

Universidad de Concepción  
Campus Los Ángeles  
Departamento de Ciencias  
Geodésicas y Geomática

Msc. Gustavo Godoy Uribe  
Profesor Patrocinante



**ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA BIM EN EL DESARROLLO DE  
OBRAS DE CONSTRUCCIÓN EN EL MARCO DE LA INGENIERÍA  
GEOMÁTICA**

INFORME DE PROYECTO DE TÍTULO

Ingeniería Geomática

Fabian Mauricio E. Salazar Montalba  
Alumno

LOS ÁNGELES, JULIO DE 2018



## DEDICATORIA



## AGRADECIMIENTOS



## RESUMEN

BIM es un conjunto de políticas, procesos y tecnologías interactivas que generan una metodología para gestionar el diseño esencial del edificio y los datos del proyecto en formato digital a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio. El sistema BIM, consigue que toda la información de un proyecto de construcción se mantenga integrada y conectada en un único modelo colaborativo, de manera que cuando el proyecto digital reciba cualquier tipo de cambio o modificación se ejecute de manera extendida, lo cual garantiza la integridad y la actualización de todos los datos, pudiendo trabajar en el mismo diseño e incluso de manera simultánea en distintas empresas y/o profesionales.

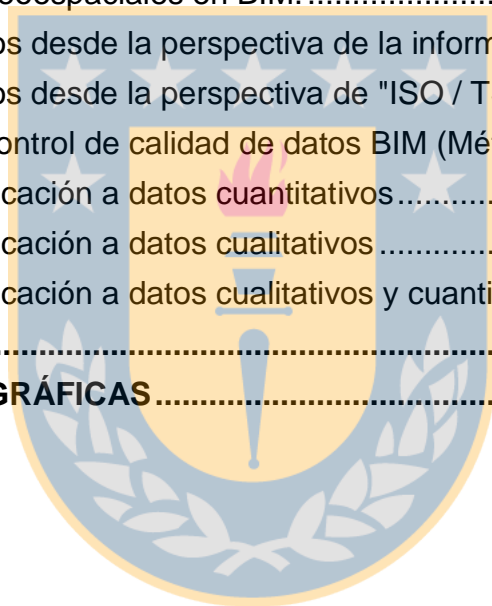
En Chile, Planbim es una iniciativa que busca modernizar la industria de la construcción mediante un plan público-privado que tiene por objetivo principal, aumentar la productividad y sustentabilidad de la industria de la construcción, mediante la incorporación de metodologías y tecnologías avanzadas de información.

En este trabajo se plantea buscar una revisión técnica de BIM y el estado del arte a nivel nacional e internacional, además de relacionar la definición de la Geomática y algunas de sus disciplinas que tienen algún grado de vinculación con las tecnologías BIM.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Antecedentes. ....	1
1.2 Objetivos. ....	4
1.2.1 Objetivo General. ....	4
1.2.2 Objetivos Específicos. ....	4
1.3 Línea de Trabajo. ....	4
<b>2 MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>6</b>
2.1 Marco de Referencia BIM .....	6
2.1.1 Campos BIM .....	8
2.1.1.1 Interacción y solapamiento de campos BIM .....	9
2.1.2 Etapas BIM. ....	11
2.1.2.1 Flujo de Datos BIM .....	12
2.1.2.2 Fases del ciclo de vida del proyecto. ....	12
2.1.3 Focos BIM .....	13
2.2 Implementación BIM .....	13
2.2.1 Implementación BIM en el Mundo .....	13
2.2.2 Estándares BIM en el mundo .....	16
2.2.2.1 Ejemplo: National BIM Standard (EE. UU.) .....	17
2.2.3 Implementación BIM Chile .....	20
2.2.3.1 PlanBIM, Definición y Objetivos .....	20
2.2.3.2 Metas y Líneas de Acción. ....	21
2.2.4 MOP para impulsar BIM. ....	23
2.2.4.1 Firma de Acuerdo público-privado .....	23
<b>3 GEOMÁTICA EN BIM</b> .....	<b>25</b>
3.1 La Geomática en los proyectos de construcción .....	25
3.2 Definiciones de Técnicas Relacionadas con BIM .....	26
3.2.1 Geodesia en los proyectos de construcción .....	26
3.2.2 Topografía en los proyectos de construcción .....	27
3.2.2.1 Pasos principales de BIM (Revit) aplicada a la topografía convensional. ....	29
3.2.3 Fotogrametría y la teledetección en los proyectos de construcción .....	33
3.2.3.1 Automatización de Scanner Laser 3D y BIM .....	34

3.2.3.3 Estándares para modelar .....	36
3.2.3.4 Estado del arte.....	36
3.2.3.5. Método de Charles Thomson y Jan Boehm.....	37
3.2.4 SIG en los proyectos de construcción .....	38
<b>4 DATOS GEOESPACIALES EN BIM .....</b>	<b>41</b>
4.1 Interoperabilidad .....	41
4.1.1 Formato IFC .....	42
4.1.2 Formato CityGML .....	43
4.1.3 Modelo BIM/GIS-IFC/CityGML .....	45
4.2 Calidad de datos Geoespaciales en BIM. ....	48
4.2.1 Calidad de datos desde la perspectiva de la información geográfica....	48
4.2.2 Calidad de datos desde la perspectiva de "ISO / TS 8000-1: 2011.....	54
4.2.3 Evaluación y Control de calidad de datos BIM (Método NIST).....	57
4.2.4 Ejemplo de aplicación a datos cuantitativos.....	61
4.2.5 Ejemplo de aplicación a datos cualitativos .....	61
4.2.6 Ejemplo de aplicación a datos cualitativos y cuantitativos .....	62
<b>5 CONCLUSIONES .....</b>	<b>64</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>72</b>







## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Algunos reportes y guías BIM. Fuente: <a href="http://tinyurl.com">http://tinyurl.com</a> .....	6
Tabla 2: Resultado de la implementación de BIM en el tiempo. Fuente: <a href="https://www.arquitecturayempresa.es">https://www.arquitecturayempresa.es</a> .....	15
Tabla 3: Resultado de la implementación de BIM en el tiempo en el grupo de los Países Escandinavos. Fuente: <a href="https://www.arquitecturayempresa.es">https://www.arquitecturayempresa.es</a> .....	15
Tabla 4: Primeros Países en establecer estándares BIM en el mundo. (Sanchez, 2016) .....	17



## LISTADO DE FIGURAS

Ilustración 1: Representación 3D de un Marco de Referencia. (Succar, 2008) .....	7
Ilustración 2: Interacciones BIM (Succar, 2008) .....	9
Ilustración 3: Esquema de solapamiento en campos de actividad BIM. (Succar, 2008) .....	10
Ilustración 4: Etapas BIM. (Succar, 2008) .....	11
Ilustración 5: Ejemplo de fases en el ciclo de vida de un Proyecto. (Succar, 2008) .....	13
Ilustración 6: Alcance del Comité de proyecto National BIM Standard. Fuente: <a href="https://www.nationalbimstandard.org/about">https://www.nationalbimstandard.org/about</a> .....	18
Ilustración 7. Colaboración y Transparencia de información. Fuente: Estrategia publica BIM 2020. (Soto, 2018) .....	21
Ilustración 8 Metas 2020 y 2025. Fuente: Estrategia publica BIM 2020. (Soto, 2018) .....	22
Ilustración 9: Trabajo de Topografía relacionada con BIM. Fuente: (Mundo de la Topografía ,2016) .....	29
Ilustración 10: Elección de plantilla del proyecto. Elaboración Propia.....	30
Ilustración 11: localización geográficamente y Vinculación CAD en el modelo. Elaboración Propia. ....	31
Ilustración 12: Niveles y Rejillas. Elaboración Propia.....	32
Ilustración 13: diseño de muros. Elaboración Propia. ....	32
Ilustración 14: modelado del proyecto finalizado. Elaboración Propia.....	33
Ilustración 15: Campos de aplicación de la tecnología láser 3D. Fuente: BIM Forum Chile. ....	34
Ilustración 16: Diagrama de flujo de pasos de algoritmo de Nube de puntos a IFC. Fuente: (Charles Thomson & Jan Boehm, 2015) .....	38
Ilustración 17 Integración de flujos de trabajo de BIM y SIG. Environmental Systems Research Institute (Esri, 2018)).....	40
Ilustración 18: Conectividad BIM y SIG. (Mansson, 2015) .....	41
Ilustración 19: Evolución estándar IFC.....	43
Ilustración 20: Niveles CityGML .....	44
Ilustración 21: Interoperabilidad CityGML. (Prieto, Egusquiza, Delgado, & Martinez, 2012) .....	45
Ilustración 22: Diferencias de representación BRep (Boundary representation), SGC (constructive solid geometry) y Sweep. ....	46
Ilustración 23: Diferencias modelado IFC-CityGML.....	46
Ilustración 24: Evolución del BIM, Niveles.....	47
Ilustración 25: Modelo Conceptual del Estándar internacional (Ariza, 2011) .....	50
Ilustración 26: Modelo de ejemplo de Completitud o Compleción (Ariza. 2015) ...	50
Ilustración 27: Modelo de ejemplo de Consistencia lógica (Ariza, 2015).....	51
Ilustración 28: Modelo de ejemplo de Exactitud posicional o métrica (Ariza, 2015) .....	52
Ilustración 29: Modelo de ejemplo de Exactitud temática y temporal (Ariza, 2015) .....	53
Ilustración 30: Categorías y Elementos de calidad de datos (Ariza, 2015) .....	54

Ilustración 31: Visión general del alcance (Ariza, 2015)..... 55  
Ilustración 32: vista general de la arquitectura de datos (Ariza, 2015) ..... 56  
Ilustración 33. Ejemplo Tabla 3. Límites de aceptación en función del tamaño de muestra y el número de defectos encontrados..... 60



## LISTADO DE SIGLAS

AEC	<i>Architects, Engineering and Contractors</i>
AIA	<i>American Institute of Architects</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CChC	Cámara Chilena de la Construcción
CORFO	Corporación de Fomento a la Producción
CTD	Comité de Transformación Digital
DGOP	Dirección General de Obras Públicas
GSA	<i>General Service Administration</i>
ICARE	Instituto Chileno de Administración Racional de Empresas
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
INE	Instituto Nacional de Estadísticas
IPD	<i>Integrated Project Delivery</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
SIG	Sistemas de Información Geográfica
TDR	Términos de Referencia



# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Antecedentes.

Desde la década de los 50's el MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) a través del *Lincoln Laboratory* se cimentó la primera revolución informática en la industria de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción (AEC), el surgimiento de las tecnologías CAD (*Computer Aided Design*) que reducen los tiempos de elaboración de los proyectos, sin embargo, con el tiempo se constató que producen planos independientes que dan lugar a incoherencias y problemas no previstos en la ejecución de un proyecto. Esto conlleva a mayores costos y plazos de ejecución. En los años 70's, Charles Eastman inició una segunda revolución en la industria, el Modelado de Información de Edificaciones (BIM, del inglés *Building Information Modelling*).

BIM es una tecnología emergente y un cambio de procedimientos dentro de la industria de la AEC (Architecture engineering and construction). “Es un conjunto de políticas, procesos y tecnologías interactivas que generan una metodología para gestionar el diseño esencial del edificio y los datos del proyecto en formato digital a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio” (Penttilä, 2006). Por lo tanto, establece un flujo de trabajo determinado bajo ciertos términos de referencia.

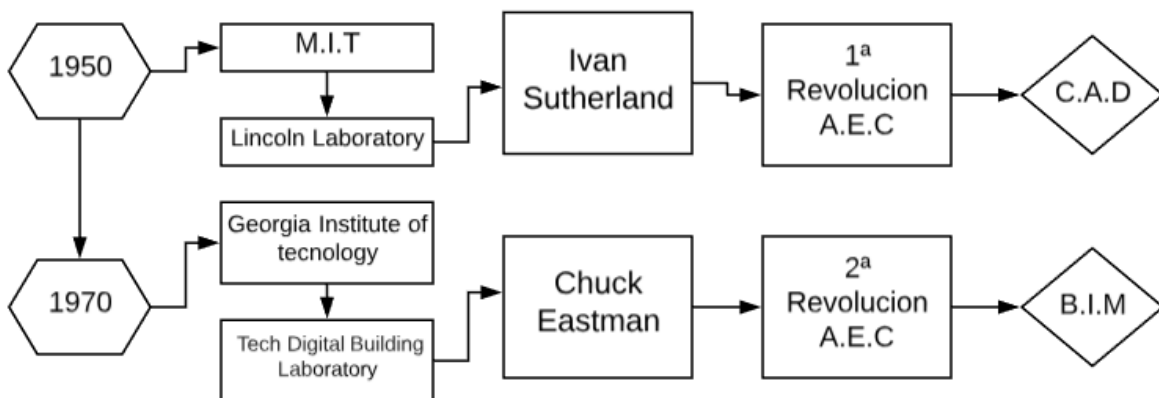


Ilustración 1. Esquema de los inicios AEC. Fuente: Elaboración propia.

Existen distintos países que, impulsados principalmente por sus gobiernos, han adoptado desde ya casi 15 años la metodología BIM, siendo los pioneros Estados Unidos a través de la GSA (*General Service Administration*), Noruega a través del *Staatbygg* y Finlandia con el *Building Smart Finland*, los cuales establecen un Marco de Referencia para el uso y modelación correcta de modelos BIM constituyendo una ayuda importante para determinar los entregables BIM y cuál es la intención de exigir estos modelos en un proyecto. “Al definir un Marco de Referencia es posible determinar un plan de ejecución BIM que defina las estrategias para implementar dichas tecnologías, los resultados esperados y los requerimientos por especialidad que varían y dependen de su especificidad” (Lobos, 2015). De esta manera también se definen los nuevos roles de los profesionales que actuarían en los procesos BIM.

BIM se define como una serie de distintas etapas en un viaje que comenzó con un dibujo asistido por computadora y está llevando a la industria a la era digital. Desde que el grupo de Trabajo BIM del Gobierno del Reino Unido adoptó el concepto de "niveles BIM", los cuatro niveles que define (nivel 0 a nivel 3) se han convertido en una definición ampliamente adoptada de los criterios para que un proyecto se considere BIM. En la Figura 2, los números de las normas de BS, se refieren a la Institución Británica de Estándares y la descripción de cada nivel es su definición.

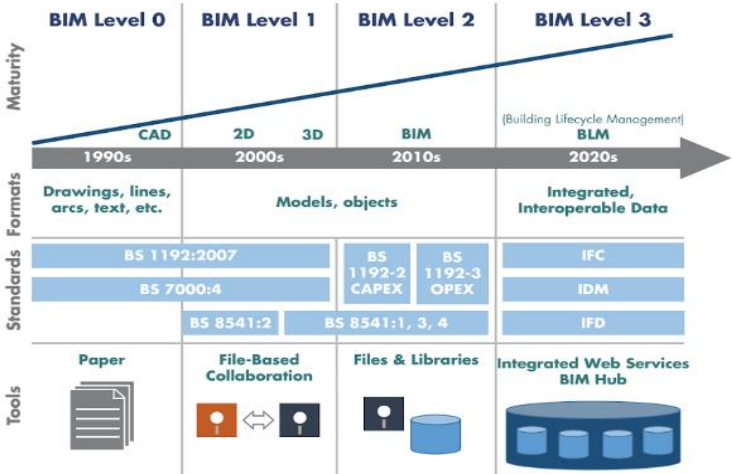


Ilustración 2. Niveles BIM. (Institución Británica de Estándares, 2017)

Actualmente no hay normas BIM universales (ISO), pero se está trabajando en ello. Aun así existen países en los que se trabaja con BIM que han redactado sus propios estándares para poder seguir una ruta de trabajo normalizado.

En Chile no existe un Marco de Referencia, pero desde 2016 a nivel país, la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO) a través del Comité de Transformación Digital (CTD) y el programa Construye2025, impulsaron la iniciativa Planbim. Este programa tiene como misión introducir metodologías y tecnologías BIM para el desarrollo y operación de proyectos de edificación e infraestructura del sector público, incrementando la productividad y sustentabilidad social, económica y ambiental de la industria de la construcción, promoviendo así, la modernización a lo largo de todo el ciclo de vida de las obras, desde su diseño hasta su operación. Según Planbim, se espera implementar de manera obligatoria el plan en el sector público el año 2020 y en el sector privado el año 2025.

En el ámbito de la Geomática, la Topografía y otras disciplinas. Son fundamentales en cualquier Proyecto de Construcción, y como parte de las Ciencias Geomáticas es de suma importancia revisar la relación que existe entre la Ingeniería Geomática y la metodología BIM, por lo tanto, es necesario entender los nuevos flujos de trabajo, roles y responsabilidades de la metodología BIM en distintas etapas de la obra (Diseño, Ejecución, Operación, etc.). Dentro de esta revisión se deben analizar las disciplinas comprendidas de la Geomática, así como la información que se puede extraer de los modelos BIM para el uso cotidiano del profesional en Geomática.

## 1.2 Objetivos.

### 1.2.1 Objetivo General.

Definir el rol del Ingeniero Geomático en la metodología BIM en proyectos de Construcción.

### 1.2.2 Objetivos Específicos.

- i. Sintetizar el estado de arte de la metodología BIM: definición, protocolos, normas, procedimientos, estructuras, softwares, implementación y otros.
- ii. Describir el flujo de trabajo en un proyecto con BIM.
- iii. Describir los requerimientos de un Ingeniero Geomático en un proyecto BIM.

## 1.3 Línea de Trabajo.

En el capítulo I, se ve una introducción y los antecedentes, que tiene como énfasis implementar BIM a través de las bases internacionales, revisando la iniciativa de los actores para incorporar dicha metodología de trabajo a nuestro país y como a nuestra profesión. Para el presente Proyecto de Título, definiendo además los objetivos generales y específicos del mismo. También se aprecian los lineamientos generales del documento.

El capítulo II corresponde al marco teórico en el cual se observan temas relacionados al marco de referencia BIM, su entendimiento, campos, etapas y focos. Además, revisando la implementación y estándares BIM internaciones, también se revisa la situación actual de la implementación en Chile mediante el PlanBIM y el nivel de madurez alcanzado.

El capítulo III se enfoca a la definición de la ciencia Geomática y sus técnicas relacionadas con el ámbito de la Construcción, identificando en ellas la Topografía, la Geodesia, los Sistemas de Información Geográfica, la Fotogrametría y Teledetección, se hace revisión en cada una de las técnicas en el ámbito de los



datos geoespaciales, siendo mayormente estudiada la relación con los Sistemas de Información Geográfica.

En el capítulo IV se enfoca en la calidad de los datos, además se nombran aspectos relacionados con la interoperabilidad que debe haber en la fusión de tecnologías.

Finalmente, en el capítulo V se definen las conclusiones del estudio considerando lo visto en los capítulos anteriores y en línea con los objetivos del mismo documento.



## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 Marco de Referencia BIM

BIM “es un conjunto de políticas, procesos y tecnologías interactivas que generan una metodología para gestionar el diseño esencial de un proyecto de construcción y los datos del diseño en formato digital a lo largo de todo el ciclo de vida del proyecto, estableciendo un flujo de trabajo bajo ciertos términos de referencia”. (Penttila, 2006).

BIM “es un catalizador del cambio, reduciendo la fragmentación de la industria” (CWIC, 2004), “mejorando la eficiencia y efectividad” (Hampson & Brandon, 2004) y “bajando altos costos debidos a operaciones inadecuadas” (NIST, 2004). Estas afirmaciones incluyen varios desafíos por parte de estudios organizacionales, sistemas de información y campos regulatorios. “Existen variados reportes y guías de distintas organizaciones y cuerpos gubernamentales dedicados a explorar y definir los requerimientos y entregables BIM, que, aunque tengan un valor propio irrenunciable, no proporcionan un marco de referencia adecuado para la investigación sistemática del dominio BIM” (Succar, 2008).

