

# AVANCES TECNOLÓGICOS EN PROYECTOS DE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN UN ENFOQUE INTEGRADO VDC, BIM, IPD Y LEAN

**Alejandro Polanco Carrasco (1)**

## RESUMEN

El contexto y entorno para el desarrollo de los proyectos de ingeniería y construcción está cambiando aceleradamente. Las demandas y requisitos son cada vez mayores, nuevas prioridades, y plazos y presupuestos más acotados. Por otra parte, los indicadores de productividad del sector construcción son muy bajos y con muy poca mejoría en las últimas décadas y al parecer se han naturalizado los sobrecostos y atrasos en los proyectos, como algo propio o característico del sector.

El sector constructivo aporta del orden del 7% PIB y por tanto, su crecimiento y productividad son un tema obligado de la agenda nacional y de las principales asociaciones gremiales y profesionales. Esto ha dado origen a nivel nacional hace algunos años a programas especiales como Construye 2025, Plan BIM, DOM en línea y al Consejo de Construcción Industrializada entre otros.

La era de la Transformación Digital en que estamos y que da origen a la Construcción 4.0, utiliza con el apoyo de los avances tecnológicos, nuevos enfoques y metodologías, entre las cuales se destacan VDC, BIM, IPD y Lean entre otras, que pese a su gran impacto y contribución a la ejecución exitosa de proyectos, aún no son ampliamente conocidas masivamente por los ingenieros y las empresas consultoras.

En este trabajo se presenta el contexto, marco conceptual y los elementos principales de VDC, BIM, IPD y Lean de una manera simple y didáctica, como un aporte al conocimiento básico necesario para un ingeniero, que permita aclarar algunos mitos y falsas expectativas al respecto. Finalmente se hace énfasis en la imperiosa necesidad de actualizarse e integrarse a los, no tan nuevos, enfoques, metodologías y tecnologías disponibles para la ejecución de los proyectos en este nuevo escenario 4.0.

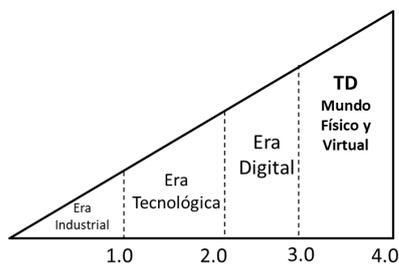
(1) Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Certificación PMP® (PMI) y SCPM® (Stanford). Académico Profesor Adjunto área Construcción Departamento Ingeniería Civil, Facultad Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, profesor de pregrado y postítulos en Dirección de Proyectos, BIM y Gestión de la Calidad.

## 1.- INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO.

### 1.1 Evolución de la Industria

En el ámbito del desarrollo industrial a nivel mundial, se pueden identificar diferentes etapas o hitos de cambios y avances significativos, que en la literatura técnica se describen como las 4 “Revoluciones” industriales siguientes:

- Industrial 1.0 asociada principalmente a fábricas, motor a vapor, siglo XVIII.
- Tecnológica 2.0 asociada principalmente a producción en masa, electricidad, petróleo, ferrocarril, inicios siglo XX.
- Digital 3.0 asociada a Electrónica, Internet, Automatización, Robótica. Se conoce como la “Era de la Información” o la era Análoga a Digital, años 70s.
- Industria 4.0 Transformación Digital (TD) asociada a múltiples avances tecnológicos, desde el 2010/2011. Maquinas que interactúan entre sí, la Cyber Industria, Producción flexible, Foco al Cliente individual. Se habla también de Digital World v/s Physical World (Mundo Digital vs Mundo Real (físico) e incluso se ha empezado a usar el término “fisital” para referirse a la combinación del mundo físico con el digital.



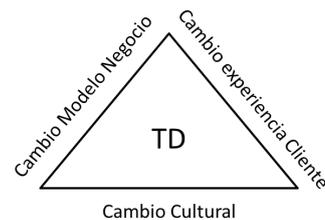
**Figura 1:** Revoluciones Industriales

La Industria 4.0 también es conocida y se asocia a la llamada Transformación Digital (TD), que de manera simple, es un nuevo

enfoque de negocio apoyado fuertemente en los actuales avances tecnológicos, que permiten una orientación personalizada a las necesidades del cliente –usuario. Un error común es asociar la TD a la era digital o a la digitalización de los negocios, pues eso corresponde a la revolución 3.0, a diferencia de la TD, que realmente significa nuevos paradigmas para el desarrollo industrial y de los negocios.

Si bien hay diversos planteamientos para una Transformación Digital exitosa, de una manera simple, esta se puede asociar a 3 dimensiones clave y que se potencian con las avances de las tecnologías TIC:

- Cambio Cultural (personas)
- Cambio Modelos Negocios ( procesos)
- Cambio en Experiencia del Cliente



**Figura 2:** Dimensiones Clave TD

A veces se confunde la TD con solo mejorar los actuales modelos de negocio con las TIC y digitalizar los procesos de la empresa para obtener beneficios de corto plazo. Los expertos coinciden en que la TD requiere cambiar los procesos y modelos con el apoyo de las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC) y otras tecnologías avanzadas, para con ello crear o aprovechar nuevas oportunidades de negocio. Esto necesariamente requiere un cambio cultural y también la colaboración e integración con los proveedores.

Las nuevas tecnologías disponibles y más conocidas son, entre otras:

- Automation (Automatización)
- Robotics (Robótica)

- Big Data
- Advanced Analytics
- Machine Learning Techniques
- Cloud Computing (Nube)
- 3D Printing (Impresora 3D)
- Augmented Reality (Realidad Aumentada)
- Virtual Reality (Realidad Virtual)
- Mixed Reality (Realidad Mixta)

La Inteligencia Artificial (IA) merece una mención aparte pues avanza aceleradamente y con aplicación en todas las áreas de negocio y también en la Construcción, por ejemplo con algoritmos para la toma de decisiones y optimización de diseños entre otros (para más información se recomienda ver el sitio web <https://www.alicetechnologies.com>).

El ámbito de la TD es tan amplio y especializado que también se ha desarrollado un lenguaje propio, en particular se pueden mencionar los siguientes términos:

- Entorno Digital
- Nativo Digital
- Estrategia Digital
- Madurez Digital
- Brecha Digital
- Ecosistema Digital
- Conectividad Digital
- Competencias Digitales
- Economía Digital
- Sociedad Digital
- Inteligencia Digital
- Smart Factory (SF)
- Machine to Machine (M2M)
- Cyber-physical systems (CPS),
- Digital Twin ( gemelo digital)
- Internet of Things (IoT)
- Internet of People (IoP)
- Internet of Services (IoS)

En la TD es muy importante el concepto de “conexión inteligente”, es decir la Interoperabilidad entre objetos, máquinas y personas.

