

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**VIRTUAL DESIGN AND CONSTRUCTION Y LA MEJORA DE LA  
GESTIÓN EN PROYECTOS DE EDIFICACIONES**

**TESIS**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. CELIS CARHUANCHO, LORENZO ALBERTO**  
**Bach. HUAMANI NARVAEZ, CAROLAYN ESTEFANNY**

**Asesor: Mg. TORRES PÉREZ, ENRIQUE LUIS**

**LIMA - PERÚ**

**2020**

## **DEDICATORIA**

A mis padres Lorenzo y Alina por siempre creer en mí, enseñarme que todo se puede conseguir si se tiene a Dios, ante todo.

Lorenzo Alberto Celis Carhuancho

A Dios por siempre guiar mis pasos e iluminar mi camino, a mis padres Juan y Dania por su amor y apoyo incondicional, a mi hermana, abuelitos y familiares por sus consejos, compañía y por la motivación constante para nunca rendirme y seguir alcanzando mis metas.

Carolayn Estefanny Huamani Narvaez

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestro sincero agradecimiento a nuestra alma mater, por todos los conocimientos y la preparación adquirida a lo largo de esta etapa; y a todas las personas que hicieron posible el desarrollo esta investigación, entre ellos familiares y docentes.

Lorenzo Celis y Carolayn Huamani

## INDICE GENERAL

RESUMEN .....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Descripción y Formulación del Problema General y Especifico .....	3
1.1.1 Problema General .....	3
1.1.2 Problemas Específicos .....	4
1.2 Objetivo General y Especifico.....	4
1.2.1 Objetivo General.....	4
1.2.2 Objetivos Específicos .....	4
1.3 Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática.....	4
1.3.1 Delimitación Temporal .....	4
1.3.2 Delimitación Espacial .....	4
1.3.2 Delimitación Temática.....	4
1.4 Justificación e importancia del estudio.....	5
1.4.1 Justificación teórica .....	5
1.4.2 Justificación Practica .....	5
1.4.3 Justificación Social .....	5
1.4.4 Importancia .....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 Antecedentes del estudio de investigación .....	7
2.2 Investigaciones relacionadas al tema.....	15
2.2.1 Investigaciones nacionales.....	15
2.1.2 Investigaciones internacionales .....	20
2.3 Bases Teórica y científica que sustenta el estudio.....	23
2.3.1 Proyecto .....	23
2.3.3 El marco VDC .....	26
2.3.4 El marco IPD .....	32
2.4 Definición de Términos Básicos.....	40
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	42
3.1 Tipo y Nivel.....	42
3.1.1 Tipo.....	42

3.1.2 Nivel.....	42
3.2 Diseño de investigación.....	42
3.3 Objeto y muestra.....	42
3.3.1 Objeto de Estudio.....	42
3.3.2 Diseño Muestral.....	43
3.4 Variables.....	43
3.4.1 Definición conceptual de las variables.....	43
3.4.2 Operacionalización de la variable.....	44
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	45
3.5.1 Tipos de técnicas e instrumentos.....	45
3.5.2 Criterios de Validez y confiabilidad de los instrumentos.....	45
3.5.3 Procedimientos para la recolección de datos.....	45
3.6 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	45
CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....	47
4.1 La matriz Producto-Organización-Procesos (POP).....	47
4.2 VDC en la Gestión del Producto.....	49
4.2.1 Los Objetivos del Cliente y los Objetivos del Proyecto.....	49
4.2.2 El uso de Building Information Modeling (BIM).....	50
4.2.3 Factores Controlables y Métricas de Desempeño.....	62
4.2.3 Mejora en la Gestión del producto.....	66
4.3 VDC en la Gestión de la Organización.....	67
4.3.1 Propósito de Ingeniería concurrente integrada (ICE).....	67
4.3.2 Reciprocidad.....	68
4.3.3 Modelo acordeón.....	71
4.3.4 Actividades previas a una sesión ICE.....	73
4.3.5 Actividades durante una sesión ICE.....	77
4.3.6 Actividades después de una sesión ICE.....	79
4.3.7 Big Room e ICE.....	79
4.3.8 Factores Controlables de ICE.....	84
4.3.9 Métricas ICE.....	92
4.3.10 Mejora en la Gestión de la Organización.....	95
4.4 VDC en la Gestión de los Procesos.....	96
4.4.1 Project Production Management (PPM).....	96

4.4.2 Interacción entre PPM e ICE .....	97
4.4.3 Interacción entre PPM y BIM.....	98
4.4.4 Variabilidad .....	99
4.4.5 Proyecto como Sistema de producción.....	106
4.4.6 Factores Controlables PPM .....	116
4.4.7 Métricas PPM .....	116
4.4.8 Mejora en la Gestión de los Procesos .....	118
4.5 Ejemplos de Aplicación.....	119
4.5.1 Ejemplo VDC: Heathrow Express T5 .....	119
4.5.2 Ejemplo de VDC e IPD: Remodelación de la Villa Deportiva Nacional	122
CAPÍTULO V: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	127
5.1 Resultados de la investigación.....	127
5.2 Análisis e interpretación de resultados .....	130
5.3 Discusión .....	132
CONCLUSIONES.....	134
RECOMENDACIONES.....	135
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	136
ANEXOS .....	139
Anexo 1: Lista de profesionales peruanos certificados en VDC .....	139
Anexo 2: Guías de documentación .....	140
Anexo 3: Matriz de Consistencia.....	142

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Proceso de construcción virtual Lean - DPR Construction .....	8
Figura N° 2: Certificado en VDC .....	10
Figura N° 3: 1er grupo peruano en certificación VDC .....	10
Figura N° 4: 2do grupo peruano en certificación VDC .....	11
Figura N° 5: Aspirantes a la 3era certificación VDC .....	12
Figura N° 6: Aspirantes a la 4ta certificación VDC .....	13
Figura N° 7: Gestión VDC en Ingeniería.....	16
Figura N° 8: Ciclo de vida de un Proyecto .....	24
Figura N° 9: Ingresos y Costos del ciclo de vida de un proyecto.....	26
Figura N° 10: Marco de trabajo VDC.....	27
Figura N° 11: Evolución de PPM y Lean Construction.....	29
Figura N° 12: Marco IPD.....	33
Figura N° 13:Ciclo de vida de un edificio, DPR Construction, Lyzz Schwegler.....	36
Figura N° 14: Marco IPD (capacidades de VDC y acuerdos y/o contratos) .....	38
Figura N° 15: El Marco VDC en la Gestión del Proyecto.....	47
Figura N° 16: Metas en el ciclo de vida del proyecto.....	50
Figura N° 17: Empezando a usar BIM.....	52
Figura N° 18: Las aplicaciones de BIM en VDC .....	53
Figura N° 19: La visualización de opciones de diseño BIM .....	54
Figura N° 20: Errores de espacio de una escalera .....	55
Figura N° 21: La Visualización con BIM.....	55
Figura N° 22: Estructura de los modelos de información.....	56
Figura N° 23: Dimensiones de BIM .....	58
Figura N° 24: La integración de la información con BIM.....	58
Figura N° 25: Proyectos de Automatización en el Perú por TSC Innovation .....	61
Figura N° 26: Herramientas BIM de Automatización: Dynamo y Grasshopper.....	61
Figura N° 27: Automatización con BIM.....	62
Figura N° 28: Factores Controlables y Métricas de Desempeño.....	62
Figura N° 29: Mejora en la Gestión del Producto .....	66
Figura N° 30: Propósito de ICE.....	68
Figura N° 31: Tipos de Interdependencia dentro de una estructura organizada.....	69
Figura N° 32:Tipos de Interdependencia durante el ciclo de vida de un proyecto.....	71

