicaciones y transporte. *Tren Interurbano México-Toluca*. [Citado 18-06-19] [En Línea] <http://www.sct.gob.mx/transporte-y-medicina-preventiva/transporte-ferroviario-y-multimodal/tren-interurbano-mexico-toluca>.
  62. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2018). *Tren Interurbano México-Toluca Primera Etapa, Libro Blanco*. [En Línea] [http://www.sct.gob.mx/fileadmin/Transparencia/rendicion-de-cuentas/LB/20\\_LB.pdf](http://www.sct.gob.mx/fileadmin/Transparencia/rendicion-de-cuentas/LB/20_LB.pdf)
  63. Secretaría de Comunicaciones y Transporte. (2018) *Presentación para el Tren Interurbano México-Toluca*. Subsecretaría de transporte. [Citado] 18.09.10 [En Línea] <https://www.gob.mx/sct>
  64. Lagos, Francisco. (2016). *Infografía del Tren Interurbano México-Toluca*. La Razón de México [Citado] 19.02.15 [En Línea] <http://visualoop.com/infographics/train-intercity-mexico-toluca>
  65. Alfadiario. (2018). *Concluye perforación bitúnel*. [Citado] 19.02.15 [En Línea] <http://www.alfadiario.com.mx/articulo/2018-06-27/1023421/concluye-perforacion-bitunel-del-tren-interurbano>
  66. Secretaría de Obras y Servicios del Gobierno de la Ciudad de México (SOBSE). *Tren Interurbano México-Toluca*. [Citado] 19.03.18 [En Línea] <https://www.obras.cdmx.gob.mx/proyectos/TrenTramoCDMX>
  67. Presentación de la Secretaría de Energía. (2016). *Proyecto para el Tren Interurbano México-Toluca*. [Citado] 19.03.15 [En Línea] [www.ingenieriaconstruccion.sener](http://www.ingenieriaconstruccion.sener)
  68. Secretaría de Energía. (2018). *Talleres y Cocheras del Tren Interurbano Valle de México – Toluca*. [Citado] 18.12.05 [En Línea] <http://www.infraestructurasytransporte.sener/proyecto/talleres-y-cocheras-del-tren-interurbano-valle-de-mexico-toluca>
  69. Gobierno de la Ciudad de México. (2015). *Contrato de Servicios Relacionados con la Obra Pública DGOP-LPN-F-5-056-15*. Dirección general de obras públicas.
  70. Instituto Nacional del Emprendedor. (2018). *Explotando al máximo la tecnología en la construcción*. [Citado] 19.02.16. [En Línea] <https://www.inadem.gob.mx/explotando-al-maximo-la-tecnologia-en-la-construccion/>
  71. Assali, Mohammad. *Rail: From Planning and Concept to Detailed Design*. Material para conferencia. [Citado] 18.06.19 [En Línea] <https://www.autodesk.com/autodesk-university/>
-



- 
72. Consorcio IUYET. *Tren Interurbano México-Toluca*. Coordinación y supervisión de ingeniería. [Citado] 19.03.15 [En Línea] <http://www.iuyet.mx/proyecto/tren-interurbano-m%C3%A9xico-toluca/129>
73. Ferri, Santiago. *Diseño de estructura civil para Tren Interurbano México-Toluca*. [Citado] 19.04.15 [En Línea] <http://www.bimmaster.top/santiago-ferri/>
74. Obras. (2018). *El Tren México-Toluca operará al 100% hasta el 2020*. [Citado] 18.05.30 [En Línea] <https://obrasweb.mx/construccion/2018/09/28/el-tren-mexico-toluca-operara-al-100-hasta-el-2020>
75. Auditoría Superior de la Federación (ASF). (2019). *Tercera Entrega de Informes Individuales y del Informe General Ejecutivo Fiscalización Superior de la Cuenta Pública 2017*. [Citado] 2019.06.15 [En Línea] [https://www.asf.gob.mx/uploads/55\\_Informes\\_de\\_auditoria/Mensaje\\_ASF\\_Entrega2017\\_20\\_02\\_19.pdf](https://www.asf.gob.mx/uploads/55_Informes_de_auditoria/Mensaje_ASF_Entrega2017_20_02_19.pdf)
76. Crossrail Ltd. (2019). *Europe's Biggest Railway Infrastructure Project*. [Citado] 19.05.18 [En Línea] (<http://www.crossrail.co.uk/construction/>)
77. Wolmar, Christian. (2018). *The Story of Crossrail*. Londres: Head of Zeus Ltd.
78. City of London Corporation. (2015). *The Impact Of Crossrail*. Reino Unido. [Citado] 2019.04.16 [En Línea] <https://www.cityoflondon.gov.uk/business/economic-research-and-information/Pages/default.aspx>
79. Crossrail Ltd. (2019). *Project Information Management Documents*. [Citado] 19.06.20 [En línea] <https://learninglegacy.crossrail.co.uk/learning-legacy-themes/information-management-and-technology/information-management/>
80. Tayloy, Malcomb (2018). *Crossrail Project: Application of BIM (Building Information Modelling) and lessons learned*. Crossrail LTD. [Citado] 19.06.19 [En línea] <https://learninglegacy.crossrail.co.uk/documents/crossrail-project-application-of-bim-building-information-modelling-and-lessons-learned/>
81. Crossrail Ltd. (2019). *Driving Industry Standards for Design Innovation on Major Infrastructure Projects*. [Citado] 19.05.21 [En línea] <http://www.crossrail.co.uk/construction/building-information-modelling/>
82. Malcomb, Taylor (2017), *Crossrail Project: building a virtual versión of London's Elizabeth line*. Institution of Civil Engineers. Vol. 170. [En línea] <http://dx.doi.org/10.1680/jci.17.00022>
83. Ahmad T (2017) *BIM Metrics*. Crossrail Learning Legacy, London, UK. [Citado] 19.05.19 [En Línea] <http://learninglegacy.crossrail.co.uk/documents/bim-metrics/>
-