La Transformación Digital no es una metodología, es un nuevo contexto y cultura que requiere nuevos y otros procesos, con una visión diferente del negocio.

A nivel nacional (con el apoyo de CORFO) en septiembre 2017 se creó el Comité de Transformación Digital y en noviembre 2015 el programa Agenda Digital 2020, que define una hoja de ruta para avanzar hacia el desarrollo digital del país, de manera inclusiva y sostenible a través de las TIC. En este contexto, se dio otro paso importante en noviembre 2019, con la Ley N° 21180, Transformación Digital del Estado.

Una de las metas de la agenda digital es lograr que un 80% de los trámites sea digital al 2021 y algunas de las iniciativas en desarrollo para ello y que se apoyan en la nueva plataforma DocDigital (lanzada en mayo 2019) son:

- ✓ Digitalización de Tramites
- ✓ Transferencia interna de la documentación generada por el estado
- ✓ Tramites en papel como excepción (cero papel)

Por otra parte la reciente encuesta realizada por CLA Consulting, Icare y Cadem el 2019, reveló bajos porcentajes en la existencia de una estrategia digital (34%) y de nuevos modelos de negocio en la industria nacional (46%).

El índice de Madurez Digital Virtus 2020 (IMDV®) elaborado por Virtus Partners, que mide el nivel de Transformación Digital de organizaciones en una escala de 5 niveles (Análogo, Inicial, Medio, Avanzado, Digital) indica un nivel de 51,4%, lo que corresponde a un nivel Inicial en el camino hacia la madurez digital. Un 59% de las organizaciones se encuentran en un nivel Análogo o Inicial, mientras que un 33% poseen un nivel Medio y solo un 8% un nivel Avanzado o Digital.

Si bien hay mucha información y literatura relacionada con la TD es importante tener presente que su objetivo último debiera ser aumentar:

- Valor al Cliente
- Rentabilidad,
- Productividad



**Figura 3:** Principales Objetivo TD

Para la implantación de la TD se debe considerar en primer lugar la mejora o cambio de la relación y experiencia con el cliente y posteriormente la incorporación de la tecnología necesaria para ello. Esto requiere un esfuerzo y apoyo especializado, por ejemplo con el uso de una TMO (Transformation Management Office).

### 1.2 Construcción 4.0

En el contexto de la Industria 4.0 el sufijo 4.0 se aplica también en diferentes áreas de la economía y se habla entonces de Construcción 4.0 para visibilizar los múltiples desafíos que tenemos como comunidad profesional para aplicar los avances tecnológicos a la industria de la construcción (Revista BIT 122, 2018). Esto es muy relevante pues la industria de la construcción a nivel mundial tiene uno de los niveles más bajos de digitalización de acuerdo al MGI industry digitization index (McKinsey Global Institute, octubre 2016).

La Construcción 4.0, en la práctica se traduce en la aplicación de las nuevas tecnologías como; Automatización, Robótica, Big data,

Advanced Analytics, 3D Printing, Cloud Computing, AR-VR-MR, IoT, IoP, IoS, Toma de Decisiones des centralizada, Información en Tiempo real, Blockchain y también en el uso de la metodología VDC/BIM, los diseños modulares y el uso extensivo de prefabricados.

De acuerdo a estudios realizados por el McKinsey Global Institute, (February, 2017) se podría aumentar la productividad del sector construcción entre 5 a 10 veces con la aplicación de los avances tecnológicos y un enfoque industrializado en el sector.

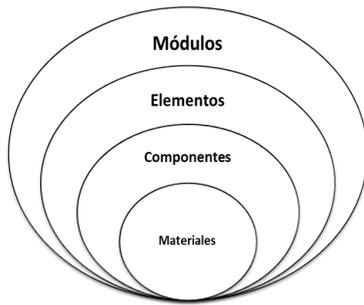
Como referencia temporal, la Corporación de Desarrollo Tecnológico (CDT-CChC) realizó en Noviembre 2018 el primer Seminario Internacional: Innovando la Construcción, en el cual se abordaron diferentes temáticas esenciales para impulsar el desarrollo de la industria de la construcción, entre las cuales se incluyeron BIM, la Construcción 4.0 y la Construcción Industrializada.

### 1.3 Construcción Industrializada (CI)

Como parte de la Construcción 4.0 y gracias a los avances tecnológicos y nuevas metodologías, la construcción industrializada, en palabras simples, significa que la mayoría de las actividades de construcción se realizan en las fábricas y no en el sitio de la obra de manera artesanal como ha sido tradicional. Algunos estudios señalan que hasta un 80% de la construcción se hace en el sitio de la obra y de manera artesanal.

La Construcción industrializada en Chile no supera el 1% del total del sector según datos entregados en seminario organizado por Construye 2025 en octubre 2018.

La industrialización de la construcción se logra con el uso de las nuevas tecnologías para la producción en masa y automatizada en diferentes niveles, como indica la figura:



**Figura 4:** Niveles de industrialización, adaptado de: “Handbook for the design of modular structures”, Monash University,2017

El diseño modular y el uso de prefabricados como una práctica habitual en los proyectos (y no como excepción) permite lograr un aumento importante en la productividad, esto al reducir y minimizar:

- los residuos, escombros, despuntes, mermas
- transportes
- fletes
- re-trabajo por errores constructivos
- errores por descoordinaciones especialidades
- ineficiencias en los procesos constructivos
- mano de obra
- accidentabilidad
- uso de energía
- uso de agua
- duraciones de actividades de montaje
- duraciones de actividades de terminaciones
- sobrecostos
- trabajos adicionales
- atrasos
- aumentos de plazo
- otros

A nivel del país y bajo el programa Construye 2025 (impulsado por CORFO desde el 2016) se crea el 2017 el Consejo de Construcción Industrializada (CII), para promover la industrialización y prefabricación de las obras y con ello mejorar la productividad del sector.

Otro aspecto importante para la industrialización es la aplicación de soluciones robóticas en la construcción, tanto en las

fábricas como en obra. Para más información consultar el documento: CTeC, 2020 “Boletín de Robotización en la Construcción” desarrollado junto a Eurecat (disponible en [www.ctecinnovacion.cl](http://www.ctecinnovacion.cl)).

La Construcción Industrializada también permite reducir los riesgos y los impactos ambientales asociados a los procesos constructivos, sin embargo los cambios de última hora o descoordinaciones entre diferentes proveedores y contratistas aún pueden estar presentes. Para evitar estos problemas y aumentar aún más la productividad la tecnología permite realizar una “construcción digital o virtual” antes de la construcción física, esto se conoce como VDC.