Figura N° 33: Modelo acordeón sesiones ICE.....	72
Figura N° 34: Ciclo ICP de sesiones ICE en la fase de diseño.....	73
Figura N° 35: Ciclo PCP de sesiones ICE en la fase de construcción.....	73
Figura N° 36: Propósito de una sesión ICE .....	74
Figura N° 37: Ejemplo de invitación a una sesión ICE .....	76
Figura N° 38: Actividades antes de una sesión ICE .....	76
Figura N° 39: Requisitos mínimos para obtener resultados esperados.....	77
Figura N° 40: Actividades durante una sesión ICE. ....	79
Figura N° 41: Big Room.....	82
Figura N° 42: Integración Big Room.....	82
Figura N° 43: Distintas disciplinas en una sesión ICE. ....	83
Figura N° 44: Big Room vs ICE.....	83
Figura N° 45: Mix de habilidades para un buen manejo de una sesión ICE. ....	86
Figura N° 46: Ejemplo de espectro de co-ubicación (parcialmente co-ubicada) en una Sesión ICE. ....	87
Figura N° 47: Ambiente tradicional.....	91
Figura N° 48: Ambiente ICE. ....	91
Figura N° 49: Distintas Disciplinas en un mismo ambiente, cortesía DPR.....	92
Figura N° 50: Métricas y factores controlables ICE.....	94
Figura N° 51: Mejora en la gestión de la organización .....	95
Figura N° 52: Gestión de proyectos convencional .....	96
Figura N° 53: Gestión de producción de proyectos (PPM) .....	97
Figura N° 54: Flujo de trabajo tradicional del proyecto “PIP de la Estación Pancras” ..	98
Figura N° 55: Flujo de trabajo PPM con ICE del proyecto “PIP de la Estación Pancras” .....	98
Figura N° 56: Flujo de trabajo específico con BIM de un proyecto realizado por DPR Construction.....	99
Figura N° 57: Fuentes de Variabilidad .....	100
Figura N° 58: Fuentes e Impacto de la Variabilidad .....	101
Figura N° 59: Estrategias de amortiguación.....	102
Figura N° 60: Gestión y control de la Variabilidad en base a capacidad, inventario y tiempo. ....	102
Figura N° 61: Proceso de producción (PPM) .....	103

Figura N° 62: Formula de Ciclo de Tiempo .....	104
Figura N° 65: Tiempo del ciclo vs WIP .....	105
Figura N° 64: WIP vs Rendimiento (Throughput) .....	106
Figura N° 63: Utilización vs Ciclo de Tiempo .....	106
Figura N° 66: Ejemplo de un sistema de producción con la colocación de buffers. ....	107
Figura N° 67: Ejemplo de sesión de planificación Pull de una Fase. ....	108
Figura N° 68: Cuatro conceptos básicos que introduce LPS .....	109
Figura N° 69: Gestión tradicional vs LPS .....	110
Figura N° 70: Sistema tradicional.....	110
Figura N° 71: Sistema LPS .....	111
Figura N° 72: Esquema del debe – se hará – se puede .....	111
Figura N° 73: Fotografía de sesión de Planificación maestra.....	112
Figura N° 74: Fotografía de sesión de Planificación de varias fases.....	113
Figura N° 75: Procesos del Lookahead.....	113
Figura N° 76: Ejemplo de una sesión de Planificación a mediano plazo .....	114
Figura N° 77: Ejemplo de una Planificación a mediano plazo .....	114
Figura N° 78: Procesos del Plan semanal .....	114
Figura N° 79: Ejemplo de un plan semanal o a corto plazo. ....	115
Figura N° 80: Mejora en la gestión de los procesos .....	118
Figura N° 81: Esquema VDC usado en la Extensión Heathrow Express a T5 para mejorar la confiabilidad de programación para el vaciado de concreto. ....	119
Figura N° 82: Diseño para preemsablaje utilizado. ....	120
Figura N° 83: Del prototipo digital al físico .....	120
Figura N° 84: Sesión ICE .....	121
Figura N° 85: Proceso Pull Planning .....	122
Figura N° 86: Implementación VDC en la VIDENA. ....	123
Figura N° 87: Diseño de la barrera de viento en el estadio atlético.....	124
Figura N° 88: Sesión ICE en la etapa de diseño .....	124
Figura N° 89: Sesión ICE en la etapa de construcción.....	125
Figura N° 90: Interacción Last Planner System con BIM .....	126
Figura N° 91: Control de avance .....	126
Figura N° 92: VDC en el funcionamiento de Gestión del producto.....	127
Figura N° 93: VDC en el funcionamiento de Gestión de la organización.....	128

Figura N° 94:VDC en el funcionamiento de Gestión de los Procesos ..... 129

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Identificación de la variable .....	43
Tabla N° 2: Operacionalización de la Variable .....	44
Tabla N° 3: Guía de revisión documental.....	46
Tabla N° 4: Pensamiento de diseño y las variables del proyecto .....	49
Tabla N° 5: La Matriz POP.....	49
Tabla N° 6: Especificaciones de la Información .....	57
Tabla N° 7: Automatización en las fases del producto.....	59
Tabla N° 8: Ejemplo de Automatización: Armadura del techo de un estadio de fútbol. 60	
Tabla N° 9: Resultados de Automatización – Armadura del techo de un estadio de fútbol.....	60
Tabla N° 10 Criterios antes de Usar BIM.....	64
Tabla N° 11: Métricas BIM durante su aplicación .....	64
Tabla N° 12:Ejemplo de una agenda antes de una sesión ICE. ....	88
Tabla N° 13.Ejemplo de una plantilla de agenda para una sesión ICE, cortesía de Kruse Smith.....	89
Tabla N° 14: Ejemplos de métricas ICE.....	93
Tabla N° 15: Fases de planificación del LPS .....	115