- 
84. Lau, Jimmy (2017). *BIM for Infrastructure: Road and Rail*. Bentley Systems. [Citado] 19.05.20 [En Línea] [http://sibima.pu.go.id/pluginfile.php/32709/mod\\_resource/content/1/09-Bentley%20Systems.pdf](http://sibima.pu.go.id/pluginfile.php/32709/mod_resource/content/1/09-Bentley%20Systems.pdf)
85. Bentley Systems. (2018). *Bentley Systems adquiere Synchro Software con el fin de ampliar los flujos de trabajo digitales para la ejecución de proyectos de infraestructura mediante el modelado de construcción 4D*. [Citado] 19.02.15 [En Línea] <https://www.bentley.com/es/about-us/news/2018/june/20/synchro-acquisition>
86. Bentley Systems. (2015). *ProjectWise Scenario Services*. [En Línea] <https://www.bentley.com/resources/scenario-services>
87. Middle East Business Intelligence (2017). *BIM Revolution or Evolution*. Bentley Systems. UK.
88. National Audit Office (2019). *Completing Crossrail*. Department of Transport. Reino Unido.
89. Parsi, N. (2018). *Learning Track: Crossrail's Lessons Learned Framework Will Help Other Megaprojects On Track*. PM Network, 32, 62-69. [En Línea] <https://www.pmi.org/learning/library/crossrail-lessons-learned-11367>
90. Wright, Palczynski et al (2017). *Crossrail programme organization and management for delivering London's Elizabeth line*. ICE Publishing. [En Línea] <https://learninglegacy.crossrail.co.uk/wp-content/uploads/2017/09/1R-001-Programme-organisation-and-management.pdf>



---

---

# ANEXOS

---

## **ANEXO A: Formatos para análisis de precios unitarios.**





	PROYECTO/TRONTO No.	ANEXO
	PARA:	AF.4
SUBDIRECCIÓN DE:		HORA DE:
NOMBRE O RAZÓN SOCIAL	FIRMA DE LA PERSONA FÍSICA O MORAL	
MEDIOS DE IDENTIFICACIÓN		

### COSTOS HORARIOS DE MAQUINARIA Y EQUIPO DE CONSTRUCCIÓN

MAQUINARIA O EQUIPO No.	CLASIFICACION	DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA	
<b>DATOS GENERALES:</b>			
TIPO DE COMBUSTIBLE	CASOLINA	DIESEL	
		OTRO	
(Pe) PRECIO DE LA MÁQUINA	\$	(CC) COEFICIENTE DE ADMINISTRACIÓN	
(Pv) VALOR DE LAS LLANTAS	\$	(C) CAPACIDAD DE COMBUSTIBLE	litros
(Pa) VALOR PIEZAS ESPECIALES	\$	(C1) HORAS ENTRE CAMBIO DE LUB	HORAS
(Vm) VALOR DE LA MAQUINARIA O EQUIPO	\$	(CL) COEFICIENTE DE LUBRICANTE	
(Ar) VALOR DE RESCATE	% Vm	(C2) CANT. DE COMBUSTIBLE UTILIZADO	litros
(Vn) VIDA ÚTIL NOMINAL	HORAS	(C3) PRECIO DE LUBRICANTE	\$
(Hn) INDICADOR ESPECÍFICO ESPECÍFICO		(C4) CANT. DE OILS Y LUBRICANTES	litros
(I) TASA DE INTERÉS ANUAL	%	(C5) CONSUMO/CAMBIO LUBRICANTE	litros
(Hez) HORAS EFECTIVAS POR AÑO	HORAS	(C6) PRECIO DE LUBRICANTE	\$
(Is) PRIMA ANUAL PROMEDIO SEGUROS	%	(W) VIDA DE LAS LLANTAS	HORAS
(EM3) INDICADOR ESPECÍFICO MERCADO 330		(Ve) VIDA PIEZAS ESPECIALES	HORAS
(Ks) MANTENIMIENTO MAYOR Y MENOR		(Et) SALARIO POR TURNO	\$ / hora
(H7) POTENCIA NOMINAL	HP	(H) HORAS EFECTIVAS POR TURNO	HORAS
(Fs) FACTOR DE OPERACIÓN			
(HPop) POTENCIA OPERACIÓN (HP x Fs)	HP		
<b>I.- COSTOS FIJOS</b>			
1.- DEPRECIACIÓN	$D = (Vn - v) / A$	=	
2.- INVERSIÓN	$I = (Vn - v) / (2 \cdot Hea)$	=	
3.- SEGUROS	$S = (Vm - Vn) \cdot Is / 360$	=	
4.- MANTENIMIENTO	$M = Ks \cdot D$	=	
(1) SUMA COSTOS FIJOS			
<b>II.- COSTOS POR CONSUMOS</b>			
11.- COMBUSTIBLES	$Cc = Gh \cdot Pc - Cc \cdot Hpop \cdot PC$	=	
12.- OTRAS FUENTES DE ENERGÍA		=	
13.- LUBRICANTES		=	
14.- LLANTAS	$L = Pn / Vn$	=	
15.- PIEZAS ESPECIALES	$Pe = Pa / Va$	=	
(2) SUMA COSTOS POR CONSUMOS			
<b>III.- COSTOS POR SALARIOS DE OPERACIÓN</b>			
CATEGORÍAS	CANTIDAD	SALARIO REAL	IMPORTE
(3) = \$			
III.1.- OPERACIÓN $Po = Sr \cdot H$			\$
(3) SUMA COSTOS POR SALARIO DE OPERACIÓN			\$
Pve = COSTO DIRECTO POR HORAS (1) + (2) + (3) =			\$