**Marco de Referencia BIM ya integrado en algunos Países desarrollados**

Origen	Organización	Proyecto	Referencia
EEUU	USGS	BIM User Guide and Standards	USGS, 2005
Noruega	STATSBYGG	HITOS	Le et al., 2006
EEUU	AIA	Integrated Project Delivery (IPD)	AIA, 2007
Europa	Consortio de Organizaciones	InPro	Pfitzner et al., 2007
Europa	Consortio de Organizaciones	STAND-INN	STAND-INN, 2008
Finlandia	SENATE	BIM Requirements 2007	SENATE, 2008

Tabla 1: Algunos reportes y guías BIM. Fuente: <http://tinyurl.com>

Tal variedad resalta la falta y necesidad de un marco de referencia de investigación para organizar el dominio del conocimiento, una subdivisión estructurada que promueva el entendimiento, disseminación y una implementación gradual a través de la presentación de datos y argumentos en secciones manejables. También existe la necesidad de un marco de referencia que posicione a BIM como la integración de productos y modelos de proceso y no solamente como tecnología y procesos. Por último, se hace presente la falta y necesidad de un marco de referencia para enlazar el entendimiento académico e industrial de BIM, proporcionando una estructura de investigación adaptable a sus requerimientos propios y complementarios. (Succar, 2008).

Succar (2008) entiende dichos términos de referencia y bajo criterios de claridad, coherencia, extensibilidad y compromisos mínimos ontológicos entre otros, analiza el dominio del conocimiento, hace suposiciones explícitas, reutiliza conocimiento, separa el dominio del conocimiento del conocimiento operacional y representa de manera abstracta los conceptos BIM y sus relaciones estableciendo así, las bases para un Marco de Referencia.

Teóricamente hablando, desde este punto de vista un Marco de Referencia es multi-dimensional y puede ser representado en un modelo de tres ejes compuesto por:

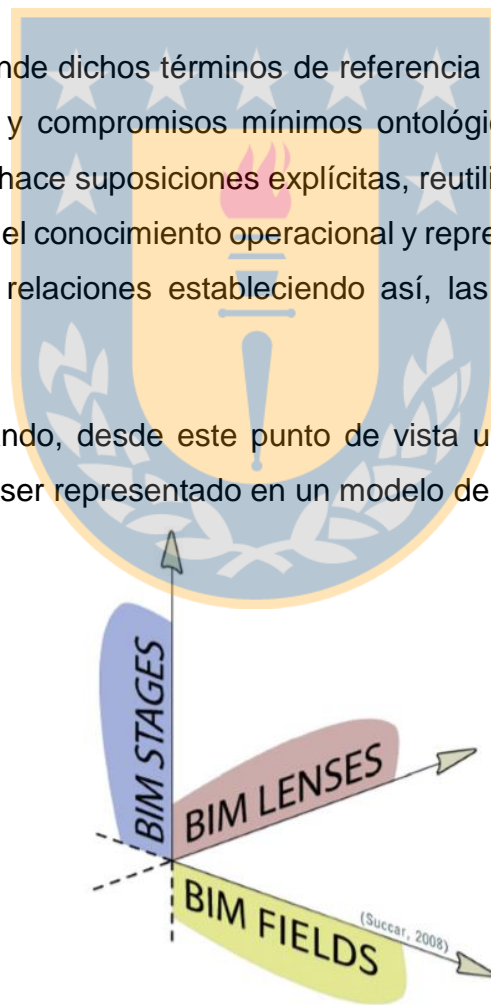


Ilustración 1: Representación 3D de un Marco de Referencia. (Succar, 2008)

- Campos BIM, campos de actividad que identifican actores y entregables. Se establecen en el eje X.

- Etapas BIM, que delimitan los niveles de madurez en la implementación. Presentados en el eje Y.
- Focos BIM, que proporcionan la profundidad y amplitud de investigación necesarias para identificar, evaluar y calificar los campos y etapas BIM. Corresponden al eje Z.

### *2.1.1 Campos BIM*

Existen tres campos de actividad BIM que se entrelazan entre ellos: Políticas, Procesos y Tecnologías. A su vez cada uno posee dos sub-campos: actores y entregables.

- El campo de la tecnología BIM agrupa a los actores especialistas en el desarrollo de software, hardware, equipamiento y sistemas de redes necesarios para incrementar la eficiencia, productividad y rentabilidad de los sectores de la industria AEC. Se incluyen organizaciones que generan soluciones de software y equipamiento de directa o indirecta aplicabilidad al diseño, construcción y operación de instalaciones.
- El campo de los procesos BIM agrupa a los actores que procuran, diseñan, construyen, manufacturan, usan, manejan y mantienen estructuras. Se incluyen los dueños de instalaciones, arquitectos, constructores, ingenieros, administradores y cualquier otro que esté involucrado en la propiedad, entrega y operación de construcciones o estructuras.
- El campo de las políticas BIM, que agrupa a los actores enfocados a preparar facultativos, hacer publicaciones, distribuir beneficios, localizar riesgos y minimizar conflictos en la industria. Estos actores no construyen, pero son cuerpos especializados como compañías, centros de investigación, instituciones educativas y cuerpos regulatorios que juegan un rol pivote de preparación, regulación y contractual en los procesos de diseño, construcción y operación.

### 2.1.1.1 Interacción y solapamiento de campos BIM

Las interacciones BIM son transacciones *push-pull* (empujar-tirar o reacción o acción) de conocimiento que ocurren en los campos y sub-campos BIM. El mecanismo *push* transfiere conocimiento a otro campo o sub-campo mientras que el mecanismo *pull* satisface una consulta de otro campo o sub-campo. Como muestra la Fig. 3. Estas transacciones incluyen transferencia de datos, dinámicas de grupo y relaciones contractuales entre los campos y sub-campos. Es importante identificar y representar estas interacciones ya que son componentes importantes de los entregables del Marco de Referencia.

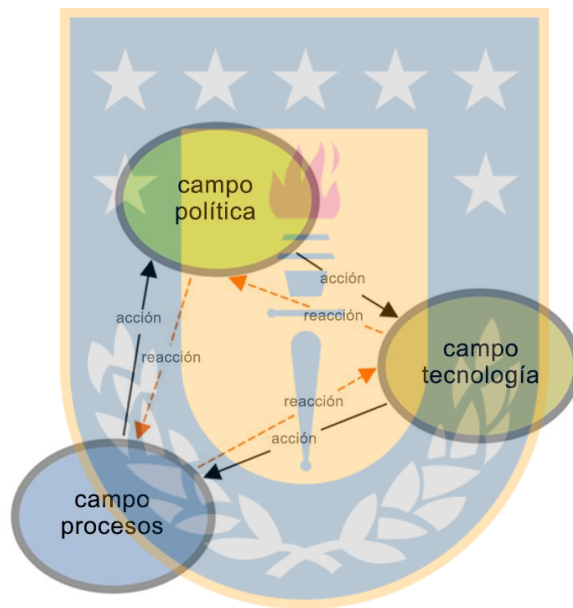


Ilustración 2: Interacciones BIM (Succar, 2008)

Por otro lado, los tres campos se solapan y comparten actores y entregables, Este solapamiento entre campos ocurre cuando: Fig. 4.

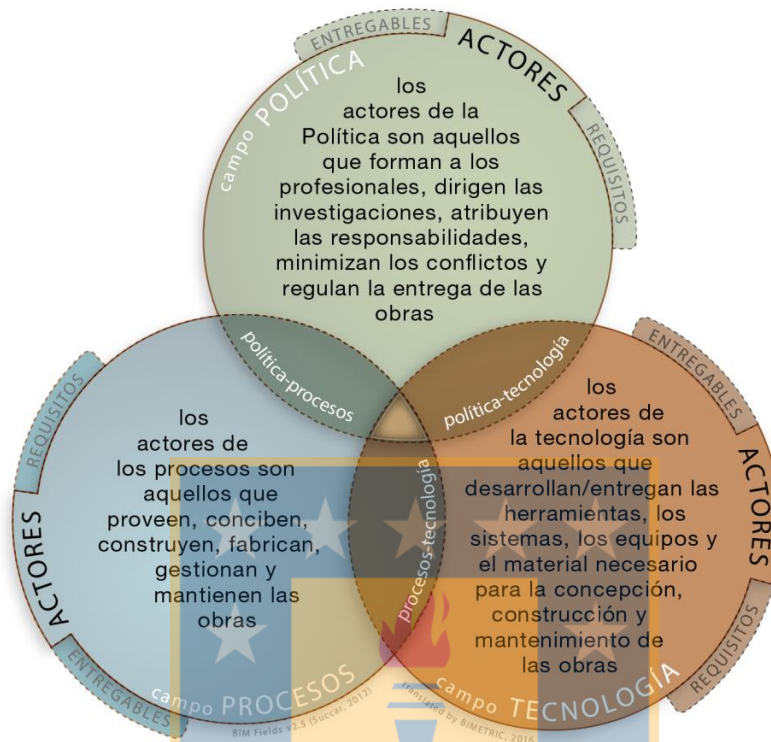


Ilustración 3: Esquema de solapamiento en campos de actividad BIM. (Succar, 2008)

- i. Un entregable requiere actores de dos o más campos, por ejemplo, en el desarrollo y aplicación de esquemas interoperables que no son del propietario, como IFC (*Industry Foundation Classes*), donde se requiere un esfuerzo en conjunto de los actores del campo de políticas BIM así como del campo de la tecnología BIM.
- ii. Un actor perteneciente a un campo genera entregables clasificados para otro campo, por ejemplo, un arquitecto de un centro de investigación (campo de procesos BIM) genera entregables en el campo de políticas BIM (guías, buenas prácticas) más que especificaciones técnicas o diseños para la construcción que pertenecen al campo de los procesos BIM.

## 2.1.2 Etapas BIM

Las etapas BIM, la segunda dimensión propuesta para el Marco de Referencia, identifica un punto de inicio fijo (estado anterior a la implementación BIM), tres etapas de madurez y un punto final variable debido a los avances futuros en la tecnología que puedan llegar a haber. El primer punto fijo se puede considerar como una etapa pre-BIM, mientras que el último puede ser visto según AIA (*American Institute of Architects*), 2007 como un Proyecto de Entrega Integrado o *Integrated Project Delivery* (IPD), que genera un enfoque de gestión de proyectos que integra personas, sistemas, empresas y prácticas en un proceso colaborativo, generando la optimización de los resultados del proyecto, reduciendo las ineficiencias y maximizando la eficiencia a través de todas las fases del diseño, fabricación y construcción donde denota los objetivos finales de la implementación BIM.

El Marco de Referencia identifica la madurez BIM dentro de las organizaciones, proyectos e industrias a través de una serie de etapas que las partes interesadas de la industria deben implementar de manera gradual y consecutiva. Cada etapa está dividida en pasos, siendo las etapas transformaciones o cambios radicales mientras que los pasos trabajan de manera incremental. La madurez BIM incluye los componentes de Tecnologías, Procesos y Políticas y las divide en tres etapas las cuales son:

- Etapa 1: modelamiento basado en objetos
- Etapa 2: colaboración basada en el modelo
- Etapa 3: integración basada en redes



Ilustración 4: Etapas BIM. (Succar, 2008)

Para medir la madurez BIM existen variadas formas, siendo necesario por lo menos explicar el flujo de datos y las fases del ciclo de vida del proyecto.

#### 2.1.2.1 Flujo de Datos BIM

Los objetos inteligentes, que representan objetos físicos como puertas o columnas y que poseen una riqueza semántica (con metadatos asociados), junto con el flujo de datos, determinan una variable detectable y crítica de la madurez BIM.

El flujo de datos es variado e incluye la transferencia de datos estructurados (p. ej., bases de datos), semi-estructurados (p. ej., hojas de cálculo) y no estructurados (p. ej., imágenes) entre computadores. Esta transferencia puede ser basada en archivos o como un sistema *push-pull* entre clientes y servidores. A su vez, el flujo de datos BIM no solo incluye la transferencia de datos con cierta riqueza semántica, sino que también intercambio de información basada en documentos.

Esta variedad en datos y métodos de transferencia entre actores BIM puede ser clasificada y medida en diversas formas para identificar la madurez BIM. Por ejemplo, los flujos de datos pueden ser un cambio o intercambio de datos BIM, siendo los primeros cuando un actor BIM importa o exporta datos ni estructurados ni computables (de dibujo 2D CAD a objetos basados en modelos 3D perdiendo geometría y metadatos asociados), mientras que los últimos son cuando un actor importa o exporta datos estructurados y computables asumiendo una adecuada interoperabilidad entre los sistemas de transmisión y recepción (intercambio de archivos en formatos nativos y de código abierto).

#### 2.1.2.2 Fases del ciclo de vida del proyecto.

Los proyectos de construcción pasan a través de tres grandes fases: el diseño, la construcción y la operación. El marco de referencia subdivide esas fases en sub-fases que a su vez están divididas en múltiples actividades, sub-actividades y tareas. Por ejemplo:





Ilustración 5: Ejemplo de fases en el ciclo de vida de un Proyecto. (Succar, 2008)

La implementación de BIM posiblemente modificará los componentes de y las relaciones entre las fases, actividades y tareas causando variaciones en las interacciones BIM y su madurez.

### 2.1.3 Focos BIM

Los Focos BIM son la tercera dimensión propuesta en el marco de referencia, y éstos generan la profundidad de investigación. Los Focos BIM son distintas capas de análisis aplicadas a los Campos y Etapas BIM para generar ventanas de conocimiento. Ellos abstraen el dominio BIM y controlan su complejidad removiendo detalles innecesarios. Los Focos permiten al investigador enfocar selectivamente cualquier aspecto de la industria AEC y generar ventanas de conocimiento que resalten observables según los criterios de investigación o filtrar aquella que no.

## 2.2 Implementación BIM

### 2.2.1 Implementación BIM en el Mundo

El sistema BIM, consigue que toda la información de un proyecto de construcción se mantenga integrada y conectada en un único modelo colaborativo, de manera que cuando el proyecto digital reciba cualquier tipo de cambio o modificación se ejecute de manera generalizada, lo cual garantiza la integridad y la actualización de todos los datos, pudiendo trabajar en el mismo diseño e incluso de manera simultánea en distintas empresas y/o profesionales”.

Los EE. UU. son pioneros en esta metodología desde el 2003 con su Programa Nacional 3D-4D BIM y llevan años expandiendo el BIM en grandes proyectos públicos los cuales poseen diversos protocolos BIM según sus estados, diversas rutas y estándares

para el ciclo de vida de un proyecto de construcción. En comparativa entre EEUU y Europa de vela que en el año 2009, el 49% de las empresas americanas habían implementado BIM, en cambio en el 2010, era tan solo el 36% de las empresas europeas las que lo habían hecho, encabezados por Francia. En el grupo de los escandinavos. Al ser países más pequeños y con menor publicación, la difusión del BIM se hace más efectiva comparado con sus vecinos europeos. Noruega empezó en 2007 con algunos proyectos BIM, y para el 2010 muchos estaban usando el formato IFC que se basa en el BIM. Llevan desde el 2017 implantando BIM en un amplio rango del sector público, haciendo hincapié en la eficiencia energética, la coordinación y la optimización de errores.

### Implementación y Uso de BIM en países desarrollados

País	Año de implementación	Uso	Producto
Noruega	2005	Uso BIM obligatorio en proyectos públicos	Comparte un gran nivel de desarrollo implementando BIM desde la Universidad. La dirección de Obras Públicas y de la propiedad del gobierno Noruego exige su uso en todos sus edificios.
Reino Unido	2007	Uso BIM obligatorio en proyectos públicos.	Del 2016 el uso del BIM es de obligado cumplimiento para proyectos gubernamentales, ya el 80% de las empresas trabajan con algún proyecto BIM.
Holanda	2012	Uso obligatorio previstos en proyectos públicos.	El 2015 ya el 76% de las prácticas fueron realizadas en BIM, desde la fase de diseño hasta el mantenimiento.
Francia	2014	Uso obligatorio previstos en proyectos públicos.	2017 ha adoptado de manera oficial en más de 500.000 hogares y se exige su uso para proyectos de más de 20M€.
Alemania	2014	Uso obligatorio previstos en proyectos públicos.	Es más el cliente privado el que demanda BIM, de hecho es el 90%, una demanda superior a la que exige el gobierno, que no exige una implementación BIM en proyectos públicos.

Rusia	2014	Uso obligatorio previstos en proyectos públicos.	En 2019 el uso del BIM será obligatorio para todos los proyectos comisionados por el gobierno ruso.
España	2015	Uso obligatorio previstos en proyectos públicos.	Este año se implementara, cuando los equipamientos y las infraestructuras públicas de presupuestos superiores a 2M €, deban producirse en BIM en las fases de Diseño y Construcción en obra nueva. En 2020, serán para todas las fases, incluido el mantenimiento y tanto para obra nueva como rehabilitación.

Tabla 2: Resultado de la implementación de BIM en el tiempo. Fuente: <https://www.arquitecturayempresa.es>

### Implementación y Uso de BIM en los Países escandinavos

País	Año de implementación	Uso de	Resultados
Finlandia	2007	Uso BIM obligatorio en proyectos públicos.	Empezaron en 2007 con algunos proyectos BIM y llevan desde el 2012 como metodología desde la Confederación de la Construcción.
Dinamarca	2007	Uso BIM obligatorio en proyectos públicos.	Dinamarca lleva desde 2011 con esta metodología, todos los proyectos locales y regionales de más de 2,7M€, y en los centrales si el presupuesto es mayor de 700.000€.
Suecia	2012	Uso BIM obligatorio en proyectos públicos.	El 2014 nació la BIM Alliance Sueca juntando varios grupos BIM para homogeneizar estándares, de manera que actualmente la mayoría de empresas usan BIM.

Tabla 3: Resultado de la implementación de BIM en el tiempo en el grupo de los Países Escandinavos. Fuente: <https://www.arquitecturayempresa.es>

En cuanto a los países más orientales. Desde 2013, los proyectos de Dubai son BIM de manera obligatoria. Singapur tiene una ruta de guía BIM que pretende estandarizar la industria a partir del 2015, que estipula el uso BIM para proyectos de más de 5000 m2. China también ha desarrollado una Guía BIM en un Plan Nacional y en 2014 ya desarrollaron una estrategia de implantación BIM, donde se espera que en 2019 un

30% de los proyectos se realicen bajo este estándar. Hong Kong y Taiwan lideran la implementación BIM.

Todos los proyectos públicos de más de 50M\$ en Corea Del Sur son BIM de manera obligada desde el 2016. El gobierno lleva desde 2010 promoviendo proyectos BIM y obligan su uso para proyectos de más de 50\$M. Y en Japón, este año 2017, el 46% de las empresas han trabajado ya con la metodología BIM.

En Oceanía desde el 2014, Australia y Nueva Zelanda ofrecen una guía BIM para planificación, transporte e infraestructuras para agencias gubernamentales, consultores y contratistas. También han hecho público que en 15 años todo proyecto deberá ser realizado en BIM. En Nueva Zelanda funcionan de manera similar y además publicaron un libro BIM Handbook, documentando los proyectos de manera eficiente.

En los países centroamericanos y sudamericanos la implantación BIM va más lenta, generando una forma de uso habitual de BIM, sin embargo en grandes proyectos se empieza a utilizar. Actualmente, están adoptando el BIM con la intención de disminuir un 30% sus costos a lo largo del ciclo de vida de un proyecto de construcción.

### 2.2.2 Estándares BIM en el mundo

La norma más conocida y general que existe actualmente es el IFC (Industry Foundations Class) de BuildingSMART International Home of openBIM, es una organización internacional cuyo objetivo es mejorar el intercambio de información entre las aplicaciones de software utilizadas en el entorno AEC.

BuildingSMART trabaja entre diferentes software y agentes, en el IFD (International Frameworks for Dictionaries) para conseguir una taxonomía que defina los conceptos BIM, y sobre el IDM (Information Delivery Manuals) para un buen traspaso de la información necesaria entre los distintos software. Cada uno de estos conceptos se define y se ordena por su correspondiente norma ISO. (Sánchez, 2016).