## RESUMEN

Este trabajo de investigación es de tipo y nivel exploratorio, con una orientación aplicada y enfoque cualitativo documental. Tiene como objetivo principal difundir el marco de trabajo Virtual Design and Construction (VDC) con la finalidad de mejorar la gestión en los proyectos de edificaciones a través de una recopilación documental. En la actualidad, la gestión de proyectos presenta muchas deficiencias en la forma de trabajar. Se sigue trabajando bajo un enfoque tradicional, lo cual genera diversos problemas a lo largo del ciclo de vida de una edificación. Por ello, se considera necesario optar por un diferente marco de trabajo como VDC, con sus tres enfoques principales en la gestión de proyectos: el producto, los procesos y la organización, para lograr conseguir una mejora. Según los resultados obtenidos, la gestión del producto funciona con BIM, a través de una gestión BIM adecuada que permita utilizar los distintos usos BIM que se tienen como visualización, integración de la información, automatización y entre otros. Asimismo, haciendo uso de factores controlables y métricas BIM para controlar y medir el desempeño en el proyecto. Toda la gestión del producto debe estar orientada hacia las metas del proyecto y del cliente. Esto es posible, haciendo uso de la matriz POP, que es proporcionada por el marco de VDC, que facilita un reconocimiento rápido de las metas deseadas. La gestión de la organización funciona mediante ICE denominado ingeniería concurrentemente integrada, que se basa en trabajar de manera colaborativa, integrada con las distintas disciplinas mediante reuniones ICE. En estas reuniones se interactúa con BIM+ y PPM (gestión de los procesos), las cuales deben ser planificadas con anterioridad, abordando cuáles serán las actividades previas, las actividades durante la reunión y las actividades después de la reunión. Asimismo, se debe establecer los factores y métricas ICE para el control y medición del desempeño. La gestión de los procesos funciona con PPM, centrando los proyectos como sistemas de producción y buscando optimizar el costo, el tiempo y el alcance con las palancas de diseño de procesos, capacidad, inventario y variabilidad. PPM proporciona los medios para mapear, modelar, analizar, simular, optimizar, controlar y mejorar los sistemas de producción de proyectos. En conclusión, mediante la presente tesis se está difundiendo esta nueva forma de trabajar conocida VDC logrando conocer las mejoras que se pueden obtener con su aplicación en la gestión de proyectos de edificaciones.

Palabras claves: Producto, organización, procesos, BIM, ICE, PPM.

## ABSTRACT

This research work is of an exploratory type and level, with an applied orientation and a qualitative documentary approach. Its main objective is to disseminate the Virtual Design and Construction (VDC) framework in order to improve management in building projects through a documentary compilation. Currently, project management has many shortcomings in the way of working. Work continues under a traditional approach, which generates various problems throughout the life cycle of a building. Therefore, it is considered necessary to opt for a new framework such as VDC, with its three main approaches in project management: the product, the processes and the organization, to achieve an improvement. According to the results obtained, the product management works with BIM, through an adequate BIM management that allows the use of the different BIM uses such as visualization, integration of information, automation and among others. Also, making use of controllable factors and BIM metrics to control and measure project performance. All product management must be directed to the goals of the project and the client. This is possible, making use of the POP matrix, which is provided by the VDC framework, which facilitates a quick recognition of our desired goals. The management of the organization works through ICE called concurrently integrated engineering, which is based on working collaboratively, integrated with the different disciplines through ICE meetings. In these meetings, there is interaction with BIM and PPM (process management), which must be planned in advance, addressing the previous activities, the activities during the meeting and the activities after the meeting. Likewise, the ICE factors and metrics must be established for the control and measurement of performance. Process management works with PPM, focusing projects as production systems and seeking to optimize cost, time and scope with the levers of process design, capacity, inventory and variability. PPM provides the means to map, model, analyze, simulate, optimize, control and improve project production systems. In conclusion, through this thesis this new way of working, known as VDC, is being disseminated, getting to know the improvements that can be obtained with its application in the management of building projects. The dissemination of the VDC framework will help improve management in building projects.

Keywords: Product, organization, processes, BIM, ICE, PPM.

## INTRODUCCIÓN

Virtual Design and Construction (VDC), es un marco de trabajo creado por el CIFE de la Universidad de Stanford, que permite gestionar proyectos con tres enfoques fundamentales que son: la organización a través de ICE ,conocido como ingeniería concurrente integrada (Integrated Concurrent Engineering); los procesos con PPM, gestión de los procesos de producción (Project Production Management); y el producto con BIM, como modelamiento de información de la construcción (Building information modeling). Este nuevo marco de trabajo está brindando buenos resultados en distintos aspectos de un proyecto a nivel mundial. Es importante, que VDC sea difundido en nuestro país para su conocimiento y aplicación en la gestión de proyectos de edificaciones, no solo por empresas privadas sino también por el sector público. La presente tesis se denomina: “Virtual Design and Construction y la Mejora en la Gestión de Proyectos en Edificaciones”.

En el capítulo I, se presenta el planteamiento del problema que permite a través de la descripción y formulación, describir detalladamente la problemática escogida, que hace referencia a la situación actual de trabajar con una gestión tradicional de proyectos. Se continua con el planteamiento del problema general y específicos que son establecidos en base a la descripción realizada previamente, también se presenta las limitaciones, que han sido detectadas como obstáculos a lo largo de la elaboración de la tesis .Se sigue con la justificación e importancia, que tiene como contenido las razones fundamentales del por qué se ha decidido escoger este tema para la presente tesis y el nivel de importancia que tiene conocer VDC, su funcionamiento y posteriormente ser aplicado a nivel nacional por las empresas del rubro de construcción.

En el capítulo II, se hace referencia al marco teórico, que inicia con los antecedentes del estudio de investigación, información recopilada de fuentes confiables, se continua con las investigaciones relacionadas al tema, que enfocan tesis nacionales e internacionales de los últimos cinco años. Asimismo, se presenta las bases teóricas y científicas que sustentan el estudio, brindando toda la información necesaria sobre el tema escogido y la definición de términos básicos que permitirán tener un entendimiento claro para los siguientes capítulos.

En el capítulo III, se presenta la metodología de la investigación, indicando el tipo, nivel y diseño respectivo de la tesis. Se continua con la presentación del objeto de estudio, haciendo hincapié que se ha requerido el uso bibliografía de fuentes confiables y

originales para llevar a cabo esta tesis, también se menciona la variable usada mediante su definición conceptual y operacionalización respectiva. Asimismo, se continua con las técnicas e instrumentos de recolección de datos, mencionando el tipo de técnicas e instrumentos, criterios de validez y confiabilidad y el procedimiento para la recolección de datos que han sido seleccionados y utilizados para la elaboración de la tesis.

En el capítulo IV, se hace referencia al desarrollo de la investigación en base a nuestros objetivos planteados. Se presenta el funcionamiento de VDC con la finalidad de mejorar en la gestión de proyectos de edificaciones, siendo dividido la variable gestión en tres, gestión del producto, gestión de la organización y gestión de procesos y mediante diversos esquemas dinámicos se pretende facilitar el entendimiento de su funcionamiento en cada área de la gestión. Asimismo, de manera general se ha optado por colocar un ejemplo de aplicación de VDC en el proyecto denominado Villa Deportiva Nacional, denominada VIDENA, de los Juegos Panamericanos 2019, que muestra los resultados obtenidos en el proyecto. De esta manera, se logra cumplir con los objetivos planteados en la tesis.