	PROYECTO MINIFUNDO (Mn)	ANEXO AF 5
SUBDIRECCION DE:	PARA:	HOJA DE
NUMERO O RAZON SOCIAL	FIRMA DE LA PERSONA FISICA O MORAL	

**C O S T O S   I N D I R E C T O S**

**MODELO DE FORMATO**

NOMBRE DEL CONCEPTO DE GASTO	IMPORTE DE LA ADMINISTRACION DE OFICINA	
	CENTRAL ANUALIZADA (CJA)	DE CAMPO (CJC)
<b>I. Honorarios, sueldos y prestaciones de los siguientes conceptos:</b> a. Personal directivo. b. Personal técnico. c. Personal administrativo. d. Cuota patronal del Seguro Social y del Instituto del Fondo Nacional de la Vejez para los Trabajadores. e. Prestaciones a que obliga la Ley Federal del Trabajo para el personal enunciado en los incisos a., b. y c. f. Pasajes y viáticos del personal enunciado en los incisos a., b. y c. g. Los que derivan de la suscripción de contratos de trabajo, para el personal enunciado en los incisos a., b. y c.		
<b>SUBTOTAL</b>		
<b>II. Prestaciones del personal que interviene en el costo directo: (consignados solo en el indirecto de campo)</b> <b>Nota de acuerdo al contrato colectivo de trabajo por obra determinada SUTERM</b> a. Ayuda de despensa. b. Ayuda de transporte. c. Ayuda de renta de casa. d. Terminación parcial o total de la obra (30 días). e. Costos de sepelio.		
<b>SUBTOTAL</b>		
<b>III. Depreciación, mantenimiento y rentas de los siguientes conceptos:</b> a. Fritidos y locales. b. Locales de mantenimiento y guarderías. c. Bodegas. d. Instalaciones generales. e. Equipos, muebles y enseres. f. Depreciación o renta, y operación de vehículos. g. Campamentos.		
<b>SUBTOTAL</b>		
<b>IV. Servicios de los siguientes conceptos:</b> a. Consultores, sesiones, talleres y laboratorios. b. Estudios e investigaciones.		
<b>SUBTOTAL</b>		
<b>V. Flotas y acarreos de los siguientes conceptos:</b> a. Campamentos. b. Equipo de construcción. c. Planas y elementos para instalaciones. d. Mobiliario.		
<b>SUBTOTAL</b>		



	PROYECTO No:	ANEXO AL 5
AL DIRECCIÓN DE:	PARA:	FOLIA DE
NOMBRE O RAZÓN SOCIAL	FIRMA DE LA PERSONA FÍSICA O MORAL	

**C O S T O S   I N D I R E C T O S**

**MODELO DE FORMATO**

NOMBRE DEL CONCEPTO DE GASTO	IMPORTE DE LA ADMINISTRACIÓN DE OFICINA	
	CENTRAL ANUALIZADA (CIA)	DE CAMPO (CIC)
<b>VI. Gastos de oficina de los siguientes conceptos:</b> a. Papelería y útiles de escritorio. b. Correo, fax, teléfono, telegrafo, radio. c. Equipo de computación. d. Situación de fondos. e. Copias y duplicados. f. Luz, gas y otros consumos. g. Gastos del vehículo.		
<b>SUBTOTAL</b>		
<b>VII. Capacitación y adiestramiento.</b>		
<b>VIII. Seguridad e higiene.</b>		
<b>IX. Seguros y fianzas.</b>		
<b>X. Trabajos previos y auxiliares de los siguientes conceptos:</b> a. Construcción y conservación de caminos de acceso. b. Montajes y desmontajes de equipo. c. Construcción de instalaciones generales: 1. De campamentos. 2. De equipo de construcción. 3. De plantas y elementos para instalaciones.		
<b>SUBTOTAL</b>		
<b>TOTAL</b>		