### Principales Estándares BIM en el mundo

País	Redactado	Institución	Define
EE.UU	National Institute of Building Sciences	National BIM Standard	Define desde la planificación y el diseño hasta la construcción y las operaciones, cubriendo el ciclo de vida completo de los edificios. Podemos encontrar estándares sobre Omniclass, IFD Library, BCF, Lod specification, COBie, Building energy analysis, HVAC, BIM Execution Plan, etc.
Reino Unido	AEC (UK)	AEC (UK) BIM Technology Protocol	Similar y más cercana a la anterior es por AEC (UK) donde define y proporciona una ruta clara y concisa para la implementación del software BIM. Además también tiene una especificación sobre AEC (UK) Project BIM Execution Plan y concreta con AEC (UK) BIM Standard for Autodesk Revit

Tabla 4: Primeros Países en establecer estándares BIM en el mundo. (Sanchez, 2016)

Existen otros países que también han definido sus propias normas BIM como sucede con Hong Kong Institute of Building Information Modelling, o Building and Construction Authority Singapore que también son guías en las que basarse para la normalización BIM entre otras normas que han sido redactadas de forma más específica como por ejemplo: NBS BIM Object Standard que define la geometría, el comportamiento y la presentación de objetos/familias BIM. O EMCS The BIM library for MEP engineers que define la nomenclatura, las propiedades y geometría de familias MEP.

#### 2.2.2.1 Ejemplo: National BIM Standard (EE. UU.)

El Comité de Proyecto de Estándar Nacional BIM (*National BIM Standard*, NBIMS) es un comité del Consejo de Información de Instalaciones (FIC) del Instituto Nacional de Ciencias de la Construcción (NIBS). Tiene como misión mejorar el rendimiento de las instalaciones durante su ciclo de vida completo, mediante el fomento de un modelo de información de ciclo de vida común, estándar e integrada para la industria AEC y

Operaciones. Este modelo de información permitirá el flujo libre de información gráfica y no gráfica entre todas las partes en el proceso de creación y mantenimiento del entorno construido, y trabajará para coordinar los esfuerzos de EE. UU.

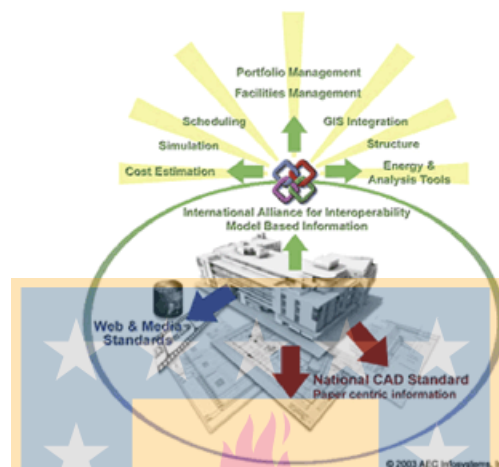


Ilustración 6: Alcance del Comité de proyecto National BIM Standard. Fuente: <https://www.nationalbimstandard.org/about>

Se basa en el concepto de niveles de importancia, con estándares internacionales en el centro, incluso con los estándares ISO, existe una jerarquía con estándares completamente investigados que tienen el más alto nivel de criticidad y aceptación. La jerarquía completa se proporciona en el siguiente diagrama.



Ilustración 7: Jerarquía del alcance del National BIM Standard (EE.UU). Fuente: <https://www.nationalbimstandard.org>

Para todos los participantes en el ciclo de vida de un proyecto de construcción, brinda la oportunidad de utilizar aplicaciones computarizadas para ver datos en imágenes tridimensionales, ver tablas de rendimiento en diagramas visuales fáciles de entender, descubrir problemas y conflictos, brinda la oportunidad de diseñar en un espacio 'virtual' antes de comprometer recursos limitados para la creación, cuidado y alimentación de una instalación que existirá durante quizás cincuenta años o más.

Además del NBIMS, existe el Estándar Nacional CAD (*National CAD Standard*, NCS). El paso de CAD a BIM se basa en las ventajas económicas y funcionales de la maduración de paradigmas basados en papel, redundantes y propietarios a un paradigma de modelado interoperable basado en información que, a su vez, admite las funciones, usuarios y productos necesarios para el ciclo de vida de un proyecto de construcción, en pocas palabras, el NCS aborda la redacción centrada en el papel como un medio para producir dibujos de diseño y construcción. NBIMS establece estándares para procesos típicos e intercambios de información basados en computadora empleados durante la concepción, creación y operación de las instalaciones. Como los dibujos de diseño y construcción, así como los modelos de construcción virtual basados en computadora, son un producto típico de las técnicas de modelado de información de construcción, NCS seguirá siendo importante como estándar para el diseño y la producción de planos de construcción del proceso BIM.

Finalmente, los entregables que desarrollan los estándares de NBIM se publicarán como documentos legibles por humanos que contienen secciones para:

1. Identificar el nombre (que describe su intención), el creador y las etapas del proyecto para las cuales se usa el requisito.
2. Una notación de modelo de proceso empresarial (es decir, Diagrama de Swimlane) para el proceso.
3. Una visión general escrita en prosa no técnica que establece los objetivos y el contenido del requisito. Identifique otras normas que han sido adoptadas, incorporadas y / o 'armonizadas' con esta.



4. Una descripción técnica, destinada a desarrolladores de aplicaciones que identifica una lista de elementos de información necesarios para satisfacer el requisito, desglose detallado de datos, detalles técnicos de cómo se pueden usar los datos, el actor que suministra los datos y hace coincidir las partes funcionales con los elementos de datos.
5. Descripción de los resultados esperados del requisito de intercambio.
6. El lenguaje de contrato repetitivo (alcance del trabajo y entregables) para incorporar el requisito de intercambio en un acuerdo entre las partes. Esto será lo más completo posible, ya que estamos comenzando a ver cómo evolucionan nuevos modelos bajo los auspicios de BIM que antes no eran posibles.
7. Resultados de las actividades del banco de pruebas que incluyen detalles de la funcionalidad y el uso previsto, protocolo de prueba, participantes, capacidad de las aplicaciones para cumplir con los requisitos y problemas identificados durante la actividad del banco de pruebas.
8. Materiales instructivos y / o de gestión del cambio sugeridos para su uso en la implementación del Estándar.
9. Declaraciones sobre el vencimiento de la Norma y cualquier plan de desarrollo adicional.

### *2.2.3 Implementación BIM Chile*

#### *2.2.3.1 PlanBIM, Definición y Objetivos*

Es una de las 15 iniciativas del Programa Construye 2025, que busca modernizar la industria de la construcción mediante un plan público-privado que tiene por objetivo principal, aumentar la productividad y sustentabilidad de la industria de la construcción, mediante la incorporación de metodologías y tecnologías avanzadas de información para la reducción de los costos y la disminución de ineficiencias, considerando todas las etapas de los proyectos, desde el diseño hasta la operación (Dirección General de Obras Públicas, DGOP, 2016).



Dentro de los objetivos específicos del plan podemos encontrar:

- ✓ Mejorar la calidad y eficiencia de los proyectos en todo el ciclo de vida.
- ✓ Aumentar la productividad y competitividad de la industria de la construcción.
- ✓ Reducir costos, plazos e ineficiencias en todo el ciclo de vida.
- ✓ Aumentar la trazabilidad y transparencia de la información de proyectos.
- ✓ Fomentar una industria colaborativa y el uso de estándares comunes.
- ✓ Asegurar el cumplimiento normativo y reducir los tiempos de aprobación de permisos de construcción comunes.
- ✓ Mejorar la predictibilidad y control de costos y plazos de la construcción.

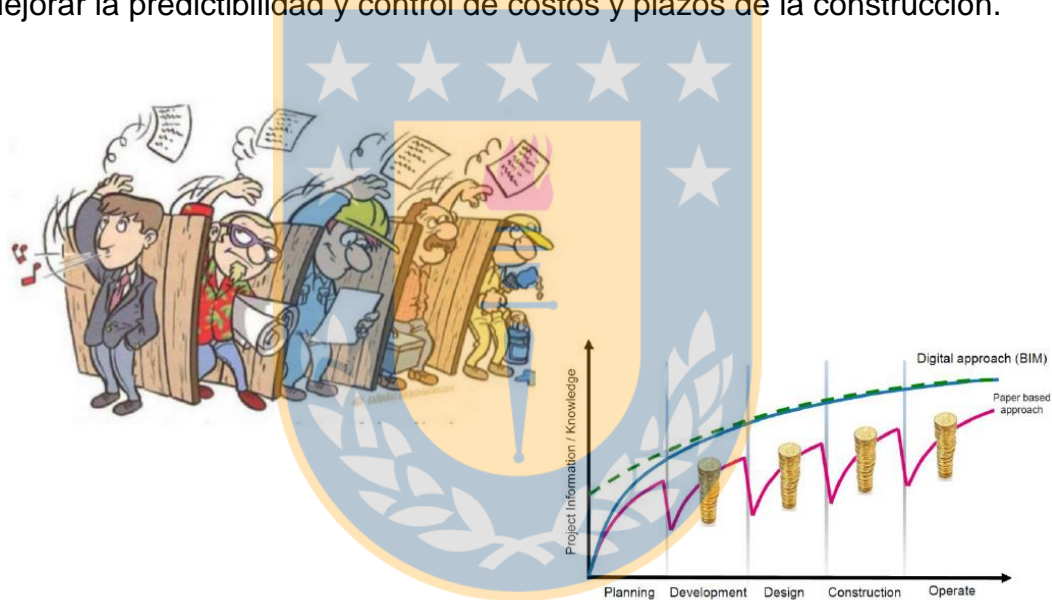


Ilustración 8. Colaboración y Transparencia de información. Fuente: Estratégica publica BIM 2020. (Soto, 2018)

### 2.2.3.2 Metas y Líneas de Acción.

Planbim, emplea como motor principal el poder de compra del Estado, trabajando en conjunto con las instituciones públicas para implementar el uso de BIM en ellas, generando un estándar BIM y construyendo requerimientos consistentes y estandarizados para las licitaciones públicas (Términos de Referencia, TDR). Adicionalmente, Planbim trabaja en conjunto con instituciones académicas en definir Roles y Objetivos de Aprendizaje BIM, para que se integren progresivamente a los programas de capacitación y mallas curriculares de las carreras. Se espera que el sector

privado responda al requerimiento público, brindando servicios, implementando tecnologías y capacitando a la fuerza laboral.

El plan tiene como meta la incorporación gradual de la metodología BIM al año 2020, en proyectos desarrollados por las instituciones públicas adheridas al plan.

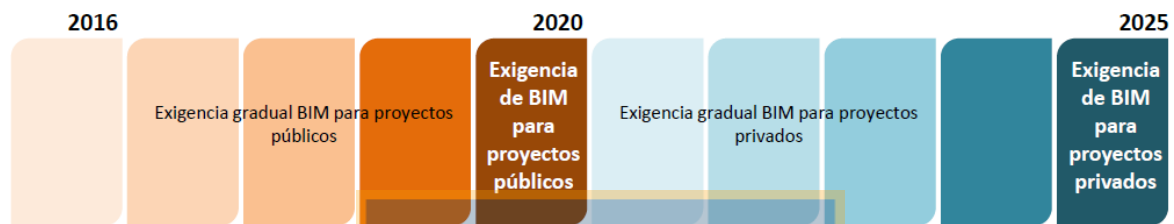


Ilustración 9. Metas 2020 y 2025. Fuente: Estratégica pública BIM 2020. (Soto, 2018)

Dentro de las líneas de acción del plan están:

- **Institucionalidad y Estrategia:** asegurar la continuidad de Planbim, generando y fomentando alianzas y convenios que garanticen un respaldo estratégico institucional que permita impulsar y desarrollar nuevas iniciativas.
- **Estandarización:** definir un Estándar BIM común y transversal para el desarrollo de proyectos públicos, con la finalidad de generar una comunicación efectiva entre los diferentes actores, mejorando así la productividad y sustentabilidad de los proyectos, beneficiando a toda la industria de la construcción.
- **Capital Humano:** fomentar la formación de la fuerza laboral con capacidades BIM tanto del sector público y privado que participan dentro de la cadena de producción y operación de un proyecto de infraestructura o edificación pública.
- **Tecnologías habilitantes:** promover el uso de herramientas y plataformas tecnológicas, que permitan el desarrollo y gestión de proyectos públicos, en base a los requerimientos BIM del sector público.
- **Comunicación y difusión:** Implementar una estrategia comunicacional que contempla la participación activa de los diferentes actores de la industria de la construcción, tanto públicos como privados; a través de actividades de difusión, alianzas estratégicas y apoyo a iniciativas que fomenten el uso de la metodología BIM.

#### 2.2.4 MOP para impulsar BIM.

Debido al gran volumen y diversidad de infraestructura que desarrolla el Ministerio de obras públicas (MOP) año a año, se ha iniciado un proceso trabajo colaborativo que permita ser la plataforma inicial para el desarrollo del plan BIM, modernizando la industria de la construcción. Se desea fomentar la puesta en marcha del BIM como modelo nacional para el manejo de la información en el desarrollo de los proyectos, con el objetivo de aumentar la transparencia y optimizar los procesos e información, y mejorar con exactitud los tiempos, costos y procesos, generando una mejor productividad.

El MOP ha dado inicio a una serie de talleres y actividades colaborativas con los diferentes equipos de trabajo, generando y construyendo mapas de proceso por tipología de infraestructura y abordando el ciclo de vida en su totalidad. Esto permite contestar tres preguntas claves para iniciar el proceso, ¿Cómo realizamos el desarrollo de la infraestructura?, ¿Cómo podría ayudarnos BIM a este desarrollo? y ¿Cómo debemos realizar el requerimiento para asegurar el cumplimiento de los objetivos?, estandarizando la forma de incorporar este tipo de metodologías de trabajo en los proyectos, generando con ello el impulso necesario para que la industria se adapte y podamos mejorar la productividad.

##### 2.2.4.1 Firma de Acuerdo público-privado

El MOP, Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Ministerio de Economía, Ministerio de Hacienda, Corfo, Cámara Chilena de la Construcción y el Instituto de la Construcción desarrollaron un proceso colaborativo público-privado para incrementar la productividad y sostenibilidad - social, económica y ambiental en la industria de la construcción mediante la incorporación de trabajo y tecnología de información y comunicaciones, que promuevan la modernización de esta.

Objetivo del acuerdo: Formalizar el proceso de cooperación iniciada entre UK BIM Task Group, CORFO Y MOP y promover actividades para:

1. Alinear las respectivas estrategias nacionales BIM.
2. Fortalecer el capital humano para BIM en Chile y la construcción digital a diferentes niveles y en las distintas fases del proceso
3. Fortalecer las oportunidades de comercio y desarrollo a nivel bilateral entre Reino Unido y Chile.

Esta iniciativa ha tenido respaldo presidencial en variadas instancias, por ejemplo, en Encuentro Nacional de la Empresa (Icare, 2015) y la Semana de la Construcción (CChC, 2016).



### 3 GEOMÁTICA EN BIM

#### 3.1 La Geomática en los proyectos de construcción

La historia de la humanidad está llena de acontecimientos ligados a la materialización de ideas, algunas simples y otras muy complejas, a los avances del hombre en las ciencias exactas, las matemáticas, la arquitectura, la agricultura, la cartografía, las artes gráficas y plásticas entre otras, las cuales han hecho propicio el desarrollo de la construcción. “Es innegable el hecho que para que todas estas ideas se lleven a la realidad primero es necesario plasmarlas en un medio donde el hombre pueda realizar su estudio, describiendo sus características, sus dimensiones y parámetros para que a partir de estos como documento de consulta se pueda recrear con materiales el concepto del diseño al que se busca llegar” (Figueredo, 2014).

“La ingeniería Geomática es una disciplina transversal, es decir, con un amplio abanico de posibilidades de aplicar sus conocimientos y habilidades en una gran variedad de campos. Los conocimientos y las habilidades de una persona experta en Geomática son requeridos en todo tipo de proyectos de construcción desde proyectos comerciales e industriales a carreteras y puentes, incluyendo información cartográfica y geodésica necesaria para llevar a cabo levantamientos, replanteos, mediciones, seguimientos o controles geométricos, entre otros. En la obra.

La Geomática es multidisciplinar por naturaleza. Topografía, Cartografía, Teledetección, Fotogrametría, Geodesia, Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Sistemas de Posicionamiento Global (*Global Navigation Satellite System, GNSS*) componen la Geomática, estas disciplinas, a su vez, se extienden a una amplia variedad de campos y tecnologías, incluyendo geometría digital, gráficos por ordenador, procesamiento digital de imágenes, realidad virtual, CAD, sistemas de gestión de bases de datos, estadísticas espacio temporales, inteligencia artificial y tecnologías de Internet, entre otras”.

La Topografía como rama de la ingeniería permite la materialización de la obra diseñada para analizar los parámetros del diseñador, dibujando o ubicando en el terreno con métodos matemáticos y prácticos los puntos, curvas y líneas necesarias para que obreros o maquinaria conformen las estructuras que forman parte de un proyecto. La Topografía, aunque a veces subestimada en el medio ingenieril, es la base de toda obra simple y compleja de construcción, dado que a partir de los datos de un esquema o de un levantamiento topográfico se puede proyectar movimientos de tierra, obras de drenaje, estructuras verticales y horizontales, redes, carreteras, edificaciones, etc. (Figueredo, 2014).

### 3.2 Definiciones de Técnicas Relacionadas con BIM

#### *3.2.1 Geodesia en los proyectos de construcción*

La Geodesia es la ciencia que estudia la forma y dimensiones de la Tierra. Esto incluye la determinación del campo gravitatorio externo de la tierra y la superficie del fondo oceánico. Dentro de esta definición, se incluye también la orientación y posición de la tierra en el espacio. (Caturla, 2009). El Instituto Geográfico Español dice que es una parte fundamental de la geodesia la determinación de la posición de puntos sobre la superficie terrestre mediante coordenadas (latitud, longitud, altura).

Desde el punto de vista del objetivo de estudio, se puede establecer una división de la geodesia en geométrica y física. En este caso abordaremos la Geodesia Geométrica, donde el objetivo es la determinación de la forma y dimensiones de la superficie de la tierra o de un objeto en su aspecto geométrico, lo cual incluye fundamentalmente la determinación de coordenadas de los puntos de cada uno de los vértices mediante un Sistema Satelital de Navegación Global GNSS (GPS, GLONASS, Galileo etc), tecnología que nos hace aumentar considerablemente la productividad y permite obtener datos más precisos y fiables. Hoy en día, el GPS es parte vital de las actividades topográficas y sobre todo en los proyectos de construcción. Como punto de partida para la recolección de datos definidos dentro de sistemas de referencia que permiten situar los diseños y la obra en el espacio.

La utilización de los satélites ha abierto en las Ciencias Geomáticas un inmenso abanico de posibilidades al permitir situar puntos con grandes precisiones. Las principales aplicaciones de los receptores en los proyectos de construcción son para el establecimiento de bases de replanteo de alta precisión en obras lineales de largo recorrido como carreteras, ferrocarriles y líneas de transmisión, de grandes obras de ingeniería como túneles, puentes y presas. Además, el replanteo de puntos de un proyecto de ingeniería, control de calidad en obra y control de deformaciones de estructuras etc. (Rioacha, 2007).

### *3.2.2 Topografía en los proyectos de construcción*

La topografía es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie terrestre, con sus formas y detalles; tanto naturales como artificiales definidos por la planimetría y la altimetría. Esta representación tiene lugar sobre superficies planas, limitándose a pequeñas extensiones de terreno. (Figueredo, 2014).

El estudio de la topografía, hace sólo unos pocos años, estaba dirigido solamente a los estudiantes de ingeniería civil y profesionales que necesitaban conocimientos básicos para trabajar en áreas muy técnicas como la geodesia. La topografía se estudia ahora en muchas disciplinas debido a la especialización y creación de nuevas profesiones, a las nuevas tecnologías y al aumento en general de aplicaciones topográficas en áreas que por tradición aparente no la necesitaban. Las ciencias o profesiones que trabajan en la transformación de la superficie terrestre contienen implícitas dentro de su desarrollo áreas técnicas específicas entre las cuales se encuentra la topografía, ésta nos brinda elementos necesarios para la evaluación de proyectos de construcción e intervención de obras, tanto arquitectónicas como civiles, así como proyectos ambientales y agropecuarios. . (Guevara, 2007).