En el capítulo V, se muestra los resultados obtenidos de la investigación de manera puntual y concisa a través de un esquema particular por cada objetivo específico, se continua con el análisis e interpretación, que permite dar una explicación detallada de los resultados que se tienen y dar respuesta al propósito de nuestros objetivos. Se continua con las conclusiones, indicando que todo lo mencionado anteriormente conlleva a responder a la finalidad de nuestros objetivos de manera clara y concisa. Se añade también recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos, que son necesarios para complementar la comprensión de la presente tesis.

Finalmente, se debe recalcar de manera reiterativa que la realización de esta tesis tiene como propósito difundir este tipo de conocimientos poco conocidos en el país, permitiendo poder optar por un nuevo marco trabajo como es VDC en la gestión de proyectos, dejando atrás el trabajo tradicional, que no permite avanzar y mejorar en la obtención de resultados distintos en los proyectos.

# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1 Descripción y Formulación del Problema General y Especifico

En el panorama actual de la ingeniería mundial se presentan dificultades en la gestión de los proyectos, con un ambiente variable, cambiante y contratos cada vez más agresivos, la mayor parte de la gestión presenta deficiencias.

En el Perú esta situación es de lo más habitual, tanto en entidades públicas y privadas los proyectos presentan una gestión tradicional que no ha cambiado a lo largo de los años. La mayor parte de los proyectos se ejecutan sin un flujo de trabajo, organización y planificación que llegue a cumplirse sin contratiempos y que no requieran retrabajo. El problema de una mala gestión en los proyectos de Edificaciones se debe principalmente a que existen paradigmas en la forma de trabajar y una resistencia al cambio por parte de los profesionales del sector público y privado. Los edificios (el producto) son diseñados y construidos sin definir de manera adecuada las metas del cliente y el proyecto; en la organización de los equipos de trabajo, las empresas y entidades trabajan de manera fractura y segmentada; y, en los procesos de trabajo, no se planifica de la mejor forma la construcción del proyecto y no se logra una integración de sus fases.

Como consecuencia, la mayor parte de los proyectos en la etapa de diseño-construcción y operación presentan una infinidad de problemas y conflictos, donde podemos mencionar los adicionales de obra, las ampliaciones de plazo, las incompatibilidades en el diseño-construcción y uno que no es muy tomado en cuenta que es el alto costo de funcionamiento de un edificio. Según una encuesta realizada a los clientes del Grupo de Integración y Colaboración de la Construcción (GICC) “en el Perú el 63% de los proyectos no llegan al costo, el 44% no llegan al plazo, a su vez el 73% no llegan ni al costo ni al plazo” (Guzman Marquina, 2020).

Como aporte esta investigación busca profundizar y difundir el conocimiento de las funcionalidades de Virtual Design and Construction (VDC) en la gestión en proyectos de edificaciones, en sus tres enfoques principales: el producto, los procesos y la organización, afín de conseguir la mejora en la gestión de los proyectos de edificaciones.

### 1.1.1 Problema General

¿De qué manera el marco de trabajo Virtual Design and Construction (VDC) mejora la gestión en proyectos de edificaciones?

### 1.1.2 Problemas Específicos

1. ¿De qué manera el marco de trabajo VDC mejora la gestión del producto en proyectos de edificaciones?
2. ¿De qué manera el marco de trabajo VDC mejora la gestión de la organización en proyectos de edificaciones?
3. ¿De qué manera el marco de trabajo VDC mejora la gestión de los procesos en proyectos de edificaciones?

## 1.2 Objetivo General y Especifico

### 1.2.1 Objetivo General

Difundir el marco de trabajo Virtual Design and Construction (VDC) con la finalidad de mejorar la gestión en los proyectos de edificaciones a través de una recopilación documental.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

1. Describir el funcionamiento de VDC en la mejora de la gestión del producto en proyectos de edificaciones.
2. Describir el funcionamiento de VDC en la mejora de la gestión de la organización en proyectos de edificaciones.
3. Describir el funcionamiento de VDC en la mejora de la gestión de los procesos en proyectos de edificaciones

## 1.3 Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática

### 1.3.1 Delimitación Temporal

Para el desarrollo de la presente tesis, la recopilación de información del marco de trabajo VDC proviene de distintas fuentes tanto nacionales e internacionales, conceptos que fueron introducidos a principios de la década del 2010 hasta la actualidad.

### 1.3.2 Delimitación Espacial

El material recopilado tanto escrito como audiovisual del marco VDC considera información nacional e internacional para la investigación.

### 1.3.2 Delimitación Temática

La presente tesis abarca VDC en todos los aspectos conceptuales, para una comprensión ideal que es el propósito de la tesis. Se exponen los componentes del marco VDC y su influencia en la gestión en los proyectos de edificaciones junto a ejemplos explicativos de los mismos.

## 1.4 Justificación e importancia del estudio

### 1.4.1 Justificación teórica

La presente tesis se justifica teóricamente porque busca aumentar el conocimiento y la competencia para la utilización del marco de trabajo VDC en la gestión de proyectos, dirigido para los profesionales y los estudiantes de la industria de la construcción. Adicionalmente, se busca mostrar un nuevo enfoque de trabajo en nuestra industria y reemplazar de manera progresiva la forma de trabajo tradicional.

### 1.4.2 Justificación Practica

En el panorama actual que se está difundiendo la digitalización de la construcción es necesario poseer conocimientos solidos de VDC, un marco de trabajo que está siendo aplicado para mejorar la gestión de proyectos, el cual brinda múltiples beneficios como aumento en la productividad de los procesos, trabajo colaborativo integrado, disminución del costo y plazo, el uso de herramientas tecnológicas, disminución de pérdidas, usuarios finales satisfechos, entre otros. Esta variedad de beneficios se viene reflejando en proyectos del extranjero y en algunas empresas privadas de nuestro país.

### 1.4.3 Justificación Social

La presente tesis beneficia a los profesionales y estudiantes de la industria de la construcción al impulsar el aprendizaje de conocimientos nuevos y posteriormente ser capaz de aplicarlos en la gestión de proyectos. Asimismo, se busca una mejora continua en el perfil de la persona. Esta adopción de conocimientos nuevos ayudara a mejorar de forma progresiva la calidad de los proyectos en edificaciones de nuestro país.

### 1.4.4 Importancia

La importancia del presente estudio es difundir información de manera clara y profunda del marco de trabajo VDC, el cual permite mejorar la gestión de proyectos, no de la manera tradicional, sino con un enfoque de trabajo colaborativo, con herramientas tecnológicas y procesos integrados. En esta época de la digitalización de la construcción, es necesario que este tipo de información sea compartida y de fácil acceso, para que las personas que adopten estos conocimientos sean capaces de aplicarlos a proyectos reales. Por ello, se

busca difundir conocimientos y competencias en los profesionales y estudiantes de la industria de la construcción de nuestro país y vean sus múltiples beneficios.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes del estudio de investigación

Fischer (2019). VDC surgió cuando tras una serie de experiencias y reflexiones de Martín Fischer, uno de los creadores, era parte del rediseño del puente Jamestown Verrazano en la localidad de Rhode Island EE. UU, para la compañía VSL dedicada al rubro de subcontrata en ingeniería de post tensados. En el proyecto, el diseñador realizó su entregable final sin considerar aspectos constructivos, en consecuencia, VSL como subcontratista principal, tuvo que asumir costo del uso de andamios para cada tramo y el diseño de ascensores para la subida y bajada de materiales y/o equipos. Fischer tuvo dos reflexiones; la primera, por qué no se anticipó estas actividades en la etapa de diseño y por qué las personas debían esperar hasta que el rediseño y el puente estuvieran terminados para coordinar las etapas del diseño-construcción; y la segunda, por qué el cliente acudía a la oficina de manera muy esporádica y la información era dispersa, no clara y no todos entendían el objetivo del proyecto. Fischer concluyó, que este tipo de problemas, no deben ser parte del futuro de la industria de la construcción, que es necesario la unión de las disciplinas y se debe proporcionar una mejor base de información.