**DATOS PARA EL CÁLCULO DEL COSTO INDIRECTO (CI) Y EL PORCENTAJE DE INDIRECTO (I)**

CONCEPTOS DE COSTOS	IMPORTE \$
<b>COSTO DIRECTO (CD)</b>	
<b>CAPACIDAD DE CONTRATACIÓN (CC)</b>	
<b>COSTO INDIRECTO DE ADMINISTRACIÓN CENTRAL ANUALIZADA (CIA)</b>	
<b>COSTO INDIRECTO DE ADMINISTRACIÓN DE CAMPO (CIC)</b>	
<b>COSTO INDIRECTO (CI) = [(CIA/CC)/CD]+(CIC)</b>	
<b>I = [(CI)/(CD)] 100</b>	%



	PROCEDIMIENTO No.:	FECHA DE INICIO:	ANEXO
	PARA:	FECHA DE TERMINACIÓN:	AE 6
SUBDIRECCIÓN DE:	NOMBRE O RAZÓN SOCIAL:	PLAZO DE EJECUCIÓN:	HOJA DE:
		FIRMA DE LA PERSONA FÍSICA O MORAL:	

ANÁLISIS, CÁLCULO E INTEGRACIÓN DEL COSTO POR FINANCIAMIENTO									
DATOS									
Costo Directo (CD)	\$	IEE: Indicador Económico Específico							
Costo Indirecto (CI)	\$	Tasa de Interés mensual							
I	%								
PROGRAMA DE EGRESOS E INGRESOS A COSTO DIRECTO MÁS COSTO INDIRECTO									
Concepto	1		2		Periodos				Total
Egresos									
EO									
EI									
Suma (E)									
Ingresos (In)									
Anticipo									
Estimaciones con amortización del anticipo									
Suma (In)									
Diferencia(E-In)									
Acumulado									
Intereses (CF)									
CF=	F = [CF / (CD + CI)]100 = (		/		) 100 =		%		



<b>CFE</b>	PROCEDIMIENTO No.:	ANEXO A E S
	PARA:	HECHA DE
NUMERO DE RAZON SOCIAL	FIRMA DE LA PERSONA FISICA O MORAL	

**CARGOS ADICIONALES**

**MODELO DE FORMATO**

**DETERMINACIÓN DE LOS CARGOS ADICIONALES**

IMPUESTOS LOCALES (IL) \$ \_\_\_\_\_

IMPUESTOS FEDERALES (IF) \$ \_\_\_\_\_

$$X = CD + CI + CF + CU + IL + IF$$

**DATOS**

CD = COSTO DIRECTO DE LA PROPUESTA: \$ \_\_\_\_\_

CI = COSTO INDIRECTO DE LA PROPUESTA: \$ \_\_\_\_\_

CF = COSTO POR FINANCIAMIENTO DE LA PROPUESTA: \$ \_\_\_\_\_

CU = CARGO POR UTILIDAD DE LA PROPUESTA: \$ \_\_\_\_\_

IL = IMPUESTOS LOCALES (indicados en este anexo) \$ \_\_\_\_\_

IF = IMPUESTOS FEDERALES (indicados en este anexo) \$ \_\_\_\_\_

X = SUMA DE LOS COSTOS Y CARGOS \$ \_\_\_\_\_

**GAS** =  $(0.005 X) / 0.995$

GASTOS DE **AUDITORIA** Y SUPERVISION: (GIS) \$ \_\_\_\_\_

CARGOS ADICIONALES (CA) =  $IL + IF + \text{GAS}$  = \$ \_\_\_\_\_

$A = \left( \frac{CA}{CD+CI+CF+CU} \right) 100 =$  \_\_\_\_\_ %







	PROCEDIMIENTO N°:	FECHA DE INICIO:	ANEXO
	PARA:	FECHA DE TERMINACION:	AE 12
	SUBSECCION DE:	PLAZO DE EJECUCION:	NOMBRE O RAZON SOCIAL:
		FIRMA DE LA PERSONA FISICA O MORAL	

### M O D E L O D E F O R M A T O

#### PROGRAMA DE EJECUCION GENERAL DE LOS TRABAJOS

N°	NOMBRE DE LA PARTIDA, SUBPARTIDA O CONCEPTO	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	FIT	FIT	AÑO						TOTAL		
						PERIODO	1	2	3	4	5		n	
	CANTIDAD													
	BARRA													
	IMPORTE													
	CANTIDAD													
	BARRA													
	IMPORTE													
	CANTIDAD													
	BARRA													
	IMPORTE													
	CANTIDAD													
	BARRA													
	IMPORTE													
	CANTIDAD													
	BARRA													
	IMPORTE													
	CANTIDAD													
	BARRA													
	IMPORTE													
IMPORTE DE ESTA HOJA														
IMPORTE ACUMULADO HASTA LA HOJA ANTERIOR														
IMPORTE ACUMULADO HASTA ESTA HOJA														



## ANEXO B: Extracto de convocatoria



SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS  
Dirección General de Obras Públicas  
Dirección de Procedimientos de Licitación de Obras Públicas  
Subdirección de Contratos y Contratos de Obras Públicas

CDMX

Vigilar que la empresa de supervisión extienda, capture o registre diario de avance de las obras, a través del Sistema de Información Geográfica.