## 2.-VIRTUAL DESIGN AND CONSTRUCTION (VDC).

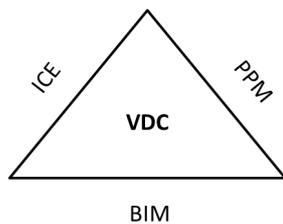
### 2.1 Concepto y Definiciones

La sigla VDC ( Virtual Design and Construction) tiene sus orígenes en el CIFE ( Center for Integrated Facility Engineering at Stanford University of California) el 2001 por el profesor Martin Fischer, director of CIFE.

VDC se puede entender ( adaptado de &Fischer& Kunnz ,2004) como el desarrollo y gestión de modelos digitales multidisciplinarios e integrados de las instalaciones (BIM) , la gestión de los procesos de producción/ construcción, operación y mantenimiento con las variables de plazos y costos (PPM) y con el desarrollo colaborativo de ingeniería concurrente ( ICE) para cumplir con los objetivos del proyecto y de negocio del cliente

Los 3 elementos clave del VDC son entonces de acuerdo al CIFE (Stanford University)

- ICE (Integrated Concurrent Engineering)
- PPM ( Product Production Management)
- BIM ( Building Information Modeling)



**Figura 5:** Elementos Clave VDC (Stanford)

La ICE o Ingeniería Concurrente a diferencia de la Ingeniería “tradicional” es un enfoque que se originó en la década de los 80s y significa de manera simplificada que en lugar de la secuencia jerárquica diseño-fabricación-operación, se realiza el diseño con la colaboración y participación temprana de todos los actores de manera de consensuar y optimizar la solución, esto considera el ciclo de vida del proyecto y también en el periodo de la vida útil de la obra /instalación.

El uso de la ICE permite desde el inicio incluir todos los aspectos de compras, fabricación, construcción, pruebas, operación y mantenimiento en el diseño, con esto se logra un diseño óptimo de menor plazo y costo que el que se obtendría con una ingeniería tradicional.

Se realizan reuniones especiales de coordinación e integración con las personas clave de cada área, llamadas también “sesiones ICE”, en las cuales se revisan y compatibilizan todos los puntos de vista.

PPM (Product Production Management) se refiere a considerar la gestión de los procesos, mapeo, flujos de trabajo, recursos (product production).

BIM se refiere a Building Information Modeling, metodología que se detalla en el acápite 3 de este artículo.

Para una mayor efectividad del VDC se deben utilizar métricas e indicadores para todos los procesos ICE, PPM, BIM al menos con

frecuencia semanal y que permitan corregir o mejorar la efectividad del VDC.

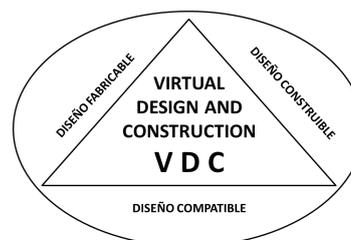
## 2.2 Diseño y Construcción Virtual

El diseño y construcción virtual con la colaboración de todos los actores relevantes, es decir ingeniería, compras, construcción, pruebas y también los stakeholders principales (dueño, mandante, usuario final, comunidades, autoridades) permite la validación y optimización de los procesos constructivos y de operación y mantenimiento del proyecto/obra antes de la construcción física. Esto es sin duda el principal beneficio y objetivo de usar VDC.

Desde el 2001, inicio de la metodología o enfoque VDC, el avance tecnológico y madurez de desarrollo de la metodología BIM ha sido tan importante que incluso a veces se confunden o usan indistintamente los términos VDC y BIM. Desde un punto de vista práctico se podría decir que VDC incluye BIM con las variables de Tiempo y Costo para la optimización de los procesos constructivos y costos, así como también incluye aspectos de sustentabilidad y economía circular.

El objetivo principal del uso de VDC en los proyectos de ingeniería y construcción es obtener previo a la construcción física (se habla a veces de pre construcción o que se construye dos veces):

- ✓ Un diseño final Compatible
- ✓ Un diseño final “Fabricable”
- ✓ Un diseño final Construible



**Figura 6:** Objetivos de Diseño VDC

### 3.-BUILDING INFORMATION MODELING (BIM).

#### 3.1 Conceptos, evolución y contexto normativo

BIM es una sigla (en inglés) que identifica una metodología colaborativa que con el uso de poderosas tecnologías TIC, permite crear un modelo virtual gráfico y con datos integrados de la obra previo a su construcción y que apoya las decisiones de diseño, construcción durante el ciclo de vida completo del proyecto y también ciclo de vida de la obra (vida útil) esto último, en la operación y mantenimiento.

B = Building, identifica a todo tipo de instalación, planta industrial, obras de infraestructura de todo tipo, edificaciones.

I = Information, identifica la información gráfica en 3 dimensiones (3D) y no gráfica que se puede asociar al proyecto y a la obra en sí.

M = Modeling, se refiere al proceso de modelamiento digital de toda la información.

Es difícil situar los orígenes de la metodología BIM en una fecha específica pues hubo un desarrollo paulatino y progresivo con diferentes autores e hitos, en particular se pueden destacar los siguientes:

- Arquitecto Phil Bernstein ( años 70)
- Charles M. Eastman , 1975, Building Description System, Building Product Modeling → BIM
- Jerry Laiserin es conocido como “ father of BIM “ y se le atribuye la difusión del acrónimo BIM desde el 2002 , como un término común para la representación digital de procesos de construcción, formato digital .

- Primera implementación formal realizada por Graphisoft el año 1987 como Virtual Building

Por otra parte, algunos de los autores más relevantes y conocidos en la metodología BIM son:

- Eastman Charles M.
- Succar, Bilal

Actualmente se hace énfasis en una perspectiva más amplia que se conoce como **BIM3**

**I** en tamaño más grande hace énfasis en que el valor de BIM está en la información del proyecto y de la obra que se modela

**M3** es una manera de hacer énfasis en los 3 significados que podemos asociar a la M:

- Modeling ( proceso de crear el modelo)
- Model ( entregable , modelo realizado)
- Management ( gestión de la información)

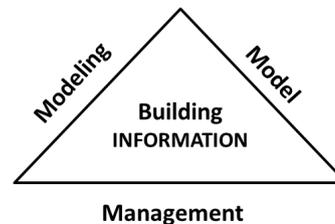


Figura 7: BIM3

Otra manera usual de enfatizar la importancia de la información en BIM es interpretar la sigla como **Better Information Management**.

A nivel normativo, se disponen desde el 2018 los estándares internacionales ISO 19650-1:2018 y ISO 19650-2:2018, que se basan y recogen las lecciones aprendidas de la aplicación de las normas británicas BS1192; PAS1192-2 y PAS1192-3.