En otro proyecto, denominado escultura de pez dorado, diseñado por Frank Gehry para los Juegos Olímpicos de Barcelona España en 1992, se hizo uso por primera vez de información transferida directamente a los trabajadores en sitio mediante BIM, no se usó papel porque tenían poco tiempo debido al inicio pronto de las olimpiadas. Un año y medio después en 1993, Fischer y su equipo de trabajo de CIFE de la Universidad de Standford lograron construir el primer modelo 3D y 4D para el Centro de Salud del Condado de San Mateo EE. UU. Este fue un proyecto de renovación muy complejo, el único hospital general del Condado de San Mateo que se renovaba por completo y a su vez estaba siendo utilizado donde el modelo 4D fue manejado como una imagen instantánea que realmente ayudó al equipo de diseño y al propietario a comunicarse. Fischer analizó este tipo de situaciones para poder aplicarlas en el futuro de la industria de la construcción.

El trabajo en equipo y las prácticas mencionadas anteriormente, comenzaron a ser recogidas por las empresas del rubro y se dieron cuenta de que lograrían ser más eficientes trabajando juntos. La empresa DPR Construction definió como Big Room a un espacio colaborativo que integra distintas disciplinas de un proyecto, incentiva la búsqueda de soluciones, comprobando, verificando, corrigiendo y realizando cambios de lo que no funciona correctamente. DPR Construction aplicó esta práctica por primera vez el 2004 en el proyecto “Camino Medical Office”, el primer edificio en el mundo donde el propietario dijo que se trabajaría verdaderamente en 4D. Resolver los problemas digitalmente es más sencillo que en la ejecución.

Esta realidad marcó una forma diferente de trabajar juntos, con dirección hacia un proceso diferente y con el objetivo de lograr ahorros en los proyectos. Para esto se necesitaba la colaboración de las personas adecuadas, el análisis del valor para la mejor solución de diseño, lograr que los sistemas se integren (BIM), prefabricación y un flujo de trabajo confiable.

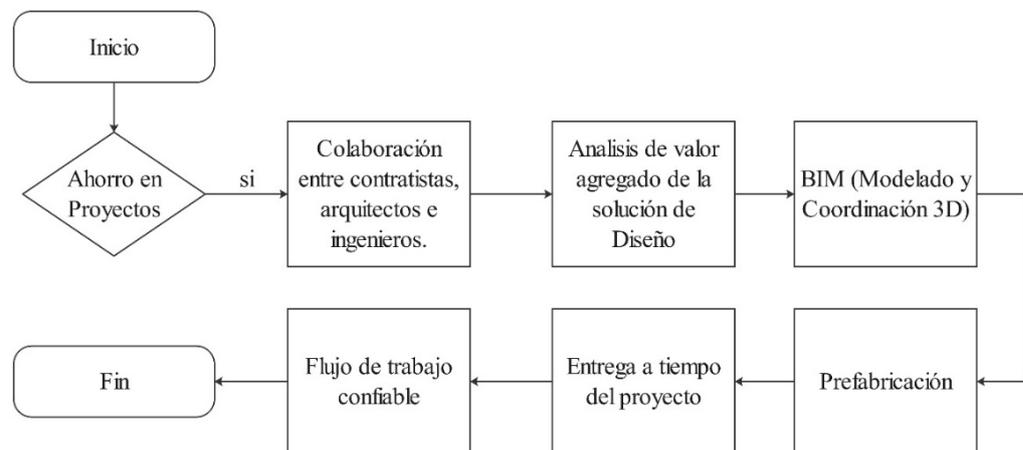


Figura N° 1: Proceso de construcción virtual Lean - DPR Construction

Fuente: Curso VDC – Universidad de Stanford 2019

Tras la construcción de distintos proyectos, en especial el caso del edificio Camino Medical Office, el cual fue trabajado usando este enfoque, se logró obtener grandes beneficios. Se entregó con un 9% menos de costo y seis meses más rápido del tiempo solicitado. Todo esto incentivó a Martín Fischer y a su equipo de trabajo en el CIFE, con toda la experiencia e investigación obtenida, que planteen un esquema de trabajo denominado Virtual Design and Construction popularmente conocido por sus siglas VDC.

En el Perú la industria de la construcción se ha caracterizado por poseer una gestión de proyectos bajo un enfoque tradicional e impreciso. En el transcurso de los años, esto ha ido cambiando de manera progresiva con el empleo de metodologías ágiles en la gestión de proyectos, uno de ellos es la filosofía Lean Construction y las herramientas que se emplean tales como Last Planner System (LPS), Target Value Design (TVD), Choosing by Advantages (CBA), entre otros. En esta época de cambios, se está buscando generar una mejora continua en la industria a través del uso de la tecnología por sus múltiples beneficios.

Alfaro O. (2017) relata los primeros acercamientos a VDC en el Perú:

Por el año 2010 un pequeño grupo del sector de la construcción decide apostar por el uso de BIM en sus proyectos, sin embargo, la expectativa era distinta a la realidad, se usaba BIM pero el esfuerzo no se traducía en resultados, tras ello en el año 2011, tras una serie de experiencias previas y resultados limitados con BIM, los profesionales del país que más dominaban el tema decidieron buscar referencias en donde BIM se use de la mejor forma, encontrándose a VDC como la mejor alternativa, un marco de trabajo creado por el Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) de la Universidad de Stanford, que desde hace décadas busca que los proyectos de construcción tengan buenos resultados en beneficio para todos. El acceso a esta información se obtuvo tras una visita a la empresa constructora DPR Construction en EE. UU.

Red VDC Latinoamérica (2020) relata los inicios de la certificación VDC en el Perú:

En el año 2012 se consiguió la 1era promoción peruana con certificación VDC otorgado por la Universidad de Stanford, iniciado en septiembre del 2012 culminó en diciembre del 2013 con un viaje a la Universidad de Stanford en California donde cada uno de los participantes sustentó la implementación de VDC en sus diferentes empresas, 7 profesionales peruanos pudieron certificarse. El 1er programa fue organizado por la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) y CAPECO con una primera etapa de clases presenciales en Perú a cargo de Martín Fischer, director del CIFE; Leonardo Richmoller, investigador del CIFE; y Roberto Arbulú, director de servicios técnicos de SPS.