Desde tiempos antiguos el hombre buscó la perfección en sus obras e invenciones, la topografía aparentemente, aunque más rustica e imprecisa, ayudo a construir grandes



estructuras que hoy en día aún nos asombran. La aplicación de mapas topográficos o la modelación de la superficie topográfica en BIM parten de un conjunto de puntos o curvas de nivel que representen las características topográficas del lugar de construcción del proyecto, donde se debe estar atento a las cotas de elevación y coordenadas planas de ubicación del mismo. Con el apoyo de los datos obtenidos en el levantamiento topográfico se recomienda la modelación y ubicación de elementos tales como árboles, construcciones y redes existentes, entre otros, con la finalidad de cuantificar y tener presente en el presupuesto las posibles demoliciones que se requieran al momento de la construcción (Porras & Díaz, 2015).

Pero si bien BIM nos permite solucionar problemas de definición geométrica que se presentan en un proyecto de construcción, los cuales provocan desfases e innumerables problemas constructivos, mayores costos y plazos. La Topografía como parte importante de la Construcción se utiliza para establecer la definición geométrica de los proyectos de cualquier obra civil.

De esta manera, al implementar el sistema BIM en nuestras obras podemos simplificar los diseños y definiciones geométricas. De este modo, se automatiza la corrección en tiempo real, son más entendibles y hace que nuestro proyecto sea más involucrativo/colaborativo/inclusivo. Por ejemplo, para ello podemos fusionar la topografía en obra con la atención en una oficina técnica integrado dentro de un entorno de trabajo colaborativo especializado en obra civil. El resultado de esta fusión es el modelo paramétrico tridimensional del proyecto, el cual permite de forma semiautomática la obtención de mediciones planas, entre otras muchas ventajas.

Dicho modelos en 3D, compartido dentro de un entorno de trabajo colaborativo en una nube, permite que los posibles conflictos se detecten en la fase de proyecto y no en la de la construcción. Dando como resultado proyectos optimizados rigurosos, fiables y transparentes.



En la siguiente figura, veremos algunas maneras de como fusionar la topografía para trabajarla en BIM y algunas herramientas que podemos utilizar para hacerlo.

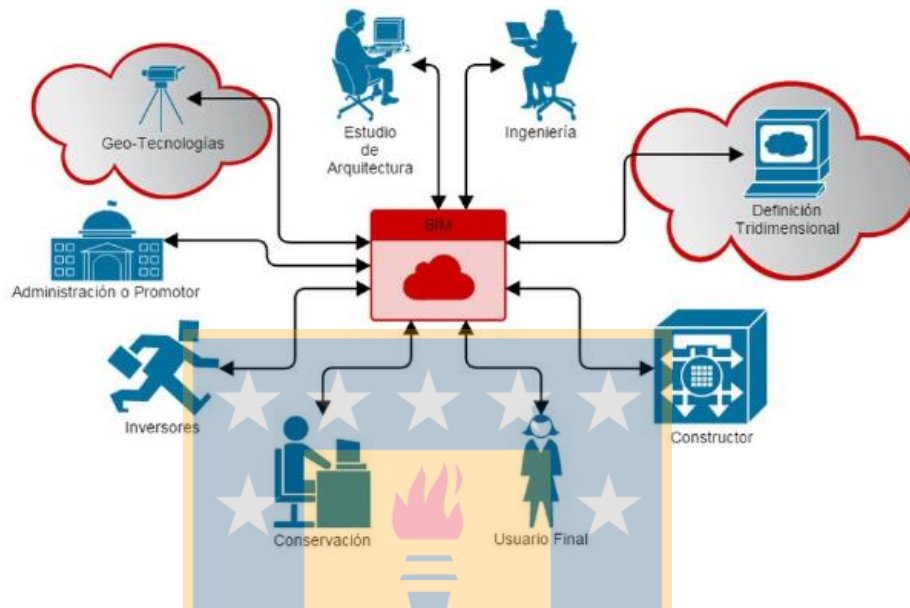


Ilustración 10: Trabajo de Topografía relacionada con BIM. Fuente: (Mundo de la Topografía ,2016)

### 3.2.2.1 Pasos principales de BIM (Revit) aplicada a la topografía convencional

Antes de abrir el programa, debemos plantearnos la finalidad del proyecto. Entre otras palabras, ¿qué dimensiones del BIM vamos a desarrollar? En este caso queremos elaborar un proyecto para extraer dimensiones o mediciones, de esta manera pretendemos crear un modelo que genera la animación temporal, que muestre los procesos que se van a ejecutar en la obra para poder llevar un control en la planificación de la topografía. Automáticamente. Otra pregunta ha de surgir en nuestra mente. ¿Qué nivel de desarrollo queremos alcanzar y que clase de información vamos a introducir en nuestro modelo? Es un diseño básico, un modelo geoméricamente muy detallado ya que lo que se persigue es tener una idea de la forma y los espacios (medidas exactas) sin llegar definir materiales. A nivel de información, tampoco se dispone, en esta fase del proyecto, es un proyecto ejecutivo, donde el modelo a desarrollar ha de intentar reproducir fielmente aquello que se va construir. Los elementos constructivos han de estar

completamente definidos y disponemos de la información de los fabricantes para detallarlos.

Una vez ya definido las respuestas del proyecto, podemos abrir nuestra plataforma BIM, en este caso Revit, para empezar a crear un nuevo modelo, donde es necesario definir los siguientes puntos.

1. Escoger una de las plantillas que vienen predefinidas en Revit, a no ser que dispongamos de plantillas personalizadas, en este caso usaremos plantilla de construcción.



Ilustración 11: Elección de plantilla del proyecto. Elaboración Propia.

2. Es conveniente localizar geográficamente el modelo. Para ello, dispondremos de un archivo .DWG en coordenadas. (no es el único camino para realizar esta tarea, pero si bien es la más sencillo).

El primer paso que hemos de realizar es activar el *Punto base del proyecto* y el *Punto de reconocimiento* y, con este propósito, deberemos acceder al menú *Modificaciones de visibilidad/gráficos*. La forma más rápida de llegar a este menú, es tecleando “vv” sobre el *Área de modelado y visualización*. Una vez dentro de este menú, nos dirigiremos a la ficha *Categorías de modelo* y activaremos los dos puntos, que localizaremos expandiendo el grupo *Emplazamiento*. Una vez visibles, procederemos a vincular el archivo .dwg dentro de nuestro modelo. Con este fin, nos desplazaremos hasta la

ficha Insertar y seleccionaremos la herramienta *Vincular CAD* del grupo *Vincular*. Escogeremos la opción *Automático-Centro a centro* a la hora de indicar su posición. En este punto, es muy importante, no perder de vista el tema de las unidades ya que, si elegimos la opción *Autodetectar*, Revit adquiere las unidades que han sido configuradas en el dibujo de AutoCAD.

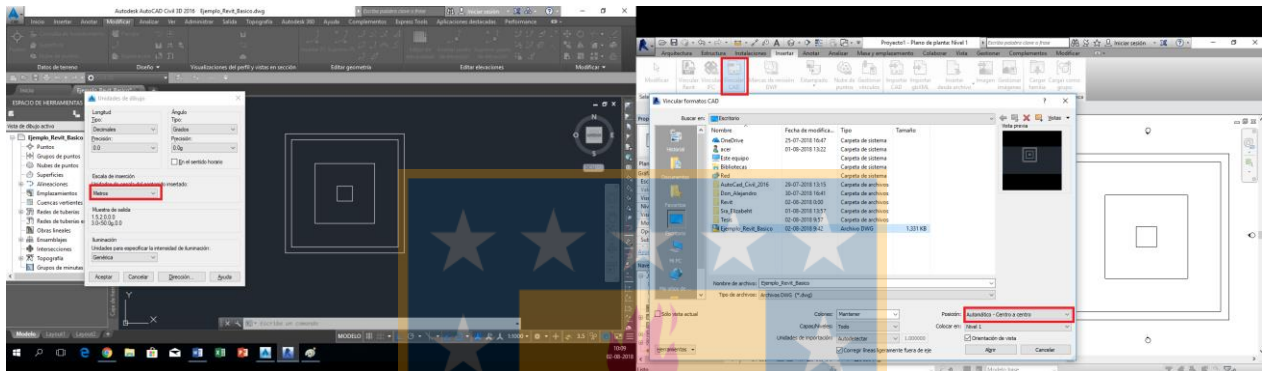


Ilustración 12: localización geográficamente y Vinculación CAD en el modelo. Elaboración Propia.

3. El siguiente paso consiste en crear los Niveles Y Rejillas que utilizaremos como referencia a lo largo de todo el proceso del modelado. Estos elementos han de coincidir con los ejes de la estructura del proyecto de construcción virtual.

Para elaborar las rejillas, nos dirigiremos a la ficha *Arquitectura* y utilizaremos la herramienta *Rejilla* dentro del grupo *Referencia*. La herramienta *Nivel* la encontraremos en la misma ubicación, pero debemos tener en cuenta, que para insertar estos elementos debemos situarnos en un alzado o en una sección.

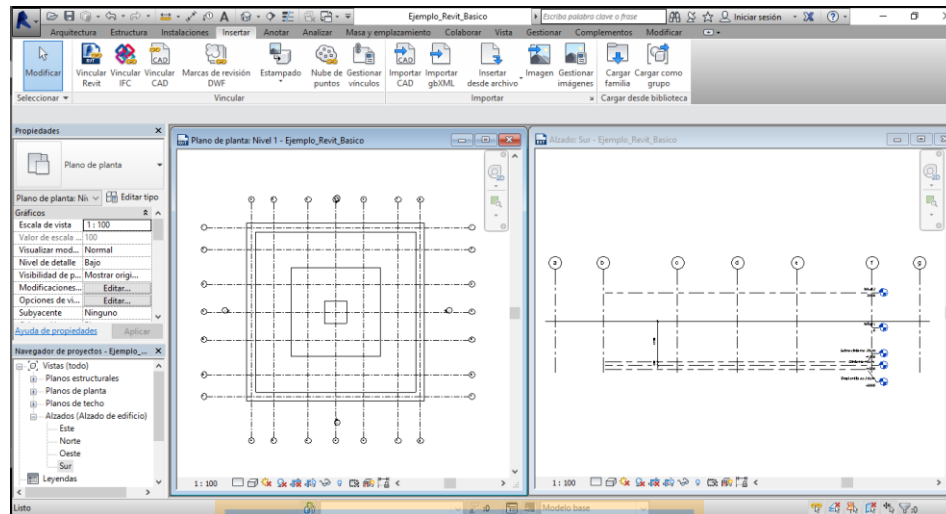


Ilustración 13: Niveles y Rejillas. Elaboración Propia.

Con estos puntos definidos, estamos listos para empezar a modelar, donde el primer paso son los muros, Los muros son la base de cualquier proyecto de arquitectura. Si bien durante el proceso de diseño con Revit Architecture es muy probable que comencemos dibujando muros en vez de establecer una rejilla. También es cierto que la rejilla, en definitiva los ejes constructivos, terminará agregándolos al proyecto. Cuando se realiza un trabajo de delineación, es decir, pasar a Revit lo que ha sido dibujado o proyectado en otro medio, existe un orden ideal de trabajo donde la Rejilla juega un papel importante, igualmente lo niveles, ya que son los encargados de dar las alturas de cada muro.

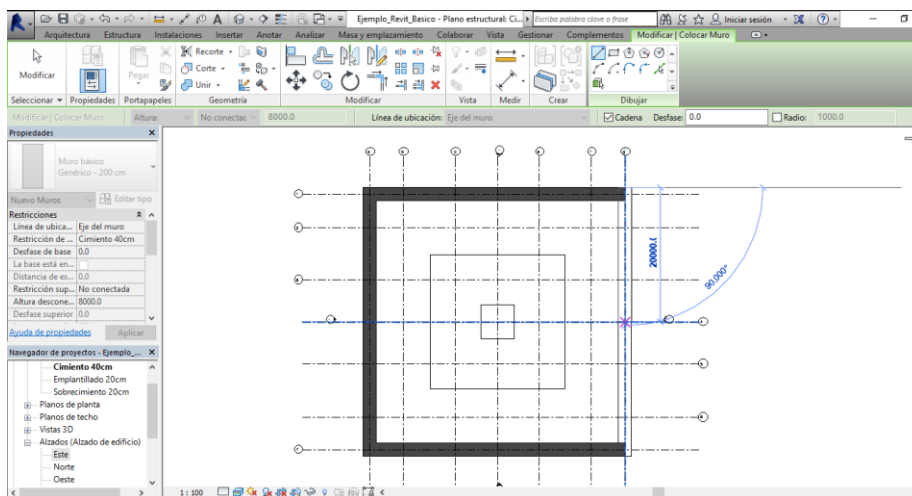


Ilustración 14: diseño de muros. Elaboración Propia.

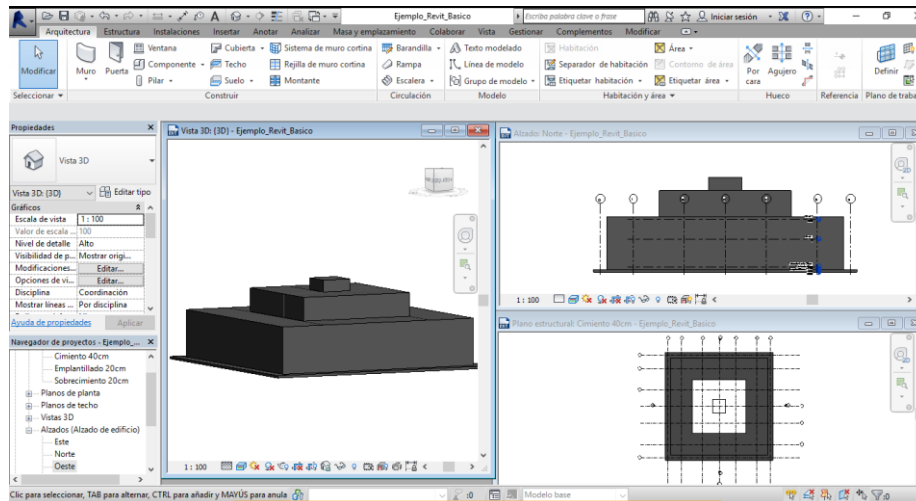


Ilustración 15: modelado del proyecto finalizado. Elaboración Propia.

### 3.2.3 Fotogrametría y la teledetección en los proyectos de construcción

La Fotogrametría y Teledetección es “el arte, ciencia y tecnología para la obtención de medidas fiables de objetos físicos y su entorno, a través de grabación, medida e interpretación de imágenes y patrones de energía electromagnética radiante y otros fenómenos”. Esta definición es más amplia, abarcando técnicas modernas, y eliminado casi las diferencias existentes entre la Fotogrametría y la Teledetección. (Sánchez, 2007).

La Fotogrametría ha dejado de ser una técnica reservada y aplicada al campo de la cartografía, así como los levantamientos topográficos de una cierta magnitud, para constituirse en una herramienta eficaz y precisa para el levantamiento de planos de proyectos de construcción en 3D, gracias a la potencia de los ordenadores y a la aparición de aplicaciones informáticas sencillas y asequibles, donde ahora podemos definir como la Fotogrametría Arquitectónica o de obras civiles como la técnica que permite restituir (reconstruir) la geometría y dimensiones de un objeto o de un proyecto ya construido a través de un conjunto de fotografías tomadas del mismo. (Santa Cruz, 2003).

El escaneo láser 3D es una técnica de captura masiva de datos que permite generar nubes de puntos con alta precisión geométrica, modelos 3D con texturas HD, Modelos Digitales de Terreno (MDT), cartografía, orto imágenes y toda una serie de

subproductos asociados. Si bien no hay un software que se dedique totalmente a la reconstrucción de objetos y que identifique las características geométricas, BIM nos permite visualizar la realidad virtual y el levantamiento mediante fotogrametría o nubes de puntos en la construcción, dando énfasis a la captura de la realidad. (Blasco, 2017).



Ilustración 16: Campos de aplicación de la tecnología láser 3D. Fuente: BIM Forum Chile.

### 3.2.3.1 Automatización de Scanner Laser 3D y BIM

La necesidad de una mejor documentación 3D del entorno construido, ha pasado a primer plano en los últimos años, liderada principalmente por el modelado de ciudades a gran escala y el modelado de Información de proyectos de construcción (BIM) a menor escala. La automatización se considera deseable ya que elimina la cantidad de tiempo y, por lo tanto, la costosa cantidad de intervención humana en el proceso de generación de modelos. No solo existe una necesidad comercial, sino también un amplio interés de investigación debido a la aspiración de modelos 3D automatizados de las comunidades de Geomática e Informática. El objetivo es ir más allá del actual uso intensivo de la nube



de puntos en un proceso automatizado que produce una geometría abierta y más verificable.

Las principales técnicas para capturar datos 3D sobre el entorno construido desde plataformas terrestres son mediante escaneo láser o mediciones con estación total. El escaneo láser ha sido la tecnología elegida para la captura 3D de estructuras complejas, esto incluye obras de construcción con elementos muy detallados, donde se encuentran frecuentemente en el uso creciente de la construcción, donde es necesario incluir nuevas tecnologías como escaneo láser, que se presenta como la opción más viable.

BIM es el flujo de datos digitales que guía el ciclo de vida de un proyecto de construcción, destinado a impulsar y proporcionar una mejor gestión de la información para ayudar en la toma de decisiones, un componente clave para esto es un modelo paramétrico 3D basado en objetos y rico en datos, que contenga información geométrica y semántica. Al crear un único repositorio de datos accesible, se pueden utilizar otras herramientas para extraer información útil para diversos fines.

Con la introducción de BIM y el modelo de objetos paramétricos 3D rico en datos, el escaneo láser ha pasado a primer plano como el principal medio de captura de datos. Esto ha sido ayudado por los gobiernos de los Estados Unidos y el Reino Unido al sugerir que el escaneo láser sea el método de captura de elección para la geometría. Sin embargo, se ha reflexionado poco acerca de cómo integrar esto en el los proceso BIM debido a los requisitos de información de un modelo BIM y la incertidumbre sobre el nivel de detalle o la información que debe proporcionar un Geomática o un topógrafo. Se plantea que una nube de puntos representa un nivel más bajo en base a detalles geométricos (como LoD 0) donde nos hace pensar que se pueden generar una mejor idealización de la información y representar mayores niveles de detalle.

La topografía tradicional con escaneo en la actualidad no da lugar a un producto que sea óptimo para el proceso de BIM debido al uso histórico de software de CAD no

paramétrico para crear planes de investigación. Por lo tanto, se requiere un cambio de proceso en los flujos de trabajo y los procedimientos de modelado de los interesados.

Una de las primeras piezas de investigación BIM con un flujo de trabajo se reconoce como SCAN a BIM, nombre abreviado dado al proceso de la investigación, ya que técnicamente es un modelo de objetos paramétricos 3D que ayudan al proceso BIM en su nivel actual de desarrollo.

### 3.2.3.3 Estándares para modelar

El requisito de precisión topográfica establecido por la Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS) fue de una precisión de 4 cm para el diseño detallado a una resolución de dibujo de 20 cm. Sin embargo, en un contexto de modelado 3D.

El más completo de estos modelados es de Plowman Craven, que lanzó libremente su especificación, se centró en el *software Autodesk Revit*. Una de las impresiones inmediatas de este documento es el número de advertencias que contiene con respecto a la geometría y cómo el modelo se desvía de la realidad. Esto se debe en parte a la dependencia de *Revit* y las restricciones de diseño ortogonal que esto confora. Craven hace uso de la disponibilidad de datos semánticos para agregar información de calidad sobre las desviaciones de la nube de puntos a los elementos modelados.

### 3.2.3.4 Estado del arte

El modelado automatizado se considera comercialmente deseable para reducir el tiempo y, por lo tanto, costar y hacer que el escaneo sea una propuesta más viable para una variedad de tareas en el ciclo de vida de un proyecto, como la detección diaria de cambios en la construcción. En general, el modelado digital se lleva a cabo para proporcionar una representación o simulación que no existe en la realidad. Sin embargo, para los proyectos de construcción existentes, el objetivo es modelar las entidades tal como existen en la realidad. En la actualidad, el proceso es muy manual y muchos lo consideran lento, tedioso, subjetivo y exigente. El proceso manual general, al crear planos CAD 2D, desde nubes de puntos, requiere que el operador utilice la nube de puntos como



una guía en una herramienta BIM para trazar efectivamente alrededor de la geometría, requiriendo un alto conocimiento para interpretar y agregar la Información semántica que realmente hace que BIM sea un proceso valioso.