En diciembre 2019 ambas ISO normas fueron homologadas y aprobadas por el INN:

- NCh-ISO 19650/1 Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil, incluyendo modelamiento de la información de edificios (BIM) - Gestión de la información utilizando modelamiento de la información de edificios - Parte 1: Conceptos y principios
- NCh-ISO 19650/2 Organización y digitalización de la información en obras de edificación e ingeniería civil, incluyendo modelamiento de la información de edificios (BIM) - Gestión de la información utilizando modelamiento de la información de edificios - Parte 2: Fase de desarrollo de los activos

Es importante señalar que a contar del 2019 está disponible la opción de certificación del sistema BIM implantado bajo la norma ISO19650 con el CTeC-BRE (Centro Tecnológico para la Innovación en la Construcción asociado con BRGlobal (Building Research Establishment).

### 3.2 Modelamiento BIM

El modelo BIM del proyecto es en realidad la consolidación de los diferentes modelos de especialidades, modelos que son paramétricos que incluyen además de la gráfica, datos de materialidad, coordenadas, códigos de áreas, especificaciones, fabricante, contrato, orden de compra entre otros.

En la planificación del desarrollo de un proyecto con BIM debe dividirse previamente la obra en áreas físicas y luego cada una de ellas en especialidades de diseño, por ejemplo:

- Civil, caminos, urbanización
- Movimientos de Tierra
- Hormigones
- Estructuras metálicas
- Mecánica, HVAC
- Piping (cañerías)
- Alcantarillado, Agua Potable

- Electricidad, iluminación
- Instrumentación, control
- Arquitectura (edificios)
- Layout (disposición)
- otras

En cada una de las especialidades es necesario realizar uno más modelos para una mejor gestión de los archivos BIM, que en promedio pueden ser de 80-100Mb cada uno y se deben seguir procedimientos y estándares estrictos para los nombres de archivos y carpetas.

Los modelos se desarrollan de manera individual por cada especialidad, para luego crear un modelo “federado” con la información de archivos separados y finalmente el modelo “integrado”, que es la superposición o integración de los modelos de cada especialidad y una base de datos única.

La “estructura de modelos” también debe tomar en cuenta la estrategia de adquisiciones, compras y contratos de construcción.

Las principales razones u objetivos de utilizar la metodología BIM se enfocan a aumentar la productividad de los procesos constructivos mediante:

- ✓ Reducción de errores
- ✓ Reducción de plazos
- ✓ Reducción de costos

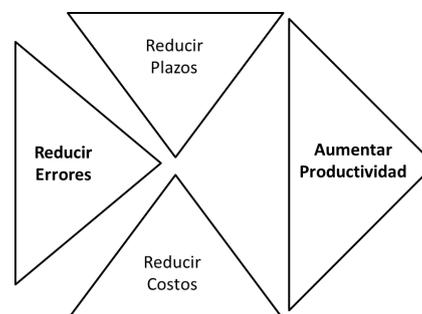


Figura 8: Objetivos principales de usar BIM

De acuerdo a un estudio de McKinsey Global Institute (october 2017) se podrían generar ahorros de hasta un 10 % en los costos del desarrollo del proyecto mediante la detección de interferencias y reducir la duración y los costos de materiales hasta un 20%.

Algunos de los conceptos técnicos que también son importantes de conocer de la metodología BIM son:

- LOD (Level of Development)
- CDE (Common Data Environment)

El LOD se refiere al nivel de detalle gráfico más el nivel de detalle de información que se incluye en un objeto o elemento modelado. Se manejan diferentes niveles de LOD que están estandarizados (BIM Forum Chile,2017).

Para ejemplificar este concepto consideremos un perno de anclaje, se puede modelar el perno solo como una barra de acero y como dato solo indicamos su diámetro y calidad de acero, esto sería un LOD 200. Si modelamos el perno con todos sus detalles de barra, cabeza hilo, tuerca, golilla y como datos incluimos calidad de acero, orden de compra, especificación, código identificador, el equipo o estructura asociado, esto sería un LOD 350 o 400, que es un LOD adecuado para construcción.

CDE, Common Data Environment es uno de los conceptos más importantes de entender y clave en el uso de BIM y se refiere a construir un ambiente o repositorio común de datos del proyecto que incluye los datos gráficos y no gráficos de los modelos y también datos externos (PAS1192-2:2013). En el CDE se manejan 4 estados de la información (en trabajo, compartido, publicado, archivado) y se recomienda materializar el CDE del proyecto en la nube o en una extranet.

El tipo de datos y nivel LOD que consideremos en los modelos está asociado a los usos que

daremos a estos y se habla de “Usos BIM”. Esto en general está estandarizado en la industria, por ejemplo a 25 usos (PennState, 2019), entre los cuales y a manera de ejemplo se pueden mencionar:

- Uso n° 6 : Revisión de diseño
- Uso n° 15: Coordinación 3D
- Uso n° 17 :Diseño sistemas constructivos
- Uso n° 18 :Fabricación digital

La práctica de realizar un proyecto de la manera tradicional (2D) y luego hacer un modelo 3D solo para asegurar la compatibilidad (coordinación) de especialidades está muy lejos de los verdaderos objetivos y potencialidades de BIM.

La realización de un proyecto con la metodología BIM también requiere de nuevos roles y que pueden ser desempeñados por una o más personas (BIM Forum Chile,2017).

- Dirección BIM
- Gestión BIM
- Revisión BIM
- Coordinación BIM
- Modelamiento BIM ( modelador)

Independiente de los roles anteriores, algunas empresas han establecido cargos o funciones gerenciales especiales para BIM, por ejemplo los siguientes:

- Project Information Manager
- BIM Manager
- Project Delivery Manager

El desarrollo de un Proyecto con BIM requiere una planificación previa muy cuidadosa, desde la definición de objetivos, usos BIM, los niveles LOD y por ello la recomendación estándar es la preparación de un Plan de Ejecución BIM (PEB), también llamado Bim Execution Plan (BEP). Este documento se

recomienda preparar en la oferta técnica y posteriormente validar en la etapa de ejecución del proyecto, es decir se tiene un PEB pre contrato y un PEB post contrato.

### 3.3 Plataformas Informáticas - Softwares para BIM

Tal como se indicara anteriormente el concepto o idea de desarrollar un modelo virtual de las instalaciones data de más de 50 años y que gracias al desarrollo de poderosas plataformas y softwares especializados se ha hecho realidad

Algunos de los principales proveedores de plataformas BIM son (de manera referencial):

- AUTODESK
- TRIMBLE
- BENTLEY
- GRAPHISOFT(Nemetschek Group)
- ALLPLAN (Nemetschek Group)
- Otros

En un catastro de la oferta de softwares disponibles para BIM se pueden encontrar más de 50 y estos se pueden clasificar según sus funcionalidades:

- a) Diseño especialidades
- b) Integración , colaboración, coordinación
- c) Visualización
- d) Revisión
- e) Complementarios (add-in)

Por otra parte, de acuerdo a los resultados de la Encuesta Nacional BIM 2019 que realiza la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile, los softwares más conocidos y usados son (en orden de mayor a menor uso):

- Autodesk Revit
- Autodesk Navisworks
- Graphisopt ArchiCAD
- Autodesk BIM 360
- Graphisopt BIMcollab

- Trimble Tekla Structures

Un aspecto clave en el uso de la metodología BIM es la interoperabilidad entre los diferentes softwares y el intercambio de datos .Esto condiciona la adquisición o arriendos de éstos para un proyecto y también la compatibilidad con las propias plataformas que utilice el cliente.