Figura N° 2: Certificado en VDC  
Fuente: Red VDC Latinoamérica



Figura N° 3: 1er grupo peruano en certificación VDC  
Fuente: Red VDC Latinoamérica

La segunda edición del programa Internacional VDC del CIFE de la Universidad de Stanford fue culminada en agosto del 2016, donde 13 profesionales peruanos lograron certificarse al aplicar de VDC en las diferentes empresas de la industria de la construcción. En esta edición

participaron por primera vez, diferentes actores de la industria como clientes, propietarios o mandantes y empresas de servicios de tecnología y fue organizada por el Comité BIM del Perú de CAPECO, en colaboración con el Grupo Graña y Montero. La certificación estuvo a cargo de igual manera por; Martin Fischer, director del CIFE; Leonardo Rischmoller, Investigador del CIFE; y Roberto Arbulú, Director de Servicios Técnicos de SPS, donde además se logró una sinergia con principales empresas de diseño y construcción de Europa, Asia y Norte América (p.ej. Bechtel, Skanska, DPR, NCC, Bouygues, Walt Disney Imagineering, etc).



Figura N° 4: 2do grupo peruano en certificación VDC

Fuente: Red VDC Latinoamérica

Posteriormente en el 2019 se dio la tercera Certificación VDC en Latinoamérica, que empezó con veintisiete (27) alumnos y logró certificar a veinte (20) profesionales en la metodología Virtual Design and Construction (VDC) desarrollada por el CIFE de la universidad de Stanford, California, casa de estudios líder mundial en estudios en arquitectura, ingeniería y construcción.

Este esta edición se incorporó, por primera vez, profesionales del sector público y empresas líderes en industrialización con base en tecnología

En esta edición se logró una interacción de cuatro nacionalidades, entre docentes y alumnos, contribuyendo así con la formación de una visión regional y mundial de los participantes en la certificación.

Los instructores de Stanford que participaron en este programa fueron: Martín Fischer director del CIFE, Leonardo Rischmoller investigador del CIFE, y Roberto Arbulú director de Servicios Técnicos de SPS en coordinación con Alexandre Almeida de la Universidad de Lima. Este programa fue organizado por el Center for Integrated Facility Engineering de la Universidad de Stanford y la Universidad de Lima.



Figura N° 5: Aspirantes a la 3era certificación VDC

Fuente: Red VDC Latinoamérica

Actualmente en el 2020, por segunda vez en el mundo después de Noruega, se está realizando un nuevo formato de certificación VDC con la participación de 127 profesionales y a cargo de los profesores Martín Fischer director del CIFE, Leonardo Rischmoller de DPR Construction y en coordinación con Alexandre Almeida de la Universidad de Lima. Para este nuevo formato de certificación se cuenta con la participación de 12 mentores VDC de la Universidad de Stanford que en su mayoría son peruanos certificados anteriormente. En esta edición se logró una interacción de ocho nacionalidades, entre docentes y alumnos, contribuyendo así con la formación de una visión regional y mundial de los participantes en la certificación. Este nuevo formato de certificación busca difundir y promover el VDC de una manera más ágil, buscando así contribuir con la transformación de la industria

de la construcción. Este programa fue organizado por Stanford Center for Professional Development y la Universidad de Lima.



Figura N° 6: Aspirantes a la 4ta certificación VDC

Fuente: Red VDC Latinoamérica

Matos Vejarano (2016). Un ejemplo de la implementación VDC es la realización del proyecto hospitalario “Centro de Salud Chacarilla de Otero”, teniendo como VDC mánager al Ing. Gerardo Matos Vejarano, que perteneció al segundo grupo de certificación. Esta implementación VDC se realizó un poco antes de la ejecución de la obra. La aplicación solo se basó en desarrollar modelos BIM con LOD 300 a partir de los planos en 2D de las especialidades MEP, la práctica de las sesiones ICE para resolver los problemas de diseño-construcción y el desarrollo de modelos 4D para una efectiva coordinación de sistemas MEP. En forma paralela, se realizaron métricas para gestionar las sesiones ICE. Con las practicas VDC se logró resolver las interferencias en el modelo 3D y se optimizo flujos de trabajo en el modelo 4D.

Hijar (2016). Otro ejemplo, es el proyecto “Edificio Residencial Varela” de 8 pisos, un semisótano y una azotea. Este proyecto fue realizado bajo el enfoque VDC a cargo de la empresa Prometheus Ingenieros S.A.C, liderado por su gerente general Rolando Hijar, el cual fue participante de la segunda certificación VDC. La aplicación de VDC se realizó desde el inicio al final del proyecto y

la implementación se basó en congregar a los involucrados en las sesiones ICE, bajo un mismo compromiso, motivación, interés y participación. Se midió con métricas el éxito de cada sesión ICE, también se basó en comunicar y compartir la información mediante el uso de BIM, usando un modelo digital de fácil entendimiento y estableciéndose un mapeo de procesos. Se obtuvo la automatización del proyecto obteniendo metrados, cronogramas, control en obra, detalles y automatización de procesos con software como Revit, Naviswork, etc. También se utilizó como innovación, realidad aumentada a través de un recorrido virtual 360°. Con la aplicación de VDC, se obtuvieron ahorros en costos y disminución del tiempo de ejecución.

COSAPI (2019). Como tercer ejemplo, tenemos al proyecto de gran envergadura Villa Deportiva Nacional (VIDENA) de los Juegos Panamericanos en Lima 2019 realizado por COSAPI. Se decidió aplicar VDC debido al poco tiempo que se tenía para finalizar el proyecto. Se hizo uso de BIM con un enfoque tecnológico como herramienta para visualizar, administrar, analizar y simular la información que se tenía del proyecto en relación con el diseño y la construcción. Esto permitió a través de los modelos, una gestión de la información de los proyectos más efectiva, eficiente y automatizada. Otro elemento de VDC empleado fue la gestión de procesos de producción denominado Project Production Management (PPM), que aborda el mapeo, diseño y optimización de los procesos de trabajo del proyecto, con la finalidad de conseguir sistemas de producción efectivos. Posteriormente, tanto los procesos y la información se integran mediante ICE, que busca reunir a los participantes clave del proyecto (la organización) para realizar el diseño de una forma efectiva, rápida y confiable del producto final como de los procesos. Además, busca la colaboración, entre todos los interesados del proyecto, identificando problemas y buscando múltiples soluciones antes de la ejecución de la obra. Finalmente, se empleó métricas para medir desempeño de la aplicación de VDC en el proyecto. Esto una mejor toma de decisiones frente a la asignación recursos y posteriormente controlar la efectividad de estas decisiones mediante indicadores de producción y resultados. Con VDC, se logró obtener el proyecto de la VIDENA en 18 meses.

En el Estado se está viendo un avance progresivo en el sector público, el 2019 salió el Decreto Supremo N° 289-2019-EF, el cual aprueba disposiciones para la incorporación progresiva de BIM en la inversión pública, publicado en el Diario Oficial "El Peruano". En el año 2020, salió el Decreto N° 007 – 2020-EF, que aprueba los lineamientos para la utilización de la metodología BIM en las inversiones públicas.