#### 3.2.3.5. Método de Charles Thomson y Jan Boehm

Este método busca automatizar la identificación de objetos geométricos a partir de nubes de puntos y viceversa. Se utilizaron entidades delimitadoras principales, es decir, muros. Otros objetos geométricos más detallados, como ventanas y puertas, no se consideran actualmente.

Se presentan dos opciones, una para reconstruir automáticamente la geometría básica de IFC de las nubes de puntos y otra para clasificar una nube de puntos dado un modelo IFC existente. El primero consiste en tres componentes principales:

1. Lectura de los datos en la memoria para su procesamiento
2. Segmentación de los planos horizontales y verticales dominantes
3. Construcción de la geometría IFC

Mientras que el segundo consiste en dos:

1. Leer los objetos de IFC que delimitan cuadros del archivo.
2. Utilizar los cuadros delimitadores para segmentar la nube de puntos por objeto.

En términos del flujo de trabajo Scan a BIM el trabajo podría ser visto como un suplemento a la construcción semiautomática de límites estructurales característicos de una construcción. Para propósitos topográficos la atribución de datos ajustados es útil para asegurar la calidad. Otros interesados podrían requerir otra información semántica que pueda ser añadida a la geometría IFC creada por el proceso o cambio con elementos específicos si fuesen requeridos.

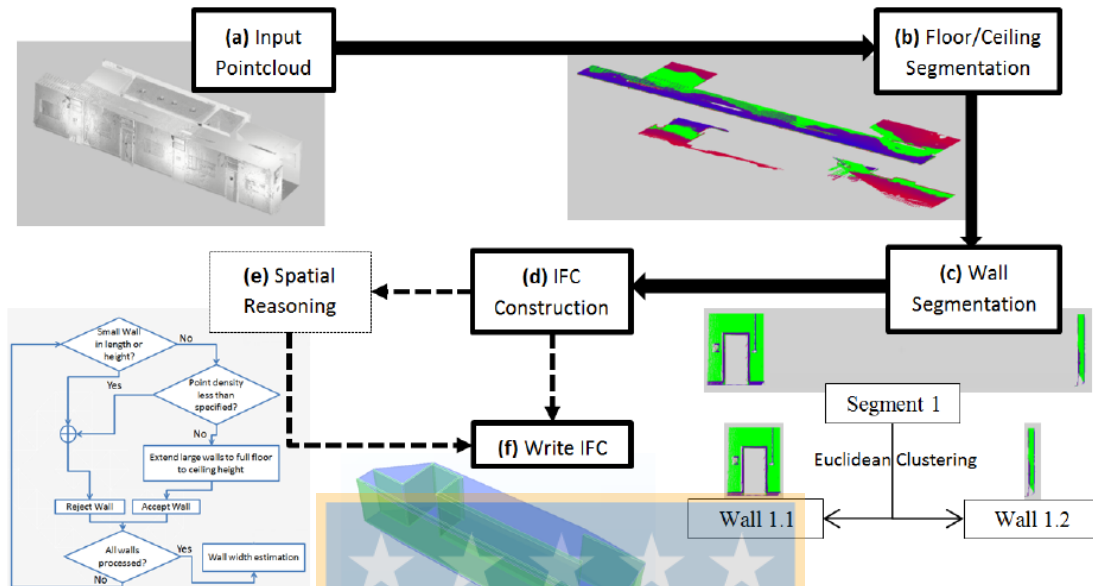


Ilustración 77: Diagrama de flujo de pasos de algoritmo de Nube de puntos a IFC. Fuente: (Charles Thomson & Jan Boehm, 2015)

### 3.2.4 SIG en los proyectos de construcción

Los SIG permiten gestionar y analizar la información espacial, almacenando información cartográfica y alfanumérica, la primera permite conocer la localización de cada elemento en el espacio y con respecto a otros, mientras que la segunda permite almacenar características o atributos de cada elemento gráfico. Es precisamente esta dualidad de almacenamiento la que diferencia a los sistemas SIG de otros Sistemas de Información y por la que nos interesa para nuestro estudio. (Valero, 2014).

Los Sistemas de Información Geográfica son de multipropósito utilizarlos, pero dentro de todas ellas podemos afirmar que tienen como punto central el hecho de trabajar con datos georreferenciados, con Información geográfica. Las aplicaciones de los Sistemas de información Geográfica dentro de la Ingeniería pueden ser múltiples: planificación y diseño de obras civiles, gestión de redes de servicios públicos, planes de protección ambiental, ordenamiento territorial y urbano, riesgos, hidrología, etc.

Un proyecto de construcción tiene que hacer referencia al conjunto de metodologías de trabajo y herramientas que se caracteriza por el uso de información coordinada, coherente, computable y continua; usando bases de datos compatibles que contengan toda la información referente al desarrollo de un proyecto de construcción. Esta información puede ser de tipo formal, pero también puede referirse a aspectos como los materiales empleados y sus calidades físicas, los usos de cada espacio, la eficiencia energética etc.” (Coloma, 2011).

Conseguir que dicha información esté coordinada es esencial para que el proyecto pueda llevarse a término por parte de múltiples usuarios, aunque se ocupen de disciplinas diferentes, por ende el uso de BIM va más allá de las fases de diseño, abarcando la ejecución del proyecto y extendiéndose a lo largo del ciclo de vida de la construcción, permitiendo la gestión de la misma y reduciendo los costos de operación.” (BuildingSmart, 2014) Uno de los focos actuales de desarrollo de mayor interés es el aprovechamiento de tecnologías como la construcción de modelado de información BIM y SIG 3D.

Los Datos Geoespaciales han tenido un rol crucial en una variedad de proyectos relacionados a infraestructura y manejo del territorio, tanto a escalas urbanas como rurales, y son usualmente manejados en ambientes SIG capaces de desarrollar análisis espaciales avanzados, incluyendo softwares de fabricantes y de código abierto, distintos formatos de archivos, escalas variables, distintos sistemas de referencia, etc. Existen herramientas específicas para realizar análisis avanzados de archivos raster y vectoriales, para detectar y cuantificar patrones, hacer predicciones, y realizar consultas espaciales y mediciones. Sin embargo, los softwares SIG carecen de varios instrumentos y herramientas para el modelamiento paramétrico típico de los softwares BIM. De la misma forma, los softwares BIM diseñados no solo para el diseño y la construcción, sino que, para todo el ciclo de vida, tienen herramientas limitadas para manejar datos geoespaciales.

Por el momento, BIM y SIG aparecen como soluciones complementarias, a pesar del trabajo investigativo que se desarrolla en torno a asegurar un mejor nivel de

interoperabilidad, especialmente en la escala de la construcción. Por otro lado, la transición de escalas locales (construcciones) a infraestructuras (donde no puede ser negada la información geoespacial) ha demostrado que el modelamiento paramétrico integrado con datos geoespaciales es una poderosa herramienta para simplificar y agilizar algunas fases del flujo de trabajo del diseño (Barazzetti y Banfi, 2017).

Los flujos de datos mejorados generarán decisiones más inteligentes y crearán la próxima evolución de cómo hacemos 'smart': ciudades inteligentes, servicios inteligentes (Environmental Systems Research Institute (Esri, 2018)).

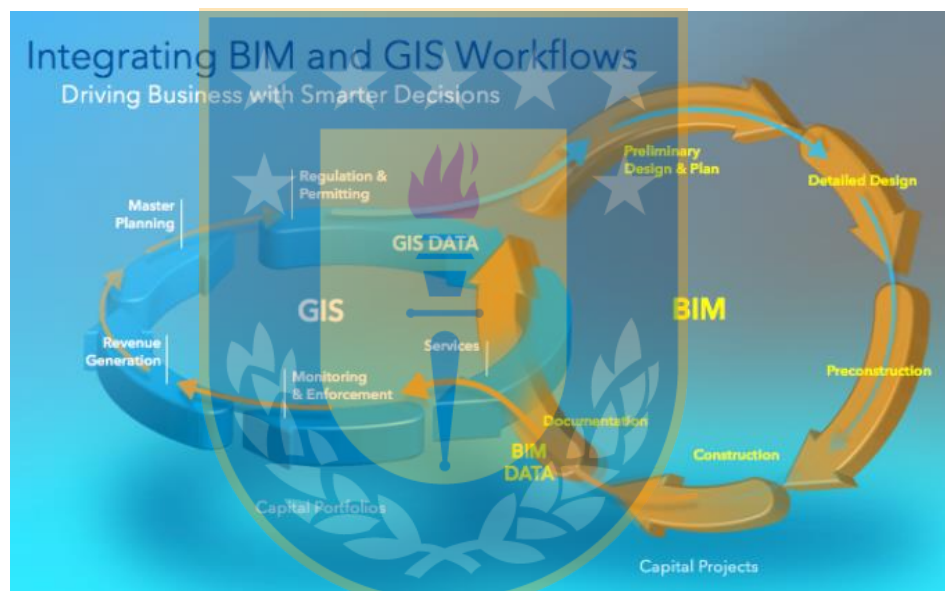


Ilustración 88: Integración de flujos de trabajo de BIM y SIG. Environmental Systems Research Institute (Esri, 2018)).

## 4 DATOS GEOESPACIALES EN BIM

### 4.1 Interoperabilidad

La idea principal a la hora de integrar dos o más softwares es permitir la comunicación entre ellos, el intercambio de información para alcanzar un objetivo común. Para lograr lo anterior, deben estar conectados todos los tipos de datos entre diferentes fuentes y sistemas, de manera que conduzcan a la obtención de una información y conocimiento eficiente.

En relación al espacio, las ciudades tienen grandes superficies y usos dentro de los edificios. A modo de ejemplo, Dan Campbell en la ciudad de Vancouver, explica que un modelo BIM es un cuarto del espacio del modelo SIG en 3D de toda la ciudad. (Safe Software, 2016). Esto significa que en muchos la mayoría de los datos tendrán que originarse de sistemas BIM y conectarse a los SIG. Por lo tanto, para hacer esto posible, las bases de datos BIM tendrán que evolucionar al mismo estado de apertura que los SIG.

El uso de bases de datos abiertas puede ser considerado como un modelo dentro del SIG y sin embargo, el enfoque de BIM está todavía muy orientado hacia su habilitación en la web y no tanto hacia el uso de modelos BIM de transferencia de datos abiertos (Mansson, 2015).

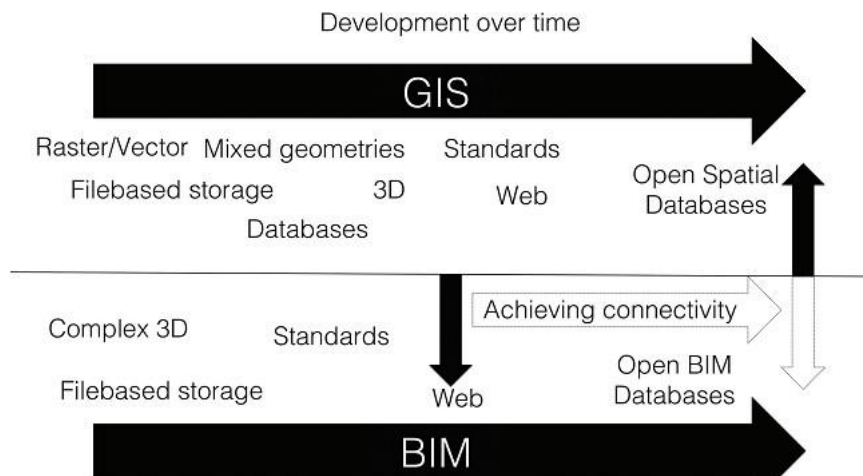


Ilustración 99: Conectividad BIM y SIG. (Mansson, 2015)

Un proyecto de construcción conlleva normalmente una serie de herramientas de software de diferentes agentes para llevar a cabo tareas específicas, por lo que la demanda para compartir datos e información entre los agentes del proyecto durante el ciclo de vida de este ha aumentado considerablemente. El intercambio de datos en un entorno tan diverso requiere que todas las partes tengan un modelo de datos común, de modo que cada parte sea como generar e interpretar los datos dentro de la comunidad. Un modelo neutro común es la solución más factible en la industria de la construcción y el *Facilities Management (FM)* para permitir el intercambio de datos o la integración en diferentes aplicaciones. Con un modelo de datos común, es posible que la información referente al proyecto sea creada una vez, y luego sea reutilizada y ampliada durante el resto del ciclo de vida del edificio. Esto reduce la duración del proyecto, eliminando la necesidad de volver a crear modelo de datos en varias ocasiones y aumenta la calidad del mismo gracias a la eliminación de errores. (Mansson, 2015).

#### 4.1.1 Formato IFC

El formato IFC, es un formato de datos de especificación abierta que fue desarrollada por la Alianza Internacional para la interoperabilidad (IAI) (convertida actualmente en building-SMART) y representa no solo componentes concretos de las edificaciones, como muros, puertas, vigas, etc., sino también incluye conceptos más abstractos como planificadores, actividades, espacios, organización, costos, etc., en forma de entidades. Todas las entidades pueden tener un número de propiedades (nombre, geometría, materiales, relaciones, etc., por ejemplo). En definitiva, las clases y objetos IFC representan un modelo de información tanto geométrico como alfanumérico, formato por un conjunto de más de 600 clases y continua ampliación. Todos los programas de software que soportan IFC pueden leer y escribir información e intercambiarla con otros programas. De este modo comunicar los “objetos”, con funcionalidad y propiedades.

Los formatos IFCs, llevan más de una década de desarrollo, pero con recursos insuficientes y dependiendo de un pequeño número de expertos. Si bien el estándar IFC 2x3, encontramos el IFC 4 que mejorara mucho este tratamiento de la información. Así,

el futuro abierto IFC 4, (building Smart, 2016), pasa por dos vías. Por una parte, tenemos el formato IFC 4 Reference View, cuya utilización será para la coordinación del modelo, y no será editable (los objetos no se convertirán en nativos) con una relación muy parecida al formato IFC 2x3, y luego el formato IFC4 Design Transfer View, en donde podemos importar los elementos como si fueran nativos.

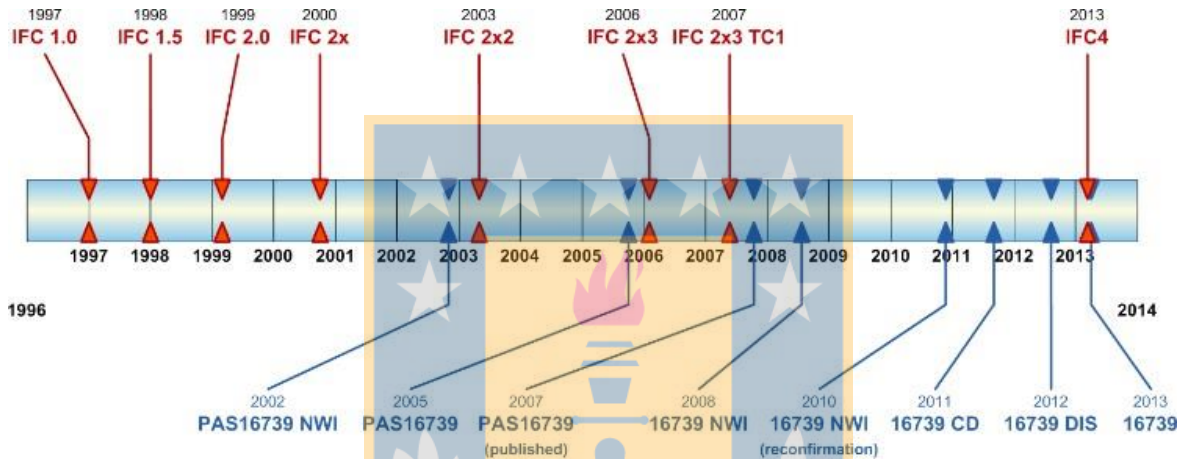


Ilustración 20: Evolución estándar IFC.

#### 4.1.2 Formato CityGML

En el campo de información geográfica se ha desarrollado una especificación que facilita la interoperabilidad, denominada lenguaje de marcado geográfico (Geography Markup Language GML), el cual permite la representación de las entidades geográficas del mundo real. El objetivo de CityGML es definir de forma común las entidades básicas, atributos y relaciones que establecen un modelo de ciudad 3D, independientemente de su campo de aplicación. Además, no solo representa la geometría, topología y apariencia de los objetos de forma coherente y homogénea, sino también las propiedades temáticas y semánticas, clasifican a través de parámetros y agregaciones. El modelo temático está dividido en diferentes áreas: modelos digitales del terreno, edificios, la vegetación, los sistemas de transporte, el mobiliario urbano, etc.

La información puede representarse en 5 niveles:



- LoD 0: Región geográfica
- LoD 1: Ciudad
- LoD 2: Zona urbana proyecto
- LoD 3: Modelos arquitectónicos exteriores
- LoD 4: modelos arquitectónicos interiores

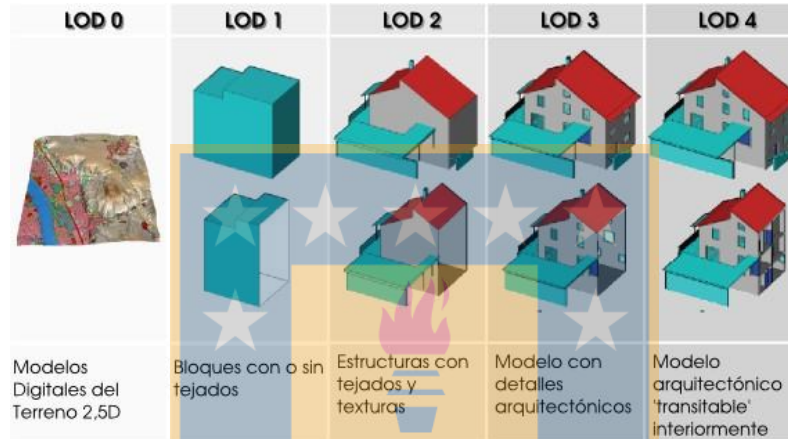


Ilustración 10: Niveles CityGML

En CityGML existen relaciones explícitas entre la semántica de los objetos y su representación geométrica; de esta forma, las entidades geométricas “saben” lo que son y las entidades semánticas “saben” donde están y cuáles son sus extensiones espaciales (Kolbe & Stadler, 2008). Es claro que la información semántica es altamente beneficiosa, pero solamente si se conoce su relación con la geometría, para cada dimensión existe una primitiva geométrica: un objeto cero dimensión es un punto; un objeto unidimensional, una curva; bidimensional una superficie, y tridimensional, un sólido. Los modelos urbanos 3D pueden integrarse en diversos tipos de sistemas de información geográfica y permiten integrar información espacial heterogénea. El sistema resultante puede ser usado efectivamente en el proceso de planeación urbana.

Frente a otros modelos de representación de datos 3D, CityGML (Prieto, et al., 2012) permite representar información geográfica desde el ambiente de ciudad hasta el edificio gracias a los diferentes LoD. El edificio puede representarse en 3D incluyendo los detalles del interior al mismo tiempo que incorpora información sobre su entorno, a nivel



de barrio o centro histórico. Así, CityGML permite fusionar información procedente de CAD y GIS en un único modelo de datos. Esta información, tradicionalmente no compatible, incrementa la utilidad de los modelos almacenados y el campo de aplicaciones que lo explotan.

#### 4.1.3 Modelo BIM/GIS-IFC/CityGML

Las comunidades GIS y AEC, determinaron que tanto IFC como CityGML contienen elementos comunes y que, por lo tanto, pueden llegar a construir un eslabón de integración entre los mundos de los SIG y los sistemas de información de edificaciones. (Bello-Pérez & Pérez-Castillo, 2012).