Este tema por su relevancia ha dado lugar a la iniciativa OpenBim impulsada por buildingSMART International que con la participación de los proveedores de softwares, tiene por objetivos principales lograr una visión universal y colaborativa abierta, flujos de trabajo compatibles, compatibilidad e intercambio de datos y evitar la conversión. Esto permite la compatibilidad con nuevas versiones de los softwares y la posibilidad de elegir los softwares a utilizar según la necesidad de cada proyecto.

Desde el 1995 está disponible el formato IFC (Industry Foundation Classes) como estándar para el desarrollo de modelos BIM y su principal ventaja es ser de especificación abierta y no pertenecer a ningún fabricante de software en particular. La norma ISO 16739-1:2018 se refiere ampliamente a este tema.

### 3.4 BIM en Proyectos

La metodología BIM se puede aplicar en todo tipo de proyectos tanto en el ámbito privado como en el público y hay muchos casos exitosos de su aplicación en Infraestructura y Minería, en particular a nivel nacional se tienen aplicaciones en:

- ✓ Inmobiliaria ( edificios , condominios)
- ✓ Metro ( túneles, estaciones)
- ✓ Puentes
- ✓ Autopistas
- ✓ Hospitales
- ✓ Aeropuertos
- ✓ Plantas Mineras

✓ Otros

En Infraestructura pública se destaca el actual desarrollo con BIM de los proyectos de Ampliación del Aeropuerto AMB (Santiago) y el Puente sobre el canal de Chacao (Chiloé).

Por otra parte, desde más de una década la mayoría de los grandes proyectos mineros se han desarrollado con la metodología BIM sin explícitamente hablar de BIM.

En los proyectos públicos se comenzó a utilizar la metodología BIM (en diseño) a contar del 2011/2012 en las licitaciones de Hospitales y del Complejo Fronterizo los Libertadores. A contar del 2015, con el apoyo de CORFO y bajo el programa Construye 2025 se lanza el programa Planbim, como una de las 15 iniciativas para mejorar la productividad y sustentabilidad en la construcción. La meta del programa Planbim es lograr el uso de BIM en todas los proyectos públicos a partir del 2020.

En el marco de las actividades y logros de Planbim, en noviembre 2019, se realizó el lanzamiento del documento “Estándar BIM para Proyectos Públicos”, el cual permite la estandarización en los procesos de licitación y desarrollo de todos proyectos públicos con la metodología BIM.

A nivel nacional, el uso de la metodología BIM se refleja en los resultados de la Encuesta Nacional BIM 2019, en la cual se obtuvo del total de encuestados, que el 34% es usuario regular y el 29% ocasional y que el mayor uso regular es en la disciplina de Arquitectura (41%), luego Ingeniería (25%) y Construcción solo un 17%. Una de las conclusiones de esta encuesta es que si bien ha aumentado levemente el nivel de uso regular, solo ha sido en las aplicaciones básicas de la metodología como visualización, documentación, coordinación y lejos aún de altos niveles de colaboración y estandarización.

A nivel de los costos de utilizar la metodología BIM, se puede señalar de manera aproximada y solo como referencia un valor de 1-2% del costo de obra (para un LOD400).

Con relación al Project Management, Trejo (2018) analiza el impacto del uso de BIM en los procesos de planificación y control de proyecto y concluye que en ningún caso es un reemplazo o alternativa de los procesos de project management, sino más bien un complemento necesario y muy positivo para mejorar los procesos, en particular las comunicaciones y el trabajo colaborativo.

#### 4.- BIM 4D

Se denomina BIM 4 D cuando se incluye en el modelo 3D información relacionada con secuencia constructiva y temporalidad, esto permite la visualización, análisis y optimización de los avances planificados de construcción en diferentes periodos de tiempo La primera aplicación formal de BIM 4D se puede atribuir a Mortenson (CIFE), 1998.

Es importante tener la claridad que para el desarrollo cronograma se mantiene el uso de la metodología del Camino Crítico (CPM) con el apoyo los softwares especializados como Microsoft Project, Primavera P6 entre otros. BIM aporta con las cantidades de obra generadas automáticamente por el modelo y también si se incluye información de rendimientos, se pueden calcular automáticamente las duraciones.

El modelo BIM4D se debe hacer con la estructura constructiva y lógica tal como se ejecutaría en la realidad, pues ello permite visualizar los avances constructivos para:

- ✓ Validar secuencias naturales de construcción
- ✓ Revisar la logística, transportes internos

- ✓ Revisar cantidad de personal simultáneo en obra
- ✓ Revisar los avances planificados por periodo
- ✓ Simular diferentes estrategias constructivas, uso de grúas, equipos
- ✓ Validar o revisar la logística , bodega, despachos

Para usar BIM 4D se deben usar softwares complementarios a los softwares BIM, por ejemplo y solo como referencia , los siguientes:

- Navisworks- timeliner, (compatible con Revit)
- Vico Office, (permite líneas de balance, muy útil para autopistas)
- Synchro 4D, (muy flexible y lee datos de pdf y otros, mejor edición de videos informativos)
- Assemble Systems

## 5.- BIM 5D

Se denomina BIM 5 D cuando se incluye en el Modelo 3D información relacionada con los costos de cada elemento. El modelo debe incluir códigos asociados a los costos unitarios que están en el software de presupuesto y por ello se hace énfasis en la importancia de la descripción correcta de los elementos.

Se deben incluir en el modelo BIM5D todos los elementos, por ejemplo puertas, ventanas, pavimentos, alfombra, cerámica, tabiques, papel mural. No es necesario modelar todo en detalle, se recomienda parametrizar y usar superficies netas, por ejemplo si una ventana incluye la quincallería, no sería necesario modelarlas si el costo unitario ya las incluye.

Se debe tener presente que el modelo provee las cantidades solo de los elementos modelados y que el costo unitario no se obtiene del modelo.