Se está iniciando una adopción de BIM en el sector público y privado, es decir nos encontramos como país en una etapa de transición, cambiando poco a poco la manera de trabajar, colaborar, compartir información y como entregamos nuestros proyectos, por ello se debe entender que solo BIM, no genera el éxito de un proyecto, sino como se explicará más adelante el saber usarlo en VDC si lo genera. La información que se tiene sobre VDC, es muy limitada, debido a que existe información muy general y los profesionales que conocen VDC son pocos. Se debe generar un cambio en ello y adoptar esta nueva forma de trabajar, no solo por empresas privadas sino también por el sector público. En el extranjero VDC está generando muchos beneficios en los proyectos de construcción, todo cambio depende de nosotros.

## 2.2 Investigaciones relacionadas al tema

### 2.2.1 Investigaciones nacionales

Rischmoller (2014). Presentó una conferencia titulada “Ingeniería y Gestión de la construcción a través de Virtual Design and Construction” en el III Seminario Internacional Ingeniería Civil-UPC. Se explica acerca de la ingeniería y la gestión de la construcción, donde la ingeniería se resume en los conocimientos y procedimientos constructivos; y la gestión de la construcción, implica la planificación, organización, coordinación y comunicación durante todo el proyecto. Con la ingeniería y la gestión de la construcción se pueden realizar buenos proyectos y satisfacer la demanda de los clientes. El autor menciona un proyecto denominado “Medupi Power Station Project”, una planta de carbón para generación de energía en Sudáfrica, en la cual realizó la implementación VDC con el papel de VDC manager en febrero del 2014. Asimismo, muestra los componentes de VDC. En primer lugar, la modelación del producto, conocido como BIM+, que permite ir más allá de la visualización en 3D hacia la incorporación de todo tipo de información en todos los

diferentes componentes del modelo, o añadiendo dimensiones como 4D, 5D, etc. En segundo lugar, la gestión de la producción o de la construcción, la cual es abordada por Lean Construction y sus herramientas, y, en tercer lugar, la Ingeniería concurrente integrada conocida como ICE que son grupos multidisciplinarios que trabajan de forma concurrente viendo BIM+ y gestión de la producción PPM logrando un entendimiento de la información, alto nivel de colaboración, coordinación e integración enfocados hacia las metas del proyecto y el cliente. En el proyecto mencionado, el objetivo del cliente fue tener una unidad de turbina de energía en un corto tiempo, por lo cual, el proyecto tuvo que ser alineado a ello. El camino de cada proyecto dependerá totalmente del objetivo del cliente. Se logró mejorar la planificación y reducir costos a través de la implementación de VDC. Con BIM+ se realizaron múltiples iteraciones y soluciones hasta llegar a una óptima solución. Con ICE, se creó “the cave”, un espacio con una pantalla grande para sus reuniones multidisciplinarias y tecnológicas. Finalmente, el autor menciona que es importante contar con conocimientos en ingeniería de la construcción, a partir de ello, gestionar y por último aplicar VDC. Todo ello, trabajando juntos, y la implementación de VDC es un proceso muy complejo, demorara su adaptación en el Perú debido al poco entendimiento de las empresas o el rechazo en cambiar la forma de trabajar tradicionalmente.

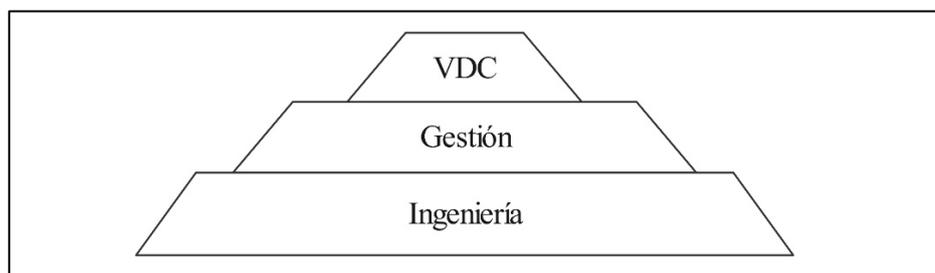


Figura N° 7: Gestión VDC en Ingeniería

Fuente: Conferencia. “Ingeniería y Gestión de la construcción a través de Virtual Design and Construction”, por L. Rischmoller, 2014.

Murgía (2017). Realizo un estudio de adopción BIM en Lima Metropolitana y Callao en edificaciones. BIM en sus inicios era visto solo como un

modelado 3D para detectar interferencias, desde un enfoque tecnológico. Este enfoque de BIM es necesario que cambie en las distintas empresas y a su vez exista un cambio de paradigma e incorporación de este tipo de metodología en la industria de la construcción. La muestra final del estudio fue dividida en 63 conglomerados con los distritos de los 7 sectores urbanos. El estudio representa el 27% de todos los proyectos de edificaciones en ese tiempo. Se realizó una encuesta a nivel de proyecto y encuestado. Se obtuvo un 24.5% de nivel de adopción BIM en edificaciones urbanas en Lima Metropolitana y Callao, es decir uno de cada cuatro obras usan BIM. La adopción BIM por tipos de edificación fue la siguiente: hotel y vivienda masiva entre 60 y 70%, oficina y centros comerciales entre 50%y 70%, centro de salud u otros entre 30% y 40% y edificaciones multifamiliares y centros educativos entre 10%y 20%. El concepto BIM ha sido considerado, por la mayoría de las personas como un enfoque que permite el trabajo colaborativo. Asimismo, solo un 30% de encuestados considera que es fácil desarrollar este tipo de trabajo y la otra parte si poseen una gran expectativa en base al resultado que brinda BIM. Se observa que la mayoría de las profesionales desean usar BIM de acá a 2 años y que la mayor complicación es convencer a la gerencia para empezar adoptar BIM en una empresa.

Murguía (2019). Presenta un estudio de macro adopción BIM en Perú, en el cual se realiza la medición de los cinco modelos planteados por Bill Succar y Kassem en 2015. Dentro del primer modelo, se observa que, en la etapa de modelado en el Perú, no existe estándares nacionales para crear información. Por ello, la información es dispersa y no clara para los miembros del equipo. En la etapa de colaboración se han empezado a usar contratos colaborativos, un gran ejemplo de ello es el Proyecto de los Juegos Panamericanos en el año 2019. La integración del proyecto por parte del equipo de trabajo es baja en tiempo real debido al limitado uso de los servidores o entornos para compartir información. Con este estudio se ve que es necesario el uso de BIM en toda la etapa del proyecto, desde el inicio al cierre.