Elaborar informes ejecutivos del desempeño de la supervisión, para permitir a la DGOP la oportuna toma de decisiones.

El Licitante deberá elaborar semanalmente presentaciones ejecutivas digitales o impresas para la alta dirección, en coordinación con la Residencia de Obra.

El Licitante deberá mostrar diariamente y en tiempo real mediante el Sistema de Información Geográfica, el estado físico de las obras transmitido por la supervisión, a través de dispositivos electrónicos equipados con cámaras web.

### 0.5 Apoyo Técnico Administrativo de ingeniería geodésica.

Se realizarán observaciones satelitales en vértices de poligonales de apoyo mediante el sistema de posicionamiento por satélite GPS (Sistema de Posicionamiento Global) o GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite), obteniendo información geodésica de latitud, longitud y altura elipsoidal.

La información geodésica de los vértices será obtenida por el "Módulo Estático", los parámetros de control a emplear serán los siguientes:

- Máscara de elevación: 15°
- Número de satélites mínimos: 6
- El tiempo de observación a emplear en cada línea base será en función de la calidad geométrica de la situación de los satélites (GDOP (Geometric Dilution of Precision) garantizando siempre GDOP menor a 6.

La precisión de posicionamiento horizontal será a mayor de 1:100,000. Para garantizar esta precisión será necesario emplear equipos Leica Viva GNSS modelo GS16 o similar o de superior calidad, que cuenten con una mínima precisión horizontal de fabricación de 3.0 mm + 3.1 ppm.

Una vez obtenida esta información, se procederá a descargar los archivos (datos crudos) del equipo GPS o GNSS, y se obtendrán los archivos RINEX del INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), preferentemente de la Estación Toluca, con la finalidad de ligar la información de campo, con la RENA (Red Geodésica Nacional Activa) del INEGI, asociados al elipsoide WGS84 zona 14, y obtener las coordenadas UTM (Universal Transversal Mercator) de los puntos de control.

Con base en los puntos de control terrestre con coordenadas UTM mencionadas en el párrafo anterior, se procederá a realizar los trabajos de transformación de coordenadas para obtener el Marco de Referencia Horizontal, que servirá como base para realizar el levantamiento topográfico de la zona de estudio, el cual se obtiene por el método de factores de escala, que permite transformar coordenadas UTM a coordenadas topográficas.

Derivado que la obra se encuentra en proceso, El Licitante deberá presentar un escrito Bajo Protesta de Fiel Cumplimiento que cubra con el equipo mencionado en este apartado a que estos serán adquiridos y puestos en operación en un plazo máximo de 16 días naturales.

1-Apoyo Técnico Administrativo con ingeniería topográfica para generar un Modelo Digital de Terreno (MDT) a través de la tecnología High Definition Surveying (HDS), utilizando equipo escáner láser con resolución mínima de 1'000,000 de puntos por segundo.

Con la finalidad de ventilar la información topográfica en algunas zonas específicas de las obras del Tren Interurbano de Pasajeros Toluca - Valle de México, inicialmente se elaborará un plan de levantamiento para determinar el número de estaciones a escanear, considerando el radio de alcance y las posibles interferencias o obstrucciones existentes, en cada estación se encontrará el equipo a través de la plomada láser integrada, se procederá a realizar los escaneos para producir los modelos digitales tridimensionales, el escáner láser 3D rota horizontalmente 360°, y un espejo deflece el haz de medida hacia arriba y hacia abajo. El rayo láser es usado para medir la distancia de los objetos que encuentre en su trayectoria, a una velocidad instantánea de escaneo, obteniendo con esto los beneficios de HDS (High Definition Surveying -



## SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS

Dirección General de Obras Públicas  
Dirección de Procedimientos de Licitación de Obras Públicas  
Subdirección de Informes y Contratos de Obras Públicas

# CDMX

Los datos serán almacenados en un disco de estado sólido (SSD) integrado o a través de un USE externo.

Derivado que la obra se encuentra en proceso, El Licitante deberá presentar un escrito Bajo Protesta de Verdad que cuente con el equipo mencionado en este apartado o que estos sean adquiridos y puestos en operación en un plazo máximo de 15 días naturales.

1.-Apoyo Técnico Administrativo con tecnología UAV (Vehículo aéreo no tripulado).