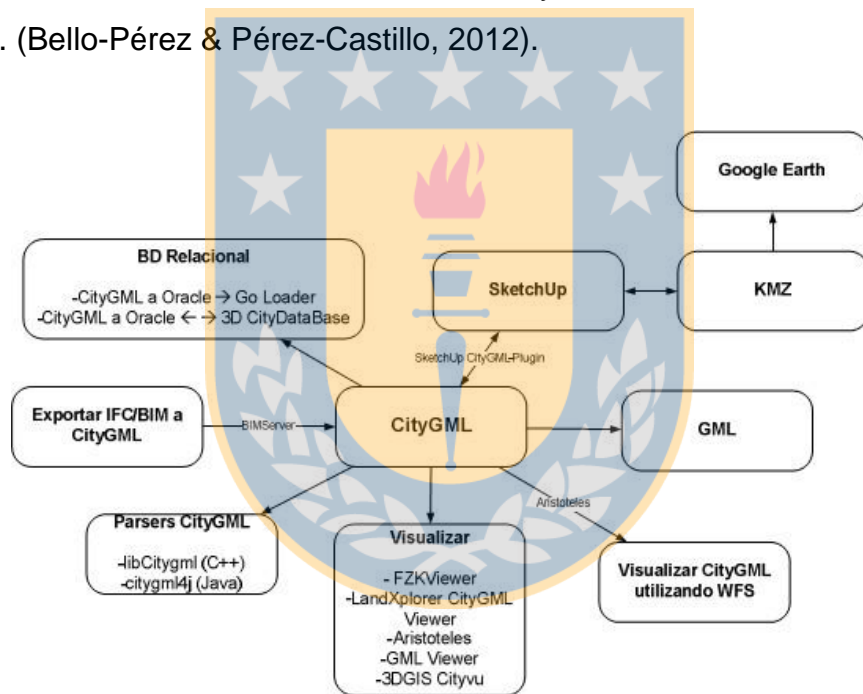


Ilustración 22: Interoperabilidad CityGML. (Prieto, Egusquiza, Delgado, & Martinez, 2012)

Los modelos IFC que se convierten a modelos CityGML deben ser georreferenciados. En general, un modelo IFC puede definirse dentro de un sistema de coordenadas arbitrario. Para usar tal modelo dentro de un entorno geográfico virtual tiene que ser transformado al sistema de coordenadas geográficas. De esta forma, las partes internas de la edificación también son georreferenciados. Al igual que en el GML. Las geometrías de IFC son propiedades espaciales de los objetos semánticos. El IFC posee un modelo de geometría muy flexible (representaciones CSG, BRep y Sweep), pero no provee soporte para sistema de coordenadas de referencia.

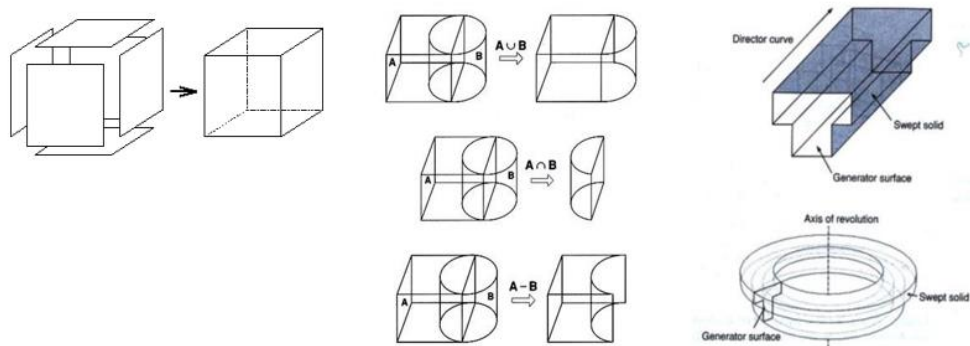


Ilustración 23: Diferencias de representación BRep (Boundary representation), SGC (constructive solid geometry) y Sweep.

Debido a que el ámbito IFC está restringido a edificaciones y sitios, no incluye clases de fenómenos topográficos, como terreno, vegetación, zonas de agua, etc. IFC es un modelo semántico como CityGML, pero con un entorno y escala diferentes. Los modelos IFC pueden ser convertidos a CityGML con diferentes grados mientras preserva la mayoría de la información semántica. Sin embargo, las geometrías CGG y Sweep deben ser convertidas a BRep. De esta forma, los objetos IFC pueden ser traídos al contexto de modelos de ciudad dentro de SIG o bases de datos espaciales y podrían entonces ser objeto de consultas espaciales y temáticas. (Kolbe, 2009).

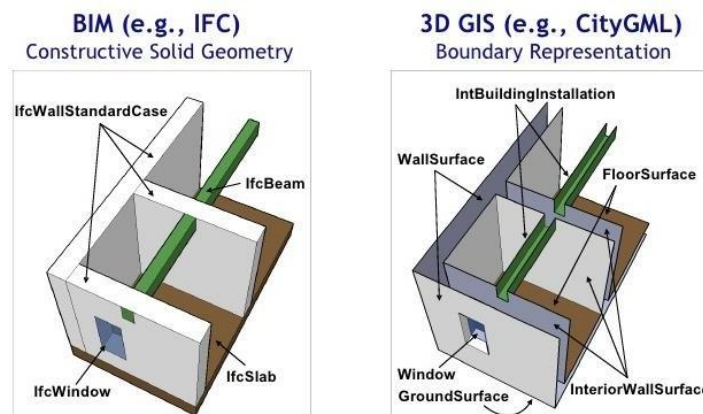


Ilustración 24: Diferencias modelado IFC-CityGML.

Open Geoespacial Consortium (OGC) es la entidad encargada de fijar los estándares de información espacial en el ámbito internacional. Uno de sus programas es el de interoperabilidad, que busca facilitar el intercambio de información geográfica, incluido diseño asistido por computador, SIG y BIM. Dicha integración busca introducir los conceptos geográficos en BIM, y la pieza fundamental son los servicios web del Open Geoespacial Consortium. El modelo de la edificación se almacena IFC y es traducido mediante un servicio web de entidades a lenguaje CityGML.

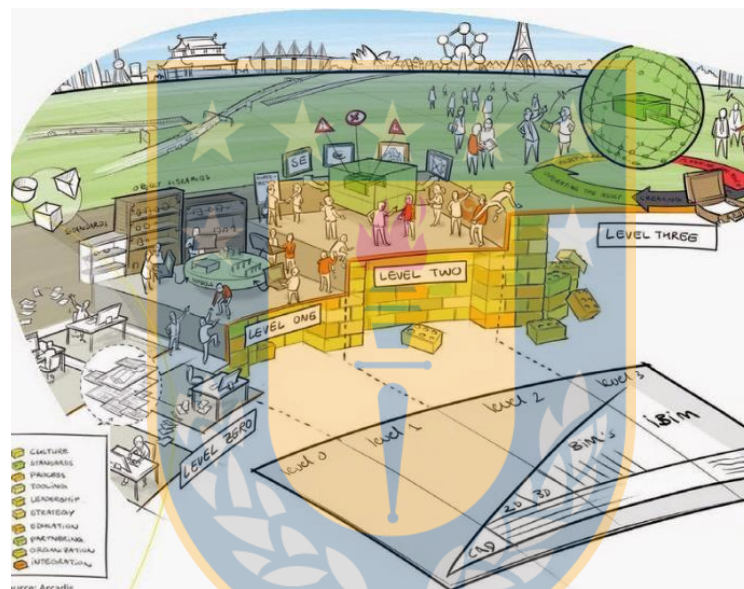


Ilustración 25: Evolución del BIM, Niveles

Los principales desarrolladores de IFC y CityGML están de acuerdo en que esos dos modelos de información son complementarios. Teniendo esto en cuenta, existe un gran desafío respecto a métodos que permitan traducir algún conjunto de IFC hacia CityGML, y viceversa. Por lo tanto podemos afirmar que el futuro de la interoperabilidad en los dominios de la arquitectura, la ingeniería y la construcción y SIG implica la comprensión de cómo se complementan IFC y CityGML (Open Geoespacial Consortium, 2016) para permitir su transformación e integración. Así, lo más difícil en esta etapa de BIM 2 en la que nos encontramos, ha sido por tanto estandarización. En el caso del software para el campo geoespacial, ha sido el software libre es el que ha hecho la fuerza para la estandarización con el grado de consenso que ahora representa el Open

Geoespacial Consortium OGC, donde se ha logrado avanzar con varios estándares de aceptación consensuada que apuntan al BIM, especialmente el GML.

Las preferencias de la convergencia de disciplinas son notorias tanto en la fusión/adquisición de empresas como en la visión relativa por la estandarización. El nivel de integración que se espera en el BIM Nivel 3, ya después de 2020 incluye expectativas un tanto utópicas de uniformidad en cuanto los estándares: Datos Comunes (IFC), Diccionarios Comunes (IDM) y procesos comunes (IFD). Se espera que la adaptación del ciclo de vida lleve al internet de las cosas (Internet of Things IOT), en donde no solo está modelada la superficie del terreno, sino también las maquinarias e infraestructuras que forman parte de los inmuebles, los objetos utilizados para el transporte (bienes muebles), los bienes de consumo doméstico, los recursos naturales, todo en el ciclo de vida que aplica a la actuación de derecho público y el privado de los propietarios, planeadores, diseñadores, planeadores e inversores.

En lo que muchos coinciden, es que GIS se integrara en el BIM bajo la visión de ciudades inteligentes.

## 4.2 Calidad de datos Geoespaciales en BIM.

### *4.2.1 Calidad de datos desde la perspectiva de la información geográfica*

La información geográfica en formato digital se proporciona generalmente en cantidad insuficiente y en diversas organizaciones, lo que genera dificultades para explotar tales datos. Abordar esta deficiencia requiere recopilar todos los datos disponibles y gastar muchos esfuerzos para integrarlos y estandarizarlos. El objetivo principal de proporcionar información topológica en sistemas de información geográfica (SIG) es mejorar las capacidades de análisis espacial.

El elemento clave es la calidad de los datos que deben ser informados y relacionados con el alcance específico. Para esto, la calidad de los datos se expresa

mediante elementos de calidad descritos por medidas, proceso de evaluación de calidad, resultados y metacalidad.

El Estándar Internacional establece los principios para describir la calidad de los datos geográficos, donde:

- Define componentes para describir la calidad de los datos;
- Especifica componentes y estructura de contenido de un registro para medidas de calidad de datos;
- Describe los procedimientos generales para evaluar la calidad de los datos geográficos;
- Establece los principios para informar la calidad de los datos.

Varios componentes principales de calidad de datos constan de siete elementos de calidad habituales: edad de línea, precisión posicional, exactitud de atributo, precisión semántica, precisión temporal, coherencia lógica y completitud. Donde el centro es la coherencia de los datos, de los componentes de calidad de datos espaciales, lo que implica la coherencia lógica. Debido a las características complejas de los datos geográficos, a los diversos flujos de trabajo de captura de datos y a las diferentes fuentes de datos, los grandes conjuntos de datos finales a menudo resultan en incoherencias, falta de exhaustividad e inexactitud. Para reducir la incoherencia de los datos espaciales y proporcionar a los usuarios los datos de calidad adecuada, la especificación de los requisitos de coherencia de los datos espaciales debe describirse explícitamente.

La descripción de restricciones o reglas de integridad espacial es una de las soluciones utilizadas por los enfoques actuales para especificar los requisitos de coherencia de los datos. Sin embargo, esos enfoques existentes no están bien estructurados o no son suficientes para ofrecer todos los contenidos necesarios para el usuario. En consecuencia, los contenidos complejos dificultan la comprensión de los requisitos definidos.

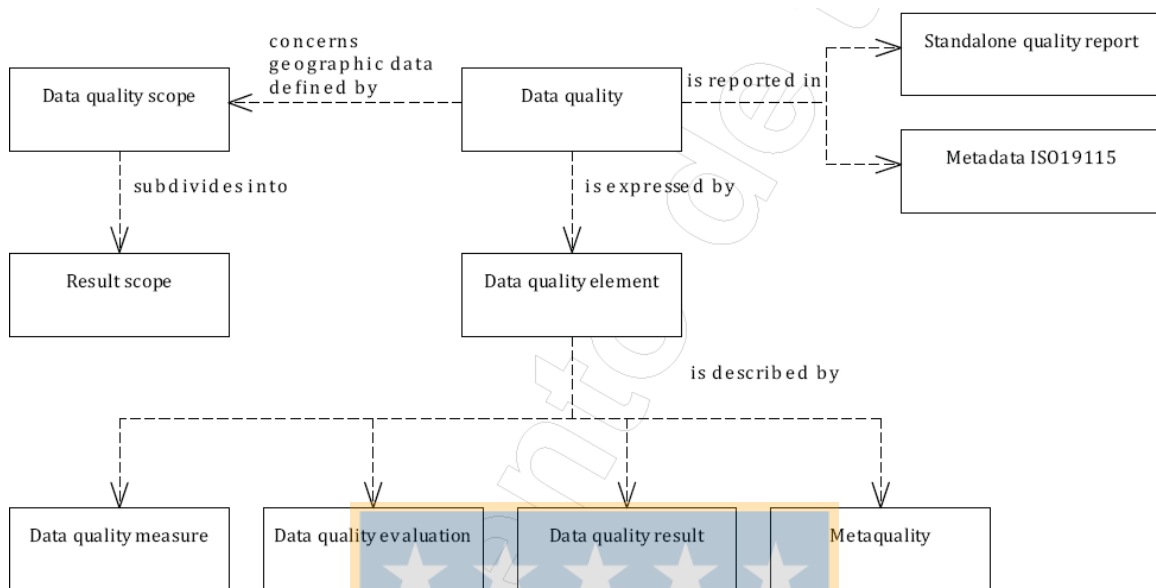


Ilustración 26: Modelo Conceptual del Estándar internacional (Ariza, 2011)

Los elementos de calidad habituales, componentes principales de calidad de datos son:

• **Completitud o Compleción:** Se define como la presencia y ausencia de características, sus atributos y relaciones. Se compone de dos elementos de calidad de datos:

1. Comisión: Exceso de datos presentes en un conjunto de datos.
2. Omisión: Datos ausentes de un conjunto de datos.

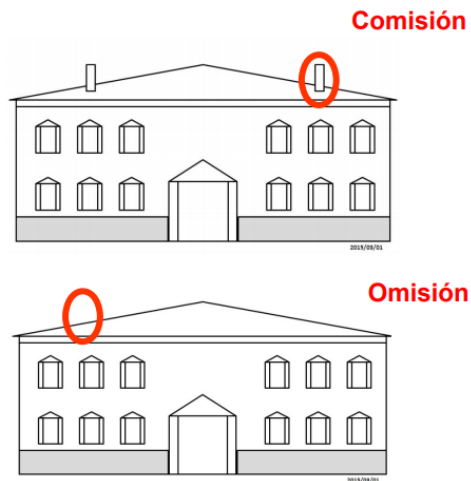


Ilustración 117: Modelo de ejemplo de Completitud o Compleción (Ariza. 2015)



• **Consistencia lógica:** Se define como el grado de adherencia a las reglas lógicas de la estructura, atribución y relaciones de datos (la estructura de datos puede ser conceptual, lógica o física). Si estas reglas lógicas están documentadas en otra parte (por ejemplo, en una especificación de producto de datos), se debe hacer referencia a la fuente (por ejemplo, en la evaluación de la calidad de los datos). Se compone de cuatro elementos de calidad de datos:

1. Consistencia conceptual: Adherencia a las reglas del esquema conceptual.
2. Consistencia del dominio: Adherencia de valores a los dominios de valor.
3. Consistencia del formato: Grado de almacenamiento de los datos de acuerdo con la estructura física del conjunto de datos.
4. Consistencia topológica: Corrección de las características topológicas codificadas explícitamente de un conjunto de datos.

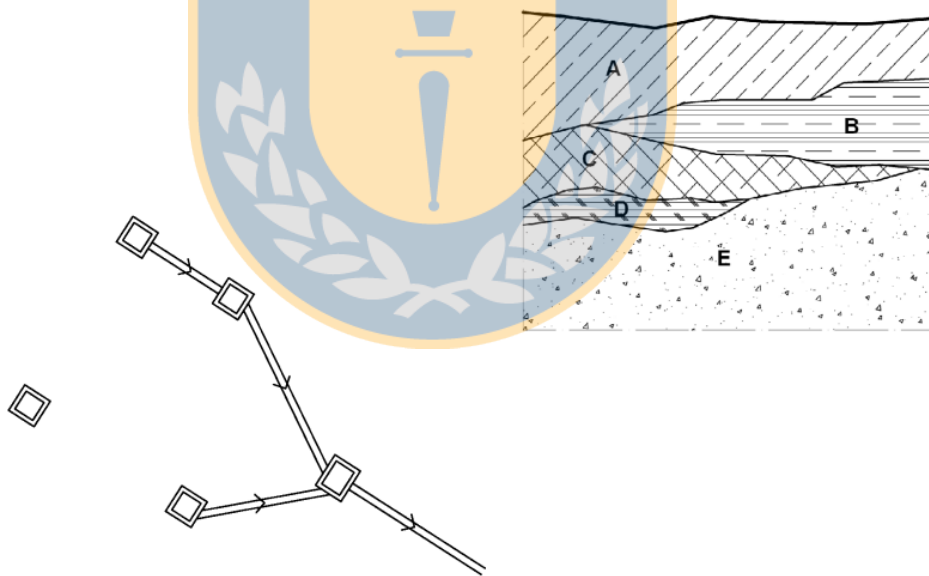


Ilustración 128: Modelo de ejemplo de Consistencia lógica (Ariza, 2015)

• **Exactitud posicional o métrica:** La precisión posicional se define como la precisión de la posición de las características dentro de un sistema de referencia espacial. Se compone de tres elementos de calidad de datos:

1. Exactitud absoluta o externa: La cercanía de los valores de coordenadas informados a los valores aceptados como verdaderos.
2. Exactitud relativa o interna: La cercanía del relativo, las posiciones de las características en un conjunto de datos a sus respectivos parientes, las posiciones aceptadas como o son verdaderas.
3. Exactitud de posición de datos cuadrículados: La cercanía de los valores de posición espacial de datos reticulados a los valores aceptados como verdaderos.

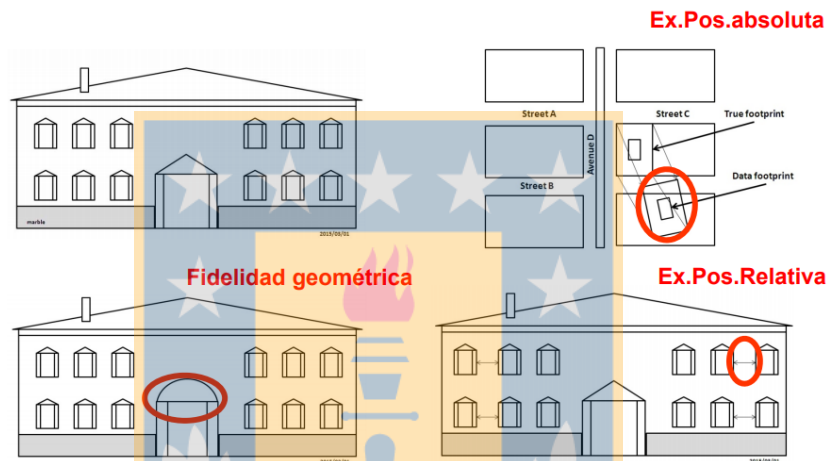


Ilustración 13: Modelo de ejemplo de Exactitud posicional o métrica (Ariza, 2015)

• **Exactitud temática:** La precisión temática se define como la precisión de los atributos cuantitativos y la corrección de los atributos no cuantitativos y de las clasificaciones de las características y sus relaciones. Se compone de tres elementos de calidad de datos:

1. Corrección de clasificación: Comparación de las clases asignadas a las características o sus atributos a un universo de discurso (por ejemplo, verdad en el terreno o datos de referencia).
2. Corrección de atributos no cuantitativos: Medida de si un atributo no cuantitativo es correcto o incorrecto.
3. Exactitud de atributo cuantitativa: La cercanía del valor de un atributo cuantitativo a un valor aceptado como o conocido como verdadero.