Para usar BIM 5D se debe usar softwares de complementarios, por ejemplo y solo como referencia, los siguientes:

- Presto – cost it conecta con Revit
- TCQ (ITeC)
- Cype Arquimedes , conecta con Revit
- iTWO costX ( RIB software international)
- ITWO / MTWO
- Destini PROFILER, (Bech Technology)

## 6.- INTEGRATED PROJECT DELIVERY (IPD)

### 6.1 Estrategias de Ejecución (Contratos)

Se refiere a la estrategia del Dueño para desarrollar el diseño de detalle y la construcción de su proyecto (se conoce como Project Delivery) y se identifican los 3 actores principales siguientes:

- a) Dueño
- b) Diseñador (Ingeniería de detalle)
- c) Constructor

El Dueño para materializar su proyecto, en general busca siempre los siguientes objetivos genéricos

- ✓ Menor costo de Capital
- ✓ Menor Plazo
- ✓ Mayor Calidad

Estos objetivos a veces son contrapuestos y depende de la visión global del Dueño, por ejemplo su interés en el desempeño de las instalaciones en operaciones. En este contexto la estrategia seleccionada debe lograr principalmente:

- ✓ Minimizar número de contratistas:

- ✓ Reducir plazo total
- ✓ Reducir costos de capital
- ✓ Innovación y Valor
- ✓ Reducir Costos de los cambios
- ✓ Reducir probabilidad de atrasos
- ✓ Minimizar reclamos

Las estrategias más conocidas y utilizadas internacionalmente y de manera resumida, son las 3 siguientes (PMI, 1997).

- [1] Design Build (DB) , es un solo contrato que incluye el diseño (ingeniería de detalle, D) y la construcción (B).
- [2] Design Bid Build (DBB) esta estrategia consiste en 2 contratos, uno de diseño (ingeniería de detalle, D) y luego una licitación (B) para un contrato para la construcción(B).
- [3] Construction Management (CM) , en esta estrategia el dueño contrata la ingeniería de detalle y luego solo contrata la administración de la construcción, esto puede ser en 2 modalidades , CM as Agency , se actúa como agente del dueño y CM at Riks ( incluye la construcción además de la administración).

Estas 3 estrategias si bien han sido exitosas en el pasado y se siguen utilizando, así como también las estrategias especiales EPC y EPCM muy usadas en la gran minería, son en ciertos modos incompatibles con los nuevos enfoques colaborativos y tecnologías disponibles de la Construcción 4.0.

## 6.2 Estrategia IPD

La estrategia IPD fue introducida el 2007 por el American Institute of Architects y se define como una estrategia de ejecución de proyectos que integra equipos, sistemas, estructura de negocios y diferentes prácticas en un proceso en el cual mediante la colaboración y confianza se aprovecha cada una de las competencias

específicas de los participantes de tal forma de optimizar los resultados, aumentar el valor para el dueño de proyecto, reducir perdidas, y maximizar la eficiencia a través de fases de diseño, fabricación y construcción (AIA,2007).

La estrategia IPD requiere que todos los participantes clave, arquitectos, ingenieros, consultores, proveedores de equipos, materiales, constructores, cliente, usuario final trabajen de manera conjunta e integrada desde etapas tempranas del proyecto (pre-inversión) con un objetivo común, el éxito del proyecto en lugar del éxito individual de cada participante.

El principal desafío de implementar una estrategia IPD es la contratación de cada uno de los participantes en la fase temprana de factibilidad o ingeniería básica, en una modalidad de pago que incentive el trabajo en equipo e integración. El rol de dueño como ente integrador es clave e imprescindible y por ello es necesaria una política de comunicaciones transparente y oportuna.

El IPD descansa en 9 principios de gestión que permiten alinear a todos los participantes clave.



**Figura 9:** Principios de gestión IPD (adaptado de AIA. 2007).

La aplicación de estos principios requiere adicionalmente que se conforme el llamado IPD Team, es decir un equipo de trabajo que incluye al menos a la empresa de Arquitectura e Ingeniería, empresa constructora y los

representantes del dueño. También es deseable incluir a los especialistas de diseño, a los proveedores de materiales, de equipos operacionales, subcontratistas, de manera de incluir así todos los puntos de vista desde la fase pre-inversión y con un enfoque integrado.

La materialización de los contratos IPD requiere un cambio cultural importante y por ello su aplicación real en proyectos parece difícil a nivel nacional en el corto plazo (Vio, 2017).

En general, la mayoría de las empresas participantes están acostumbradas al enfoque tradicional de la ejecución de contratos individuales ganar-perder, perder-ganar, luego el desafío es implantar una cultura contractual ganar-ganar.

Uno de los mayores desafíos en la estrategia IPD, es establecer una modalidad de pago adecuada a cada empresa participante y que promueva el aporte y la búsqueda del óptimo global del proyecto.

La adopción de la estrategia IPD requiere necesariamente una modificación y actualización de los marcos contractuales comúnmente utilizados en el país.

### **6.3 IPD y BIM**

La estrategia IPD se materializa con el trabajo colaborativo de los actores principales de los diferentes procesos de ingeniería y construcción y en ese sentido el uso de la metodología BIM resulta muy adecuado y positivo. Con BIM se dispone del CDE y el modelo virtual integrado de la obra, que permite la integración de la visión y trabajo de cada empresa participante, esto con 4D y 5D. IPD provee un marco contractual para que todos los participantes clave se integren y compartan las metas y maximicen el valor al negocio del dueño (Wright, J.A. 2012) Sin embargo se debe ser muy cuidadoso en seleccionar las empresas

participantes desde la perspectiva que deben ser adecuadas para trabajar en equipo y aportar a través del desarrollo de los modelos BIM.

Se afirma que IPD sin BIM es muy difícil de llevar a la práctica y se requiere un nuevo enfoque a nivel de la industria, entender la construcción como una cadena productiva integrada.

### **7.- LEAN CONSTRUCTION (LC)**

Los orígenes de Lean Construction vienen de Lean Production (80s) , metodología también conocida como Lean Manufacturing (90s) y que se originó principalmente en Toyota y está asociada a la producción sin “perdidas” o también “ sin grasa, es decir sin actividades “innecesarias” .

Las actividades “innecesarias” se pueden clasificar en 3 tipos,

- a) de planificación,
- b) asociadas a los niveles de producción
- c) complementarias a la producción

Como ejemplos de actividades innecesarias tenemos los siguientes:

- planificación excesiva
- exceso de administración
- exceso de supervisión, control
- exceso de reuniones
- exceso de detalle en documentos
- exceso de protocolos de aprobación
- tiempos de espera entre procesos
- transporte y desplazamientos
- corrección de defectos
- duplicación de trabajos
- re trabajo
- sobre procesamiento
- búsqueda de información
- inventario
- conflictos
- disputas y controversias

- otras

El concepto de Lean Construction (LC) fue introducido en 1992 por el profesor Lauri Koskela y posteriormente respaldado con la creación del Lean Construction Institute en 1997. Lean Construction se puede definir como una filosofía que se enfoca hacia la administración de la producción en construcción, donde se reduce o elimina las actividades que no van a generar valor al producto y optimizar las que sí lo hacen.