En caso de que alguna zona de obra sea necesaria para realizar los trabajos por métodos topográficos, la información planimétrica y altimétrica podrá obtenerse a través del método integrable, con la utilización de drones, ubicando puntos de control horizontal y vertical alrededor de la zona por levantar, con la finalidad de que el nivel de digital de elevación (MDE) y la topografía aérea pueda ser resuelta, y así poder entregar una ortofoto digital georeferenciada del sitio como producto final.

Esta actividad en la cual se emplearan drones sera para la inspección de estructuras elevadas, así como la simulación de eventos especiales como se requiere en vuelos aéreos, como por ejemplo: incendios, accidentes, simulaciones de evacuación, etcétera, para maximizar el impacto visual del video.

El Vehículo aéreo no tripulado deberá cumplir obligatoriamente con la circular CO AV-2017/C R2 de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), que establece los requerimientos para operar el Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS).

Derivado que la obra se encuentra en proceso, El Licitante deberá presentar un escrito Bajo Protesta de Verdad que cuente con el equipo mencionado en este apartado o que estos sean adquiridos y puestos en operación en un plazo máximo de 15 días naturales.

3.6 Apoyo Técnico Administrativo para el control de BIM (Building Information Modeling) (Modelado de Información para la Construcción)

El Licitante deberá contar con arquitectos e ingenieros especializados en el manejo de BIM, quienes coordinarán el proyecto proporcionado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, para que la DGOP pueda planear, diseñar, controlar los trabajos y administrar las obras del Tron Interurbano de Parajales - Oluca - Valle de México.

En la integración del sistema BIM, El Licitante deberá permitir que todos los involucrados del proyecto que utilice la DGOC permitan coordinarlos, se medire la precisión, se reduccion el desperdicio y tomen decisiones informadas desde el inicio de los servicios.

El sistema deberá de detectar oportunamente las posibles interferencias y afectaciones de la infraestructura existente, en la etapa de diseño se validará y en su caso se optimizará el proyecto en sus diferentes componentes, como son: el trazo de la línea, terracerías, cimentaciones, estructuras e instalaciones, en la fase de construcción, el sistema BIM deberá permitir detectar variaciones del proyecto para la toma de decisiones, y tendrá el control de avance de obra y pago de estimaciones, a través del permanente monitoreo, mantenimiento actualizados los planos de obra terminada.

El sistema, mantendrá actualizada la información precisa en cualquier punto del nivel del proyecto y en tiempo real se podrá disponer de planos CAD, reportes, simulaciones y análisis comunicando y coordinando simultáneamente a todos los involucrados en el proyecto que autorice la DGOC.

Los productos entregables que deberán generar El Licitante a través de este proceso son: el control de documentos, detección de interferencias, generación de archivos DWG, PDF, JPG donde serán generados los planos "As Built", y presentaciones personalizadas formalizadas para presentaciones ejecutivas, interconexión con bases de datos externas para control y cálculo de costos, entre otros, por medio de procesos y flujo de trabajo colaborativo en tiempo real.



SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS  
 Dirección General de Obras Públicas  
 Dirección de Procedimientos de Licitación de Obras Públicas  
 Subdirección de Concursos y Contratos de Obras Públicas

CDMX



Niveles BIM SOLICITADOS POR LA DGOC

Nivel BIM DGOC	Uso BIM	LOD mínimo	Entregables	Intervalo en la vida del proyecto	Responsable	Software mínimo requerido	Equipo mínimo necesario
1. Proyecto		200	Por parte de la SCT	Autorización	-SCT -DGOP	<ul style="list-style-type: none"> <li>Software para desarrollo de modelos multidisciplinarios y colaborativos BIM. (REVIT o Equivalente).</li> </ul>	<p><b>Equipo de Escritorio:</b>            Procesador: Intel Xeon E5-2620V3 2.4 1666 6C            Disco Duros: 128GB SATA 1st SSD y 2TB 7200 RPM SATA 2nd HDD.            RAM 16GB DDR4-2133 (2x8GB)            Tarjeta de Video: NVIDIA Quadro K2200 4GB 1st GFX            Win8.1 Pro 64</p> <p><b>Equipo Portátil:</b>            Procesador: Core i7-4710MQ Quad Core            2.5GHz/3.5GHz 6MBCache)            Disco Duro: 1TB 7200 rpm, 17.3"            RAM: 16GB 1600 MHz DDR3 VIDEO: NVIDIA Quadro K1100M 2GB.            SO: Win 8.1 Prof</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>2.- Proyecto Interfazadas</li> <li>3.- Cuantificación</li> <li>4.- Documentación</li> <li>5.- Simulación</li> </ul>	1- Coordinación 3D 2- Autoría de Diseño 3- Análisis de Ingeniería (Estructural e Instalación e) 8) 4- Estimación de costos	200-300	Proyecto a ejecutar	Inicio (plan detallado)	-Contratista. -Supervisión Externa. -Supervisión Interna (DGOC).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Software para desarrollo de modelos multidisciplinarios y colaborativos BIM (REVIT o Equivalente).</li> <li>Software de integración y coordinación de modelos BIM. (NavisWork o Equivalente).</li> <li>Software de Programación de Tareas. (Project o Primavera).</li> </ul>	<p><b>Equipo de Escritorio:</b>            Procesador: Intel Xeon E5-2620V3 2.4 1666 6C            Disco Duros: 128GB SATA 1st SSD y 2TB 7200 RPM SATA 2nd HDD.            RAM 16GB DDR4-2133 (2x8GB)            Tarjeta de Video: NVIDIA Quadro K2200 4GB 1st GFX</p>





SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS  
 Dirección General de Obras Públicas  
 Dirección de Planeamiento y Administración de Obras Públicas  
 Subdirección de Concursos y Contratos de Obras Públicas

**CDMX**

Equipo BIM que integran los Responsables de cada uno BIM

**1- Programación preventiva del mantenimiento de la Construcción**

- BIM Manager
- Coordinador BIM Arquitectura y Estructuras.
- Coordinador BIM- Construcción
- Modeladores Especialistas BIM

**2 Gestión de Activos**

- BIM Manager
- Coordinador BIM Arquitectura y Estructuras.
- Modeladores Especialistas BIM

**3- Planeación y Control 3D**

- BIM Manager
- Coordinador BIM Arquitectura y Estructuras.
- Modeladores Especialistas BIM

**4- Coordinación 3D**

- BIM Manager

**5- Autoría (creación) de Diseño**

- Coordinador BIM Arquitectura y Estructuras.
- Modeladores Especialistas BIM

**5- Análisis de Ingeniería (Estructural e Instalaciones)**

- BIM Manager
- Coordinador BIM MEP
- Modeladores Especialistas BIM

**6 Estimación de costos**

- Coordinador BIM Arquitectura y Estructuras.
- Coordinador BIM- Construcción
- Modeladores Especialistas BIM

**Gerente BIM**

**Perfil.**

El BIM Manager debe poseer una combinación de habilidades involucra una gran capacidad inquisitiva, de detectar requerimientos ambiguos y de resolver conflictos interpersonales.

Una de sus tareas más importantes es el reconocimiento de los riesgos que afectan directamente las probabilidades de éxito del proyecto, y la constante medición, la cual le informa de dicho riesgo a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

El gerente BIM deberá reducir los riesgos significativamente, a menudo adoptándose a una política de comunicación abierta, asegurándose de que cada participante tenga una oportunidad de expresar sus opiniones y preocupaciones, es el responsable de tomar las decisiones necesarias de manera tal que el riesgo sea controlado y la incertidumbre reducida al mínimo.

**Responsabilidades.**

- Dirigir el Proyecto y revisar que la ejecución se ajuste al plan de ejecución BIM
- Coordinar reuniones con la PMC del Proyecto.
- Coordinar reuniones entre el grupo de Coordinadores BIM y los involucrados.



**SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS**  
 Dirección General de Obras Públicas  
 Dirección de Procedimientos de Licitación de Obras Públicas  
 Subdirección de Contratos y Contratos de Obras Públicas

**CDMX**

- Llevar el cumplimiento al avance del Plan de Ejecución BIM.
- Llevar a cabo las bases de programación del proyecto.
- Coordinar los contratos derivados del proyecto con los proveedores de servicios.
- Llevar un control sobre el cronograma del proyecto.

**Coordinador BIM**

**Perfil**

Programar, dirigir y controlar el proceso BIM cumpliendo con los requerimientos de productividad y rendimiento revisando los estándares de calidad exigidos y administrando eficientemente los recursos humanos a su cargo.

El Coordinador BIM se destaca como la figura clave en la planificación, ejecución y control del proyecto y es el responsable de impulsar el avance del mismo mediante la toma de decisiones tendientes al cumplimiento de los objetivos.

**Responsabilidades**

- Planificar, gestionar y controlar los recursos y tareas necesarias para llevar a cabo las tareas correspondientes al proyecto.
- Definir el perfil del equipo de trabajo del proyecto y asignar las responsabilidades.
- Establecer métodos, técnicas y herramientas a utilizar por el equipo de trabajo.
- Hacer el seguimiento al modelo y la información relacionada a las partes involucradas.
- Garantizar que los miembros de su equipo cumplan con el plan de ejecución BIM establecido.

**Especialista BIM**

**Perfil**

La calificación de especialista no sólo está vinculada a los conocimientos o al título habilitante, en el marco de este proyecto el especialista BIM debe contar con al menos una certificación como especialista en alguna disciplina BIM.

**Responsabilidades**

- Ejecutar las tareas y paquetes de trabajo asignados.
- Seguir cabalmente los estándares definidos en el plan de ejecución BIM.
- Utilizar los métodos, técnicas y herramientas definidas en el plan de ejecución.
- Colaborar con los miembros de su equipo para cumplir con el plan de ejecución BIM establecido.

**0.7 Metodología de los trabajos para el apoyo técnico.**

La Metodología de Trabajo propuesta por el licitante, deberá de ser acorde a las funciones señaladas en cada una de las áreas responsables de la ejecución de los trabajos y con las especificaciones que se mencionan en estos Términos de Referencia.