• **Calidad temporal:** La calidad temporal se define como la calidad de los atributos temporales y las relaciones temporales de las características. Se compone de tres elementos de calidad de datos:

1. Precisión de una medición de tiempo: proximidad de mediciones de tiempo informadas a valores aceptados o conocidos como verdaderos.
2. Consistencia temporal: Corrección del orden de los eventos.
3. Validez temporal: validez de los datos con respecto al tiempo.

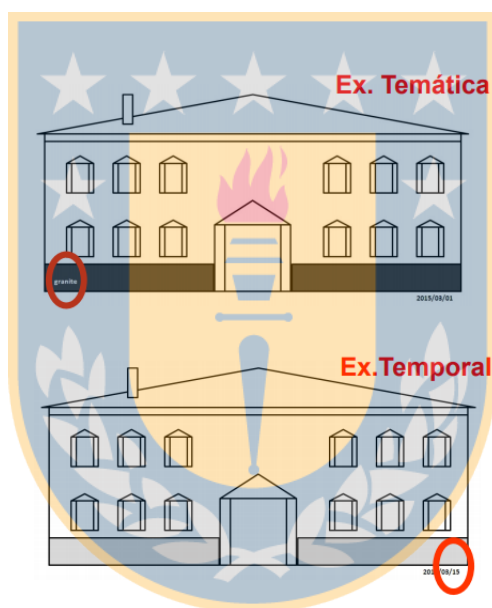


Ilustración 30: Modelo de ejemplo de Exactitud temática y temporal (Ariza, 2015)

• **Elemento de usabilidad:** La usabilidad se basa en los requisitos del usuario. Todos los elementos de calidad se pueden usar para evaluar la usabilidad. La evaluación de usabilidad puede basarse en los requisitos específicos del usuario que no se pueden describir utilizando los elementos de calidad descritos anteriormente.

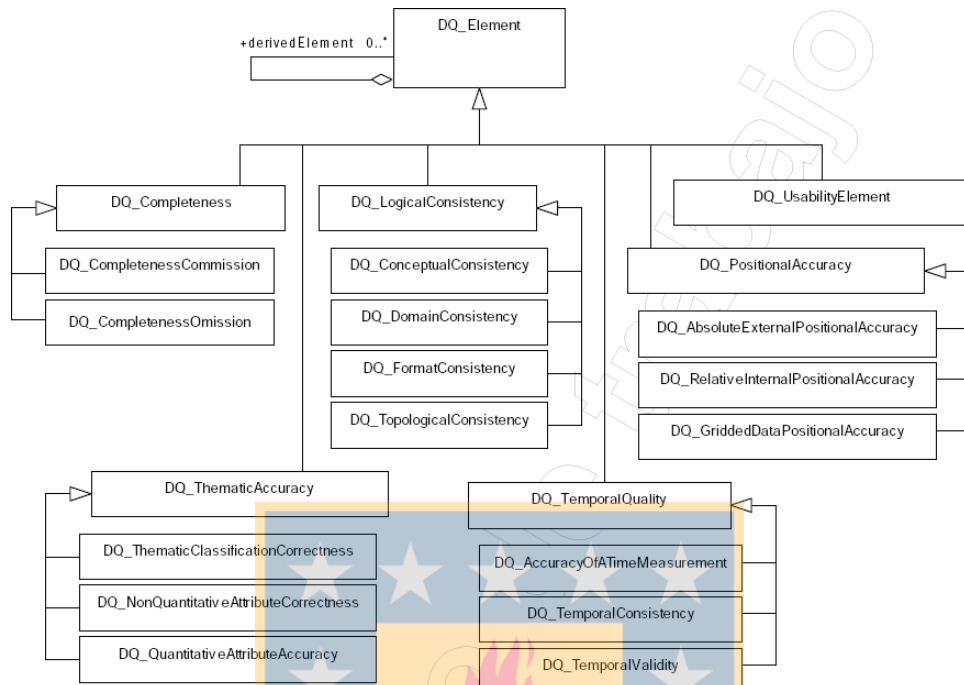


Ilustración 141: Categorías y Elementos de calidad de datos (Ariza, 2015)

#### 4.2.2 Calidad de datos desde la perspectiva de "ISO / TS 8000-1: 2011"

Se centra en la capacidad de crear, recopilar, almacenar, mantener, transferir, procesar y presentar datos para respaldar los procesos comerciales de manera oportuna y rentable. Este propósito requiere tanto una comprensión de las características de los datos que determinan su calidad, como la capacidad de medir, gestionar e informar sobre la calidad de los datos. Cubre las características de calidad de los datos industriales durante todo el ciclo de vida del producto desde la concepción hasta la eliminación. Trata tipos específicos de datos que incluyen, entre otros, datos maestros, datos de transacciones y datos de productos. Está organizado como una serie de partes:

- Partes 1 a 99: datos generales calidad.
- Partes 100 a 199: calidad de datos maestros.
- Partes 200 a 299: calidad de datos de transacción.
- Partes 300 a 399: calidad de los datos del producto.

Cada una de las series anteriores aborda la comunicación dentro de una organización y entre dos o más organizaciones.

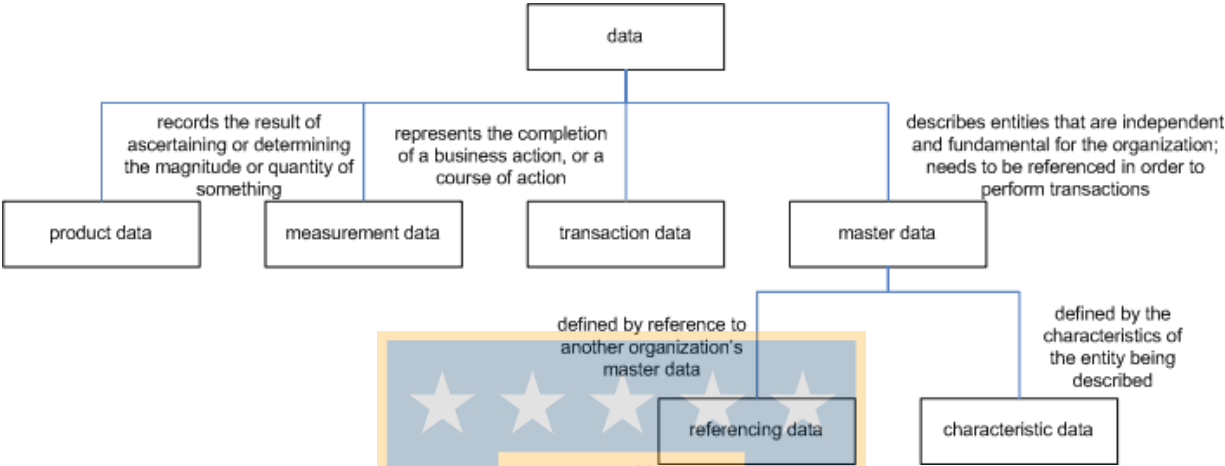


Ilustración 32: Visión general del alcance (Ariza, 2015)

Las relaciones establecidas entre datos y otros elementos también se pueden considerar válidas para GI. Desde el punto de vista de nuestro interés, el enfoque debe aplicarse a los elementos de calidad acompañantes propuestos para los datos: procedencia de los datos, precisión de los datos y completitud de los datos.

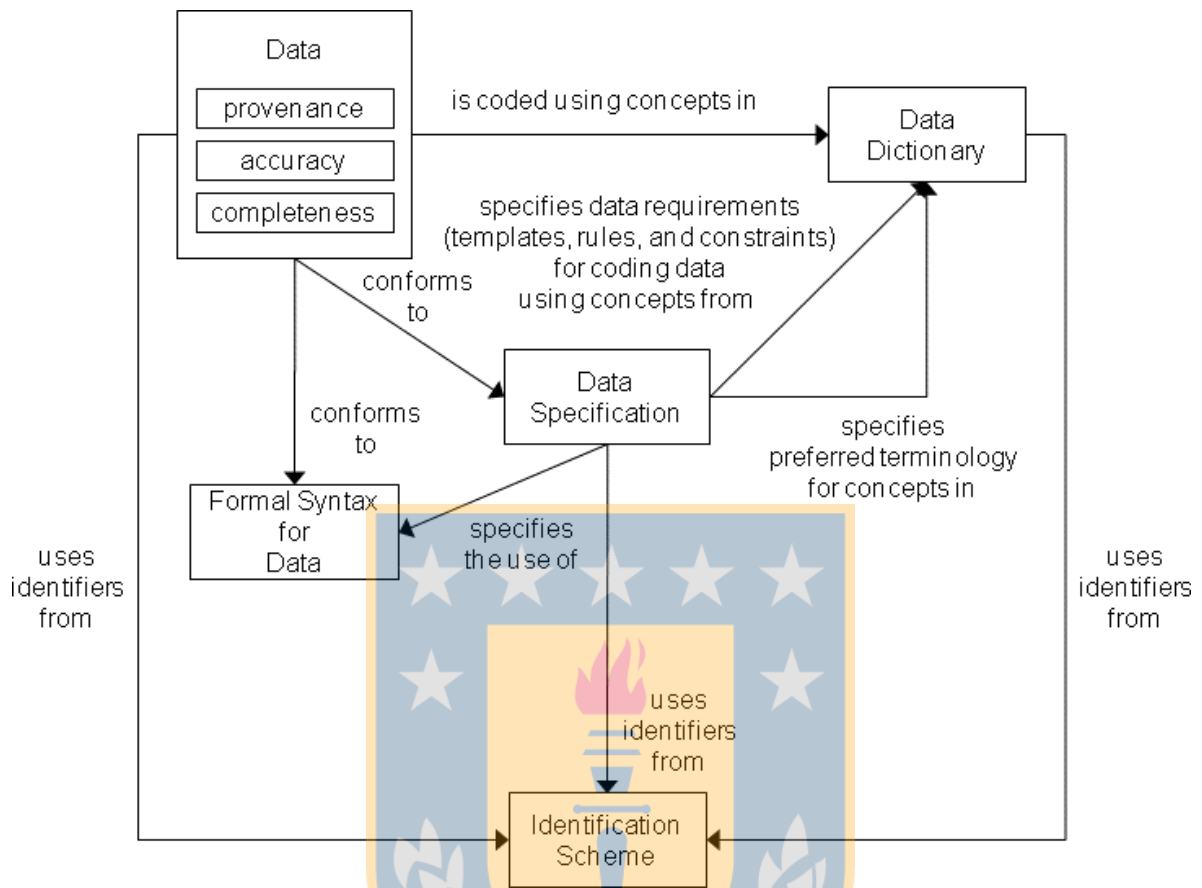


Ilustración 33: vista general de la arquitectura de datos (Ariza, 2015)

Las definiciones que ofrece esta regla son:

- Precisión de datos: cercanía de acuerdo entre un valor de propiedad y el valor verdadero.
- Registro de precisión de datos: registro de la información proporcionada sobre la precisión de un dato.
- Completar los datos: calidad de tener todos los datos que existían en posesión del remitente en el momento en que se creó el mensaje de datos.
- Registro de integridad de datos: registro de la información proporcionada sobre la integridad de una pieza.
- Procedencia de los datos: esta definición no está incluida en la regla. Procedencia se refiere a la capacidad de rastrear y verificar la creación de datos, cómo se ha utilizado o movido entre diferentes bases de datos, así como también se ha modificado a lo largo de su ciclo de vida.

- Registro de procedencia de datos: registro de la derivación final y el paso de una pieza de datos a través de sus diversos propietarios o custodios. Un registro de procedencia de datos puede incluir información sobre la creación, actualización, transcripción, abstracción, validación y transferencia de la propiedad de los datos.

Todos los estándares desarrollados por ISO, y en desarrollo, se centran en algunos dominios específicos, fabricación, transporte inteligente, geografía, etc. Todavía no existe un modelo o un marco general de calidad de datos independiente de un dominio o aplicación en particular y los modelos de dominio existentes de calidad de datos difieren en dimensiones, atributos, mediciones, evaluaciones, etc. Una justificación es la gran diversidad de temas que trabajan los muchos comités técnicos de ISO, y la falta de comunicación y la ausencia de asociaciones entre los comités técnicos que desarrollan estándares. Los dos estándares mencionados, que se han discutido tienen dos perspectivas diferentes sobre la calidad de los datos, y ambos son de interés en el campo BIM. Además de presentar diferentes perspectivas, las definiciones que proporcionan y cómo administran estos elementos en sus modelos son diferentes.

#### *4.2.3 Evaluación y Control de calidad de datos BIM (Método NIST)*

De manera muy resumida, el método de control consiste en realizar un muestreo aleatorio, simple o estratificado, y comprobar el número de casos de mediciones fuera de tolerancia frente a los valores dados en unas tablas. Es decir, el método NIST se basa en trabajar con proporciones. Así, el primer paso es la conversión de los valores cuantitativos en casos dentro o fuera de especificación. (Ariza, 2015).

De manera operativa, dado un dato cuantitativo, primero se determina si está o no dentro de tolerancia y se toma la decisión de si está o no dentro de las especificaciones, Los casos fuera de tolerancia se definen según dos criterios:

Criterio 1: Tolerancia; se ha definido una tolerancia para la exactitud de los trabajos (p.e. tol= 25 mm):

$$|\Delta| = |Medida_{referencia} - Medida_{BIM}| \leq tol \times S_{referencia} \rightarrow dentro\ de\ especificacion$$

$$|\Delta| = |Medida_{referencia} - Medida_{BIM}| > tol \times S_{referencia} \rightarrow fuera\ de\ especificacio$$

Criterio 2: Intervalo de confianza de referencia; se considera la incertidumbre de las medidas de referencia y se establece un intervalo de confianza (p.e. 95%):

$$|\Delta| = |Medida_{referencia} - Medida_{BIM}| \leq t_{\alpha,\beta} \times S_{referencia} \rightarrow dentro\ de\ especificacion$$

$$|\Delta| = |Medida_{referencia} - Medida_{BIM}| > t_{\alpha,\beta} \times S_{referencia} \rightarrow fuera\ de\ especificacion$$

Donde:

$\Delta$  = Discrepancia entre valor medido como referencia y valor BIM.

S = Desviación estándar de las medidas de referencia.

$t_{\alpha,\Omega}$  = Percentil de la distribución t-Student de significación  $\alpha$  y  $\Omega$  grados de libertad.

$\Omega$  = Grados de libertad (número de repeticiones en la medición menos 1).

Hasta aquí se ha definido qué es un caso fuera de especificación, pero falta un modelo estadístico general que permita resolver si se debe aceptar o rechazar un conjunto de datos BIM en los que se ha encontrado un cierto número de casos fuera de tolerancia. Para este caso el modelo estadístico adecuado es el Binomial. Así, en una muestra de control de tamaño n definimos como "evento-fallo", para aspectos cuantitativos, aquellos casos en los que  $\Delta$  cumple que está fuera de especificación. Para los casos cualitativos, los eventos fallos serán todos aquellos casos en los que los valores de los atributos no sean correctos. De esta forma, tanto para aspecto cuantitativos como cualitativos, el proceso de control se basa en contar el número F de casos de eventos-fallo. Debido a la aleatoriedad del proceso de

muestreo se puede considerar que el número de casos F del evento-fallo sigue el modelo de una distribución Binomial de parámetros n y  $\pi$ , es decir:

:

$$P [F > mc | F \rightarrow B(n, \pi)] = \sum_{k=mc+1}^n \binom{n}{k} \pi^k (1 - \pi)^{n-k}$$

Donde:

F = Número de casos del evento fallo.

mc = Número de casos determinados.

n = Tamaño de la muestra.

$\pi$  = probabilidad de que el error sea mayor que la tolerancia ( $\pi = P[ E_i > tol]$ )

Así, los parámetros que intervienen en la aceptación por muestreo son la tolerancia que viene a resultar en un porcentaje de población fuera de las especificaciones ( $\pi$ ), el tamaño de muestra (n) y el tamaño de población (N), que cuando es grande podrá considerarse mediante una aproximación asintótica. Dado que se quiere resolver esta decisión en un marco probabilístico también se ha de considerar el nivel de confianza, relacionado con la significación ( $\alpha$ ) adoptada. (Ariza, 2015).

N° defectos	Tamaño de muestra									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
0	2.95	1.49	0.99	0.75	0.6	0.5	0.43	0.37	0.33	0.3
1	4.66	2.35	1.57	1.18	0.95	0.79	0.68	0.59	0.53	0.47
2	6.16	3.11	2.08	1.57	1.25	1.05	0.9	0.78	0.7	0.63
3	7.57	3.83	2.56	1.93	1.54	1.29	1.1	0.97	0.86	0.77
4	8.92	4.52	3.03	2.27	1.82	1.52	1.3	1.14	1.01	0.91
5	10.23	5.18	3.47	2.61	2.09	1.74	1.5	1.31	1.16	1.05
6	11.5	5.83	3.91	2.94	2.35	1.96	1.68	1.47	1.31	1.18
7	12.75	6.47	4.34	3.26	2.61	2.18	1.87	1.64	1.46	1.31
8	13.97	7.1	4.76	3.58	2.87	2.39	2.05	1.8	1.6	1.44
9	15.18	7.72	5.18	3.89	3.12	2.6	2.23	1.95	1.74	1.57
10	16.37	8.33	5.59	4.2	3.37	2.81	2.41	2.11	1.88	1.69
20	27.72	14.2	9.54	7.18	5.76	4.81	4.12	3.61	3.21	2.89
30	38.42	19.79	13.32	10.04	8.05	6.72	5.77	5.05	4.49	4.05
40	48.7	25.22	17	12.82	10.29	8.59	7.37	6.46	5.75	5.18
50	58.64	30.55	20.62	15.55	12.49	10.43	8.95	7.84	6.98	6.29
60	68.25	35.78	24.18	18.25	14.66	12.25	10.52	9.21	8.2	7.38
70	77.51	40.94	27.7	20.93	16.81	14.05	12.06	10.57	9.41	8.47
80	86.33	46.03	31.19	23.58	18.95	15.83	13.6	11.92	10.61	9.56
90	94.47	51.06	34.65	26.21	21.06	17.61	15.13	13.26	11.8	10.63
100	100	56.04	38.09	28.82	23.17	19.37	16.64	14.59	12.99	11.7

Ilustración 34. Ejemplo Tabla 3. Límites de aceptación en función del tamaño de muestra y el número de defectos encontrados.

El uso de la tabla es sencillo. Primero se debe haber establecido un valor  $\pi$  que indique el máximo porcentaje de defectos que estamos dispuestos a aceptar en un conjunto de datos BIM. Sea para este ejemplo  $\pi=10\%$ . Aquellas celdas de la tabla en las que el valor de su celdilla cumple que es  $p \leq \pi$ , son las combinaciones de tamaño de muestra y número de defectos encontrados que son compatibles con el valor de  $\pi$  considerado. Este conjunto de casos se ha marcado en la Ilustración 28 anterior. La línea quebrada y negrita divide la tabla en dos mitades triangulares, la superior, que es la zona de aceptación y la inferior que presenta las combinaciones de tamaños de muestra y defectos que generan el rechazo estadístico del conjunto de datos a evaluar.



#### 4.2.4 Ejemplo de aplicación a datos cuantitativos

Para aclarar más su uso, veamos un ejemplo numérico concreto. Supóngase que se va a recepcionar un modelo BIM y que para ello se ha elaborado un plan de aceptación basado en lo siguiente:

- Muestra. Sólo interesan aspectos cuantitativos y se tomarán 100 medidas ( $n=100$ ).
- Tolerancia. La tolerancia preestablecida es  $Tol = 25$  mm.
- Fuera de especificación. Se considera admisible hasta un 5% de valores fuera de especificaciones ( $\pi=5\%$  de defectos en medición). Se recibe el BIM y se toman las  $n = 100$  muestras de control con criterios de muestreo aleatorio simple. En el contraste entre las mediciones de control y los datos BIM se detectan 3 casos fuera de especificación.

Para decidir la aceptación o rechazo entraremos en la Ilustración 28 con los datos  $n = 100$ ,  $d = 3$ . El resultado es  $p = 7.57$ , como  $p > \pi$  se deberá rechazar el trabajo. Para aceptarlo se debería cumplir que  $p \leq \pi$ . Entrando en la Ilustración 28 esta circunstancia se da para el caso ( $n=100$ ,  $d=1$ ), y esto significa que se podría admitir el trabajo si sólo existiese un único caso fuera de especificación.