La filosofía Lean Construction (LC) se enfoca a dos objetivos fundamentales (Koskela,1992):

- ✓ Maximizar el valor al cliente/usuario
- ✓ Eliminar los “desechos” , ineficiencias, trabajos y entregables sin utilidad

Lean busca que el trabajo se realice de manera simple, fácil de entender y supervisar, sin actividades adicionales que no aportan, para así mejorar la calidad y reducir los costos y plazos.

La filosofía Lean o también entendida como un sistema de gestión se basa en los 11 principios Lean establecidos por Koskela,(2002).

- P1. Reducir participación de actividades que no agregan valor (muda).
- P2. Incrementar el valor del producto.
- P3. Reducir la variabilidad.
- P4. Reducir los tiempos de ciclo.
- P5. Simplificar procesos.
- P6. Incrementar la flexibilidad de la producción.
- P7. Incrementar transparencia de los procesos.
- P8. Enfocar el control al proceso completo.
- P9. Introducir la mejora continua de los procesos.
- P10. Mejorar continuamente el flujo.
- P11. Referencias de los procesos con los de organizaciones líderes (benchmarking).

Estos principios se aplican a los flujos de procesos y cada uno de sus subprocesos y así identifican problemas con el flujo de valor.

La aplicación práctica de la filosofía Lean se materializa a través de numerosas herramientas y técnicas desarrolladas para ello, en particular se destacan las siguientes:

- Just in Time
- Jidoka
- Kaizen
- Heijunka
- Visual Management (VM)
- Value Stream Mapping (VSM)
- Formato A3
- 5S
- Estandarización
- Gemba
- Líneas de Balance (LOB)
- Andon (VM)
- Kanban (VM)
- Poka Yoke
- Last Planner System (LPS)
- Obeya Room
- Target Value Design (TVS)
- otras

Respecto de la aplicación de Lean en el sector construcción, Lyon (2018) concluye que es aún baja y que las empresas no tienen el conocimiento suficiente para su correcta implementación en los proyectos, sin lograr incorporar elementos de la filosofía o la cultura.

Una de las herramientas Lean más conocida y difundida es Last Planner System (LPS) y su gran fortaleza y aporte es el reconocimiento de las 3 categorías de actividades planificadas para un periodo: que se debe hacer, que se puede hacer y que finalmente se hará (compromiso).

Lyon concluye también que en los proyectos de construcción, las actividades más comunes que no agregan valor, son la falta de comunicación

y los tiempos de espera en los distintos procesos.

Lean se ha desplegado y desarrollado en múltiples variaciones, entre las más conocidas:

- Lean Thinking
- Lean Manufacturing/Production
- Lean Construction
- Lean Project Management
- Lean Design

De manera global se puede hablar de Lean Management y los últimos desarrollos en el área proponen los enfoques Lean Office y Lean IT (Lean Information Technology).

## 8.- INTEGRACIÓN BIM-LEAN

La metodología BIM permite de manera natural cumplir con los objetivos Lean pues a través del modelo de la obra/instalación se verifica y optimiza el cumplimiento con las necesidades y requisitos del cliente, con la opción de cambios y mejoras de manera virtual previo a la construcción física.

También con el uso de BIM se logra una optimización en los flujos y secuencias de los procesos constructivos (BIM 4D) y una mayor exactitud en la cubicación de las cantidades de obra (BIM 5D), optimización en el uso de los materiales, la logística y almacenamiento entre otras.

La filosofía Lean debe aplicarse desde la concepción del proyecto y por ello se habla de Lean Design y esto se puede abordar y realizar de mejor manera a través de BIM. Se debe tener claridad que BIM y Lean son independientes, sin embargo la gran sinergia entre ambas permite potenciarse y aumentar sustantivamente sus beneficios (Coates, P., Arayici, Y., and Koskela, L., 2010).

La utilización de BIM también puede generar actividades innecesarias y pérdidas, por ejemplo alguna de las siguientes (Mandujano, 2016):

- Objetivos usos BIM mal definidos
- Problemas de interoperabilidad entre softwares
- Distintas base de datos en lugar de una común.
- Duplicación de datos en distintos softwares
- Tiempos de espera en decisiones y aprobaciones
- Excesos de cambios como parte normal de usar BIM

Si bien hay mucha literatura respecto a la interacción BIM Lean, en la tabla siguiente se ilustra de manera conceptual el aporte de BIM asociado a cada principio Lean.

**Tabla 1:** Principios Lean y aporte BIM

PRINCIPIO LEAN	APORTE DE BIM
Reducir participación de actividades que no agregan valor	Mejor coordinación
Incrementar el valor del producto.	Mejor comunicación con el cliente
Reducir la variabilidad.	Prevenir y detectar interferencias
Reducir los tiempos de ciclo	Reducción de actividades innecesarias
Simplificar procesos.	Mejora procesos adquisiciones, construcción
Incrementar la flexibilidad de la producción	Mejor comunicación con el cliente
Incrementar transparencia de los procesos	Modelo compartido, federado, CDE
Enfocar el control al proceso completo	Revisiones del modelo y procesos constructivos
Introducir la mejora continua de los procesos	Revisiones del modelo y procesos constructivos

Mejorar continuamente el flujo	Mejor coordinación de la información
Referencias de los procesos con los de organizaciones líderes ( <i>benchmarking</i> ).	Integración y comunicaciones

En base a lo señalado por Sacks, R., Koskela, L., Dave, B.A., & Owen, R. (2010) un resumen de los principales beneficios de usar BIM – Lean sería el siguiente:

- ✓ Disminución de re-trabajos
- ✓ Única fuente de información de proyecto
- ✓ Mayor integración del proyecto
- ✓ Mejora de la productividad
- ✓ Aumento de la colaboración
- ✓ Eliminación de trabajos duplicados
- ✓ Mayor flexibilidad para optimizar diseño
- ✓ Disminución duración total del proyecto
- ✓ Reducción de tiempo producción documentos
- ✓ Aumento del valor generado/entregado
- ✓ Disminución de conflictos
- ✓ Reducción de tiempos de ciclo entre procesos
- ✓ Eliminación de pérdidas (obra)

Se puede concluir que usar la metodología BIM sin la filosofía Lean es minimizar la potencialidad y beneficios de BIM y por otra parte aplicar Lean con BIM resulta de alguna manera natural. Se habla de LeanBim.

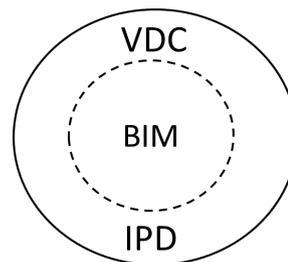
Para un modelo de aplicación conjunta de VDC-Lean o BIM-Lean se recomienda ver el trabajo de Latorre (2019)

## 9.- INTEGRACIÓN VDC-BIM-IPD

De acuerdo a los antecedentes presentados en los capítulos anteriores se puede entender que VDC-BIM solo puede lograr su máximo potencial con la colaboración temprana de los actores relevantes en la fase inversión, es decir

con los proveedores y contratistas de construcción ya adjudicados.