Dicha Metodología deberá señalar sistemas, tecnologías, procedimientos por utilizar, alternativas por analizar, profundidad del estudio y forma de presentación de los resultados, según el caso.

La descripción de la metodología que se aplicará para la ejecución de los trabajos, deberá de tomar como base, para la realización del desarrollo del software, lo establecido en la Norma Mexicana NMX-UBW03-NYCE-2006, la cual fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 15 de Agosto de 2006, bajo los Estándares para el Modelado de Procesos de Software (Miprosoft), así como las especificaciones de los estándares, indicados por la Norma Internacional IEEE Recommended Practice for Software Requirement Specifications ANSI/IEEE 830-1998.

Se deberá de elaborar un diagrama arquitectónico de la arquitectura de solución, para el funcionamiento del SaaS (Software as a System), así como sus aplicaciones, describiendo detalladamente con los componentes (módulo y APIs).

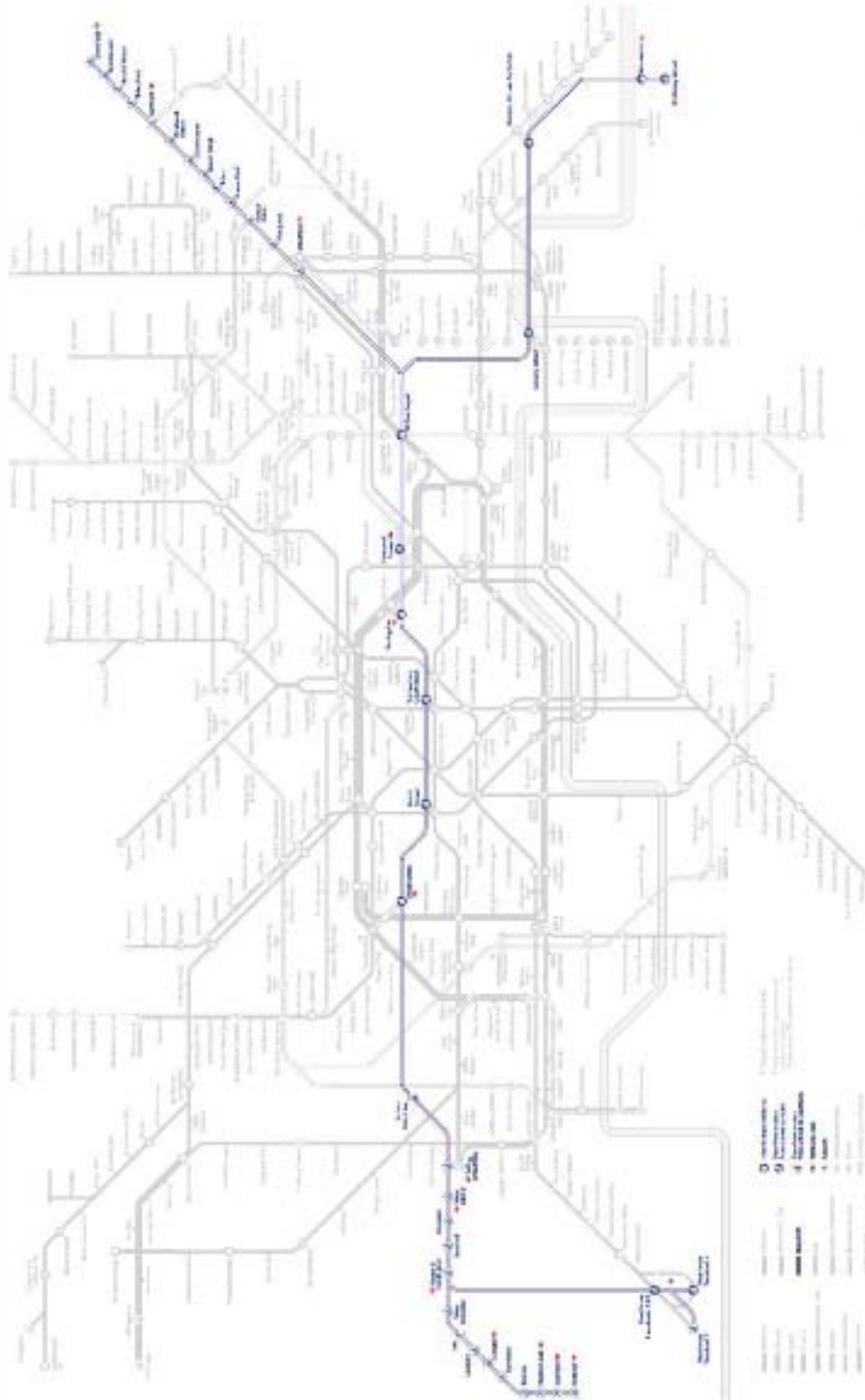
Además de lo anterior, en la metodología propuesta deberán de describirse los sistemas operativos que se emplearán para los accesos a la información, por parte de los usuarios de la DGOP, la coordinación, y de los supervisores externos.





## ANEXO C: Mapa de Crossrail de Londres

The Elizabeth line - December 2019



MAYOR OF LONDON