#### 4.2.5 Ejemplo de aplicación a datos cualitativos

Supóngase que se va a recepcionar un modelo BIM y que para ello se ha elaborado un plan de aceptación basado en lo siguiente:

- Muestra. Sólo interesa un atributo cualitativo y se considera analizar 200 datos ( $n=200$ ).

- Fuera de especificación. Se considera admisible hasta un 10% de atributos fuera de especificaciones ( $\pi=10\%$  de defectos en atribución).

Se recibe el BIM y se analizan los  $n = 200$  atributos de la muestra de control tomada con criterios de muestreo aleatorio simple. En el contraste los atributos se detectan 7 casos fuera de especificación.

Para decidir la aceptación o rechazo entraremos en la Ilustración 28 con los datos  $n = 200$ ,  $d = 7$ . El resultado es  $p = 6.47$ , como  $p \leq \pi$  se deberá aceptar el trabajo.

#### 4.2.6 Ejemplo de aplicación a *datos cualitativos y cuantitativos*

Supóngase que se va a recepcionar un modelo BIM y que para ello se ha elaborado un plan de aceptación basado en las siguientes decisiones:

- Se considera que todos aspectos a evaluar son igualmente relevantes.
- Se considera que existe total independencia estadística entre todas las tipologías de error.
- Se tomará una única muestra común para todos los aspectos y cuyo tamaño es  $n=300$  elementos.
- Fuera de especificación. Se considera admisible hasta un 10% de casos fuera de especificación ( $\pi=10\%$ ).
- Aspectos cuantitativos:
  - i. Se considera el control de sólo un aspecto cualitativo (p.ej., anchura).
  - ii. Tolerancia. La tolerancia preestablecida es  $Tol = 20$  mm.
- Aspectos cualitativos:
  - i. Se considera el control de dos atributos (p.ej., color, acabado).

Se recibe el BIM y se analizan  $n=300$  elementos, en los que se contrastan los valores consignados para la altura, y los atributos color y acabado de los mismos elementos. Considerando que los resultados obtenidos son:

- Anchura. Se detectan 5 valores fuera de especificaciones.
- Color. Se detectan 10 valores erróneos.
- Acabado. Se detectan 2 valores erróneos.

Según estos resultados y las hipótesis de independencia e igualdad de importancia, se tiene una proporción de defectos  $(5+10+2)/(3 \times 300) = 17/900$ . Para decidir la aceptación o rechazo entraremos en la Tabla 3 con los datos  $n = 900$ ,  $d = 17$ . Si bien  $d=17$  no aparece, pero observamos que para  $d=20$  el valor de  $p=3.21 \leq \pi$ , por tanto, se deberá aceptar el trabajo.



## 5 CONCLUSIONES

Respecto al marco de referencia BIM, en los procesos BIM es fundamental la labor del Ingeniero Geomático, ya que es directamente responsable del diseño y la ejecución del proyecto, debido que está involucrado en todo el ciclo de vida del proyecto. En el campo de las políticas BIM es muy importante el rol del Ingeniero Geomático debido a sus conocimientos, habilidades y su amplia capacidad investigativa, siendo capaz de generar la mayoría de los entregables BIM. Por otro lado, en el campo de las tecnologías BIM el apoyo es significativo por parte del Ingeniero Geomático debido a su notable capacidad del desarrollo de software, conocedores de equipos, productos y servicios activos en el sector de la construcción, es decir, que desarrollan las herramientas necesarias para la creación y gestión de los modelos de información de construcción (modelos BIM) y otras tecnologías de diseño, construcción y operación. El ingeniero Geomático puede generar gran cantidad de actores y entregables BIM, ya que puede participar en cualquier tipo de campos BIM, desarrollando diferentes actividades, considerando que tiene una visión más panorámica y completa entre los campos, eso nos hace pensar que el Ingeniero Geomático puede aportar con mayor interacciones y solapamientos, entre los diferentes campos BIM.

Las etapas BIM, son procesos de transformaciones, en distintas etapas y con cambios incrementales en la implementación de un plan BIM, y en las cuales podemos destacar la labor del Ingeniero Geomático realizando grandes aportes en todas las etapas BIM:

1. Etapa 1: Pre-BIM, aportando describir la realidad 3D y dejando la enorme dependencia en la documentación 2D, generando mayor comunicación entre los actores, quiere decir que mejoraría la inversión de la tecnología BIM y los traspasos de información, mejorando la interoperabilidad entre aplicaciones de software.

2. Etapa 2: Madurez BIM incluye los componentes de tecnologías, procesos y políticas, de esta manera podemos decir que el Ingeniero Geomático aporta conocimiento en las tecnologías BIM para el modelamiento basado en objetos, a lo igual en los procesos BIM apoyando la colaboración en el modelo y en las políticas BIM, estableciendo la integración basada en redes, a la vez mejorando los flujos de datos y las fases del ciclo de vida del proyecto, de esta forma incrementando la madurez BIM, esto genera la migración del 2D hacia 3D.

3. Etapa 3: Focos BIM, la Geomática tiene un amplio abanico de posibilidades de aplicar sus conocimientos y habilidades en una gran variedad de campos, donde nos permite abordar de mejor forma la profundidad de una investigación para generar ventana de conocimientos que resalten, con la idea de ir abstrayendo el dominio BIM y controlando su complejidad.

En síntesis, en el campo laboral BIM existen dos maneras para trabajar la Geomática, una de ellas es mediante las Geotecnologías y la siguiente es a través de la definición tridimensional.

La aplicación de BIM permite que la labor del Ingeniero Geomático sea más segura al momento de materializar los datos topográficos del proyecto en terreno, generando una visión proyectada de las dimensiones de la obra, evitando desfases e innumerables problemas constructivos, simplificando los diseños y la definición geométrica, dando lugar a la corrección en tiempo real que permite que los posibles conflictos se detecten mayormente en la fase de proyecto y no en la de la construcción, generando así una labor más involucrativa, colaborativa e Inclusiva entre los distintos profesionales de un Proyecto.

Siendo BIM el flujo de datos digitales que guía el ciclo de vida de un proyecto de construcción, destinado a impulsar y proporcionar una mejor gestión de la información para ayudar en la toma de decisiones, también nos permite visualizar la realidad virtual y el levantamiento mediante fotogrametría o nubes de puntos en

la construcción, dando énfasis a la captura de la realidad donde el componente clave para esto es un modelo paramétrico 3D basado en objetos y rico en datos, que contenga información geométrica y semántica.

La Fotogrametría ha dejado de ser una técnica del campo de la cartografía así como de levantamientos topográficos de gran magnitud para constituirse en una herramienta eficaz y precisa para el levantamiento de planos de proyectos de construcción en 3D, dando lugar a la Fotogrametría aplicada en obras civiles, permitiendo restituir (reconstruir) la geometría y dimensiones de un objeto o de un proyecto ya construido, la automatización se considera deseable ya que elimina la cantidad de tiempo y, por lo tanto, la costosa cantidad de intervención humana en el proceso de generación de modelos. El escaneo láser ha sido la tecnología elegida para la captura 3D de estructuras complejas, esto incluye obras de construcción con elementos muy detallados, donde se encuentran frecuentemente en el uso creciente de la construcción, donde es escaneo láser se presenta como la opción más viable.

La integración de la tecnología de escáner láser 3D dentro del ciclo de proyectos, nos entregará múltiples beneficios en nuestros procesos de levantamientos, permitiendo:

- Realizar los procesos de registro 3D de una forma rápida y precisa.
- Mejorar sustancialmente la velocidad de obtención de datos en terreno.
- Aplicar estas técnicas en diferentes tipos de objetivos.
- Cubrir grandes áreas en pocos minutos.
- Trabajar de una forma interoperable con la mayoría de las herramientas de diseño del mercado.
- Aplicar ingeniería inversa a nubes de puntos que representen modelos de ingeniería y de formas orgánicas.

- Integrar situaciones existentes y cruzar esta información con modelos de diseño.

Los Sistemas de Información Geográfica son de multipropósito utilizarlos, pero podemos afirmar que tienen como punto central el hecho de trabajar con datos georeferenciados con información geográfica, donde su aplicación en un proyecto de construcción tiene que hacer referencia al conjunto de metodologías de trabajo y herramientas que se caracteriza por el uso de información coordinada, coherente, computable y continua; usando bases de datos compatibles que contengan toda la información referente al desarrollo de un proyecto de construcción, Conseguir que dicha información esté coordinada es esencial para que el proyecto pueda llevarse a término, por ende el uso de BIM va más allá de las fases de diseño, abarcando la ejecución del proyecto y extendiéndose a lo largo del ciclo de vida de la construcción, permitiendo la gestión de la misma y reduciendo los costos de operación, BIM y SIG aparecen como soluciones complementarias para nuestra profesión, especialmente en la escala de la construcción, la transición de escalas locales (construcciones) a infraestructuras (donde no puede ser negada la información geoespacial) ha demostrado que el modelamiento paramétrico integrado con datos geoespaciales es una poderosa herramienta para simplificar y agilizar algunas fases del flujo de trabajo del diseño, los flujos de datos mejorados generarán decisiones más inteligentes y crearán la próxima evolución de cómo hacemos la tecnología 'smart': ciudades inteligentes y servicios inteligentes.

No solo existe una necesidad comercial, sino también un amplio interés en buscar un prototipo de profesional que domine ciertas técnicas donde el Ingeniero Geomatico extiende estos requisitos debido a su amplia variedad de campos y tecnologías que puede dominar, desde manejo de software e instrumentación hasta su diseño, incluyendo Geometría Digital, Procesamiento digital de imágenes, Realidad Virtual, Modelos 3D con texturas HD, Modelos Digitales de Terreno (MDT), Cartografía, Orto imágenes y toda una serie de subproductos asociados, dando facilidades a los diferentes tipos de trabajos que nos presentan en nuestro futuro

laboral, tales como, Construcción y BIM, Túneles, Minería y Topografía, Control, Ingeniería inversa, Piping, Vialidad, As Built, Metrología, Aplicación Móviles, Arquitectura y Patrimonio entre otros.

La interoperabilidad SIG y BIM nos permitirá al Geomático hacer captura, tratamiento, análisis, interpretación, difusión y almacenamiento de información geográfica, generando una base de datos modelada 3D y georreferenciada, dando cabida a la integración de las ciudades inteligentes. En lo que muchos coinciden, es que GIS se integrara en el BIM bajo la visión de ciudades inteligentes.

BIM permite que el Ingeniero Geomático establezca una mejor comunicación entre los diferentes profesionales de un proyecto de construcción en todo el ciclo de vida de este, esto es quiere decir que todo agente involucrado en la ejecución y en el diseño del proyecto, trabajan en un mismo software, en un proyecto único, evaluado y respaldado por ellos mismos.

Respecto al marco de referencia BIM, en los procesos BIM es fundamental la labor del Ingeniero Geomático, ya que es directamente responsable del diseño y la ejecución del proyecto, debido que está involucrado en todo el ciclo de vida del proyecto.

En el campo de las políticas BIM es muy importante el rol del Ingeniero Geomático debido a sus grandes conocimientos y habilidades y su amplia capacidad investigativa que posee los diferentes actores, generando así la mayoría de los entregables BIM.

Por otro lado, en el campo de las tecnologías BIM el apoyo es significativo por parte del Ingeniero Geomático debido a su notable capacidad del desarrollo de software, conoedores de equipos, productos y servicios activos en el sector de la construcción, es decir, que desarrollan las herramientas necesarias para la creación y gestión de los modelos de información de construcción (modelos BIM) y otras tecnologías de diseño, construcción y operación.



El ingeniero Geomático puede generar gran cantidad de actores y entregables BIM, ya que puede participar en cualquier tipo de campos BIM, desarrollando diferentes actividades, considerando que tiene una visión más panorámica y completa entre los campos, eso nos hace pensar que el Ingeniero Geomático puede aportar con mayor interacciones y solapamientos, entre los diferentes campos BIM.

Las etapas BIM, son procesos de transformaciones, en distintas etapas y con cambios incrementales en la implementación de un plan BIM, y en las cuales podemos destacar la labor del Ingeniero Geomático realizando grandes aportes en todas las etapas BIM:

1. Etapa 1: Pre-BIM, aportando describir la realidad 3D y dejando la enorme dependencia en la documentación 2D, generando mayor comunicación entre los actores, quiere decir que mejoraría la inversión de la tecnología BIM y los trasposos de información, mejorando la interoperabilidad entre aplicaciones de software.

2. Etapa 2: Madurez BIM incluye los componentes de tecnologías, procesos y políticas, de esta manera podemos decir que el Ingeniero Geomático aporta conocimiento en las tecnologías BIM para el modelamiento basado en objetos, a lo igual en los procesos BIM apoyando la colaboración en el modelo y en las políticas BIM, estableciendo la integración basada en redes, a la vez mejorando los flujos de datos y las fases del ciclo de vida del proyecto, de esta forma incrementando la madurez BIM, esto genera la migración del 2D hacia 3D.

3. Etapa 3: Focos BIM, la Geomática tiene un amplio abanico de posibilidades de aplicar sus conocimientos y habilidades en una gran variedad de campos, donde nos permite abordar de mejor forma la profundidad de una investigación para generar ventana de conocimientos que resalten, con la idea de ir abstrayendo el dominio BIM y controlando su complejidad.

En síntesis, en el campo laboral BIM existen dos maneras para trabajar la Geomática, una de ellas es mediante las Geotecnologías y la siguiente es a través de la definición tridimensional.

La aplicación de BIM permite que la labor del Ingeniero Geomático sea más segura al momento de materializar los datos topográficos del proyecto en terreno, generando una visión proyectada de las dimensiones de la obra, evitando desfases e innumerables problemas constructivos, simplificando los diseños y la definición geométrica, dando lugar a la corrección en tiempo real que permite que los posibles conflictos se detecten mayormente en la fase de proyecto y no en la de la construcción, generando así una labor más involucrativa, colaborativa e Inklusiva entre los distintos profesionales de un Proyecto.

Siendo BIM el flujo de datos digitales que guía el ciclo de vida de un proyecto de construcción, destinado a impulsar y proporcionar una mejor gestión de la información para ayudar en la toma de decisiones, también nos permite visualizar la realidad virtual y el levantamiento mediante fotogrametría o nubes de puntos en la construcción, dando énfasis a la captura de la realidad donde el componente clave para esto es un modelo paramétrico 3D basado en objetos y rico en datos, que contenga información geométrica y semántica.

La integración de la tecnología de escáner láser 3D dentro del ciclo de proyectos, nos entregará múltiples beneficios en nuestros procesos de levantamientos, permitiendo:

Realizar los procesos de registro 3D de una forma rápida y precisa.

Mejorar sustancialmente la velocidad de obtención de datos en terreno.

Aplicar estas técnicas en diferentes tipos de objetivos.

Cubrir grandes áreas en pocos minutos.

Trabajar de una forma interoperable con la mayoría de las herramientas de diseño del mercado.

Aplicar ingeniería inversa a nubes de puntos que representen modelos de ingeniería y de formas orgánicas.

Integrar situaciones existentes y cruzar esta información con modelos de diseño.

No solo existe una necesidad comercial, sino también un amplio interés en buscar un prototipo de profesional que domine ciertas técnicas donde el Ingeniero Geomático extiende estos requisitos debido a su amplia variedad de campos y tecnologías que puede dominar, desde manejo de software e instrumentación hasta su diseño, incluyendo Geometría Digital, Procesamiento digital de imágenes, Realidad Virtual, Modelos 3D con texturas HD, Modelos Digitales de Terreno (MDT), Cartografía, Orto imágenes y toda una serie de subproductos asociados, dando facilidades a los diferentes tipos de trabajos que nos presentan en nuestro futuro laboral, tales como, Construcción y BIM, Túneles, Minería y Topografía, Control, Ingeniería inversa, Piping, Vialidad, As-Built, Metrología, Aplicación Móviles, Arquitectura y Patrimonio entre otros.

La interoperabilidad SIG y BIM permite al Geomático hacer captura, tratamiento, análisis, interpretación, difusión y almacenamiento de información geográfica, generando una base de datos modelada 3D y georreferenciada, dando cabida a la integración de las ciudades inteligentes. En lo que muchos coinciden, es que GIS se integrara en el BIM bajo la visión de ciudades inteligentes.

BIM permite que el Ingeniero Geomático establezca una mejor comunicación entre los diferentes profesionales de un proyecto de construcción en todo el ciclo de vida de este, esto es quiere decir que todo agente involucrado en la ejecución y en el diseño del proyecto, trabajan en un mismo software, en un proyecto único, evaluado y respaldado por ellos mismos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ Bilal Succar, (2009). Building Information Modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction*, 18 (2009) 357-375.
- ✓ Eastman, Charles M. (1999). Building Product Models: Computer Environments Supporting Design and Construction. Boca Ratón, Florida: CRC Press.
- ✓ Herrera, P., (2017). Incorporación de Tecnologías Láser 3D en proyectos BIM – *BIM Forum Chile. Artículo Técnico N°1*. Agosto 2017.
- ✓ Kaden, R., Clemen, Ch., (2017). *Applying Geodetic Coordinate Reference Systems in Building Information Modeling (BIM)*. Trabajo presentado en FIG Working Week 2017, Mayo 29 – Junio 02, 2017, Helsinki, Finlandia.
- ✓ Lefever, R., (2015). *Sistema BIM en obras públicas concesionadas*. Trabajo presentado en 2<sup>do</sup> Congreso Latinoamericano BIM LATAM 2015, 11-08-2015. Santiago, Chile.
- ✓ Limp, F., (2016). Geospatial, 3D, Visualization and BIM Convergence ...at the intersection. Center for Advanced Spatial Technologies University of Arkansas, Fayetteville.
- ✓ Lobos, D., (2013). *Términos de Referencia. Uso de modelos BIM. Dirección de Arquitectura, MOP*. Concurso de Innovación Y Creatividad 2012 MOP, 980-3LE12.
- ✓ Loyola, M. (2016). Encuesta Nacional BIM 2016: Informe de Resultados. Santiago: Universidad de Chile. Disponible en: [www.bim.uchilefau.cl](http://www.bim.uchilefau.cl)
- ✓ Stančić, B., Roić, M. Mađer, M. and Vidović, A. (2014). *Building Information Management based on Total Station Measurements and Laser Scanning*, 6th International Conference on Engineering Surveying Prague, Czech republic, April 3-4, 2014.
- ✓ Vandezande, J., Krygiel, E., (2015). Mastering Autodesk Revit 2016 Architecture. *Official Press Autodesk*. Jhon Wiley and Sons, Indianápolis, Indiana.

- ✓ Porras, H., Sánchez, O., Galvis, J., Jaimez, N., Castañeda, K. (2015). Tecnologías BIM en la elaboración de presupuestos de construcción de estructuras en concreto reforzadas. *Vol. 11. No. 1*, 2015 (Enero – Junio), p. 230-249.
- ✓ Blasco, J. (2017). La realidad virtual y el levantamiento mediante fotogrametría o nubes de punto en la construcción: captura la realidad. European BIM Summit Day. Mayo 18, 2017.
- ✓ Sánchez, J. (2006 – 2007). Introducción a la Fotogrametría. E.T.S.I. Caminos, canales y Puertos. Catedra de Topografía.
- ✓ Santa Cruz, J. (2003). Pref. Tit. E.U. de Arquitectura Técnica, Universidad Politécnica de Madrid. La Fotogrametría Digital en el levantamiento de planos de edificios. Diciembre 10, 2003.
- ✓ Thomson, C., Boehm, J. (2015). Remote Sensing ISSN 2072-4292. Automatic Geometry Generation from Point Clouds for BIM. Received: 21 June 2015/ Accepted: 8 September 2015/ published: 14 September 2015.
- ✓ BIM Forum Chile, (2017). Incorporación de tecnologías Laser 3D en proyectos BIM. Grupo de técnico de trabajo de gestión de proyectos, CDT. Vol. I. 2017 Agosto.