Si bien VDC –BIM permite realizar el diseño y construcción virtual, sin la participación de los proveedores y contratistas reales las soluciones adoptadas podrían no ser las óptimas una vez iniciada la construcción con los verdaderos protagonistas.



**Figura 10:** VDC-BIM-IPD

Otra conclusión relevante es que el VDC sin una estrategia de ejecución IPD puede perder toda su efectividad.

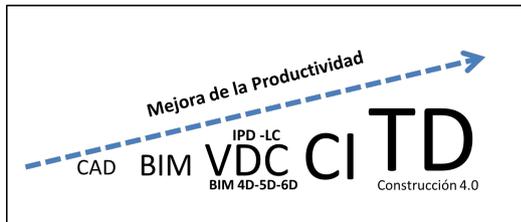
## 10.-CONCLUSIONES

En el contexto de la Industria 4.0 y Transformación Digital en que estamos como sociedad, el sector de la ingeniería y construcción tiene una oportunidad única (y exigencia a la vez), de modernizarse a una Construcción 4.0, Industrializada y Sostenible. Esto permitirá lograr una mejora sustantiva de los indicadores de productividad y calidad del sector.

En este camino de mejora de la gestión y ejecución de proyectos aparecen nuevos enfoques, metodologías y herramientas de softwares, que por su exceso y variedad muchas veces confunden en su real aplicabilidad, efecto y también su complementariedad.

Una manera de entender la relación y alcances de VDC-BIM-IPD y LC se ilustra en la figura 11. Es posible que otros autores discrepen en el

orden o jerarquías indicadas, en particular con Lean, ya que su alcance abarca todas las actividades de gestión empresarial. El uso del prefijo Lean es cada vez más común (LeanBim, LeanIPD, LeanPM entre otros).



**Figura 11:** Un camino de mejora de la productividad en el sector construcción

La metodología clásica de desarrollo de proyectos con una secuencia jerárquica de participación de los diferentes actores de ingeniería y construcción se hace cada vez más ineficiente y poco eficaz con las actuales condiciones de la industria. La clave para el éxito presente y futuro es el trabajo colaborativo, integrado con las tecnologías digitales y con la meta de maximizar el valor entregado al cliente y minimizando los residuos físicos y de gestión. En este contexto también es importante conocer el enfoque Agile (ágil) y su aplicación en la gestión de proyectos de construcción.

Los sistemas de gestión, enfoques y metodologías VDC, BIM, IPD y LC, si bien existen hace varios años, aun son de bajo conocimiento e implantación en el sector de ingeniería y construcción, a pesar de los esfuerzos de diferentes instituciones públicas y privadas para ello, como el programa Construye 2025, el Consejo de Construcción Industrializada y el programa Planbim.

El avance acelerado de la tecnología podría indicar que BIM es el pasado y presente, no así el futuro.

Otra iniciativa en desarrollo y parte del programa Construye 2025 se refiere a las modificaciones y mejoras al marco contractual para los proyectos, sin esto, los enfoques colaborativos e integrado no son factibles de utilizar.

Finalmente es importante reflexionar respecto a la formación de los ingenieros y si desde la academia estamos desarrollando las competencias y dando los énfasis necesarios en los programas de estudio, acordes con los avances tecnológicos y nuevos paradigmas de la construcción 4.0.

## **11.- REFERENCIAS**

- AIA (2007). Integrated project delivery: A guide. American Institute of Architects National & American Institute of Architects California Council.
- BIM Forum Chile, (2017). Guía inicial para la implementar BIM en las organizaciones
- Center for Integrated Facilities Engineering (CIFE) (<https://cife.stanford.edu/>).
- Coates, P., Arayici, Y., and Koskela, L. (2010). Using the Knowledge Transfer Partnership model as a method of transferring BIM and Lean process related knowledge between academia and industry: A Case Study Approach
- Eastman, C. (1975). The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design. AIA Journal, 63(3), 46-50.
- Fischer, M., and Kunz, J. (2004). The scope and role of information technology in construction (Publication no. 10.2208/jscej.2004.763\_1 ). (0289-7806). Retrieved January 5, 2015, from Center for Integrated Facility Engineering, Stanford University <http://cife.stanford.edu/sites/default/files/TR156.pdf>

- Koskela, L. (1992). Application of the new production philosophy to construction. Stanford, CA: Stanford university Stanford, CA.
- Koskela, L., Howell, G., Ballard, G., and Tommelein, I. (2002). The foundations of Lean construction. Design and Construction: Building in Value. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann.
- Mandujano, M. (2016). A Method To Identify Virtual Design And Construction Implementation Strategies From A Lean Construction Perspective. (Doctor in Engineering Science Doctoral), Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.
- McKinsey Global Institute, The digital future of construction Voices, October 2016
- McKinsey Global Institute, Reinventing construction.( February 2017) A Route to higher productivity.
- McKinsey Global Institute (October 2017) Navigating the digital future the disruption of capital-projects.
- Monash University (2017). Handbook for the design of modular structures.
- Latorre Uriz, A.; Sanz, C.; Sánchez, B. (2019). Aplicación de un modelo Lean-BIM para la mejora de la productividad en redacción de proyectos de edificación. Informes de la Construcción, 71(556): e313. <https://doi.org/10.3989/ic.67222>.
- Lyon Vial, A. (2018).Aplicación del enfoque LEAN a la dirección de proyectos en la industria de la construcción. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/168691>
- PAS 1192-2:2013.Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling.
- Pennsylvania State University. (2019) BIM Project Execution Planning Guide. Version 2.2.
- Planbim (2019) Estándar BIM para proyectos públicos.
- Project Management Institute.(1997). Design-Procurement-Construction Specific Interest Group, The ABCs of DPC: A Primer on Design Procurement Construction for the Project Manager.
- Sacks, R., Koskela, L., Dave, B.A., & Owen, R. (2010). Interaction of lean and building information modeling in construction. Journal of construction engineering and management, 136(9): 968-980.[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000203](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000203).
- Trejo Carvajal, N. (2018).Estudio de impacto del uso de la metodología BIM en la planificación y control de proyectos de ingeniería y construcción. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/168599>
- Vio Carrasco, J. (2017).La estrategia de ejecución de proyectos IPD (Integrated Project Delivery) situación actual y tendencias. Disponible en <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/145241>
- Wright, J.A. (2012): The Integration of Building Information Modeling and Integrated Project Delivery into the Construction Management Curriculum. American Society for Engineering Education.