Martínez Ayala (2019). Presentó una tesis denominada “Propuesta de una metodología para implementar las tecnologías VDC/BIM en la etapa de diseño de los proyectos de edificación”. Es una tesis de enfoque cualitativo y diseño documental, se realizó una búsqueda exhaustiva de bibliografía, revistas, libros sobre el tema de investigación. Se descompone a VDC en los siguientes enfoques: BIM, ICE y Lean. BIM es descrito desde el modelo, sus distintas dimensiones como 4D,5D, etc., asimismo, sus principales herramientas tecnológicas y los softwares más usados en Perú. Lean construcción descrito como principal enfoque reducir desperdicios y generar valor para el cliente. Además, tiene una serie de herramientas que son aplicadas al ámbito de la construcción como IPD y Last Planner System (LPS). ICE, es un espacio donde se unen los profesionales de las distintas disciplinas. Esta propuesta comprende tener a los actores, personas que formaran parte del proyecto, con la capacidad de manejar VDC/BIM. Los subcontratistas y proveedores con las mismas cualidades, para tener un diseño detallado de cada elemento del proyecto. Luego de ello, designar roles y responsabilidades a cada uno. Realizar un cronograma de reuniones ICE, con la finalidad de integrar a todo el equipo del proyecto para trabajar de forma coordinada y buscar múltiples soluciones. Definir el nivel de implementación BIM (LOD y dimensión), realizar un análisis del modelo BIM a través de distintos softwares, detectando incompatibilidades y mejorando la integración del proyecto. La comunicación y la compartición de documentos entre todos debe ser modo estandarizado. Asimismo, realizar un mapeo de los procesos en las reuniones ice y medir con métricas el avance del proyecto. Al final, planificar una serie de entregables finales para el cliente, antes de la ejecución. Se concluye, que la implementación VDC en un proyecto o empresa, requiere un cambio de paradigma en el usuario, fomentar el trabajo colaborativo y el uso de herramientas tecnológicas. Se debe cambiar poco a poco la forma de trabajar tradicionalmente y empezar a usar metodologías como VDC, que proporcionan múltiples beneficios.

Franco de Souza Ferreyra, Galán Tirapo & García Linares (2017). Los autores realizaron un modelo de propuesta VDC para ser implementado en la Constructora Titán, la cual pretende ser abordada desde la etapa inicial hasta el cierre de un proyecto. Esta implementación se basó, en mapear inicialmente la forma de trabajo tradicional de la Constructora para realizar su mejora respectiva. Principalmente, se aplica BIM a un nivel de desarrollo 300, contratando a una empresa especializada, asimismo se realizaron sesiones ICE durante todo el proyecto, en la cual se trabajó de una manera colaborativa entre especialistas, clientes y subcontratistas. Adicionalmente, se midió el desempeño de su implementación a través de métricas aplicadas en el producto, organización y procesos. Finalmente, los autores concluyen que esta metodología permite cumplir con el objetivo del proyecto y del cliente, pues se observa un ahorro en sobrecostos, se facilitó el diseño del producto debido a la tecnología usada en las sesiones ICE, brindando una mejor información y detectando problemas a tiempo.

Padilla Saavedra & Quispe Rodriguez (2017). Presentaron una tesis cuyo objetivo es realizar un análisis del impacto en la disminución de solicitudes de información y no conformidades mediante la implementación de VDC/BIM. Asimismo, lograr disminuir actividades que no agregan valor y generan sobrecostos. Se realizó una comparativa de la implementación VDC con el trabajo tradicional observándose una variabilidad de grandes cambios. En un capítulo los autores hacen mención que VDC, es una metodología que se basa en los objetivos de un proyecto, para disminuir las actividades que no agregan valor, como el tiempo, capacidad e inventarios, a lo largo de las distintas etapas de un proyecto de ingeniería. Preservando la calidad, seguridad entre los miembros del equipo de trabajo y patrimonio y medio ambiente. Su implementación se basó principalmente en definir el modelado BIM a un nivel de detalle en las áreas de estructura, arquitectura y MEP. Asimismo, se realizó un cronograma semanal de las sesiones ICE en la etapa de planeamiento del proyecto para coordinar e integrar a todo el equipo de trabajo. En estas sesiones ICE se buscó disminuir las

solicitudes de información y no conformidad que pudiesen aparecer durante la ejecución. Se realizó una comparativa de la implementación VDC con el trabajo tradicional observándose una variabilidad de grandes cambios. Los autores concluyen, tras su implementación, que se disminuyó a un gran nivel las solicitudes de respuesta e incluso los tiempos de respuesta también redujeron, asimismo durante la ejecución los tiempos de los procesos constructivos, mejoraron debido a que todo el equipo de trabajo tenía claro y definido los procesos y los objetivos, es decir todos alineados hacia la misma meta. Se logró que el cronograma de la obra se adelantará un mes, evitando pérdidas económicas, asimismo tras el uso de VDC/BIM se dieron cuenta que se podía disminuir personas en el ámbito de trabajo por la obtención rápida de metrados, presupuestos, etc. Además, al disminuir estas solicitudes en la etapa de planificación, ayudó que en la etapa de construcción se realicen sobre trabajos.

#### 2.1.2 Investigaciones internacionales

Van Rijsbergen (2013). Presenta un artículo que tiene como objetivo describir de forma general el concepto de VDC y brindar recomendaciones para su aplicación. VDC se centra en tres componentes principales. Estos componentes se consideran presentes en todos los diseños y proceso de construcción: producto, organización y proceso. En VDC el producto tiene una forma visual y medible con el uso modelos, dibujos y simulaciones. A VDC se le da un papel clave en el iRoom, sala de reunión de trabajo colaborativo y multidisciplinario, que permite el uso de modelos POP (producto, organización y proceso) en un proceso de Ingeniería concurrente integrada (ICE). Los iRoom se presenta con múltiples pantallas táctiles. Las partes interesadas son invitadas a utilizar pizarras inteligentes para mejorar y presentar modelos POP y visualizaciones. VDC impone medir el desempeño del producto, organización y proceso con el uso de métricas. Las métricas pueden verse como requisitos y objetivos del desempeño del producto, organización y proceso. VDC no puede ser considerado un método estandarizado porque CIFE no propone estándares para un modelo y

enfoque. Sin embargo, los niveles de implementación de VDC están definidos en tres. El primer nivel es el uso y desarrollo modelos POP y que el equipo de diseño realiza la visualización y métricas del producto, organización y proceso. El siguiente nivel requiere una integración de modelos POP. En el sector de la ingeniería civil esta integración también se conoce como Building Information Modeling (BIM). Esto significa que los datos e información del proyecto de un modelo se intercambia con otros modelos. El tercer nivel se alcanza mediante la automatización de las tareas de las distintas tareas. Se muestra la aplicación de VDC en un proyecto de la empresa Royal HaskoningDHV y sus resultados a través de una entrevista realizada a los stakeholders. Las experiencias son positivas, para ellos el iRoom se consideró útil para desarrollar una solución de gran soporte para el diseño y para examinar las limitaciones espaciales en el proyecto. El uso de la visualización de varias pizarras inteligentes proporcionó un valor agregado al proyecto. Sin embargo, también indicaron que el costo, las estimaciones y el análisis a menudo se consideraron un poco abstracto y de nivel conceptual. Con VDC, Royal HaskoningDHV tiene un método valioso en posesión para activamente involucrar a todos los interesados de manera temprana y tomar decisiones frente a problemas en el diseño y en el proceso de ingeniería y construcción. Por lo tanto, se hace una recomendación para seguir desarrollando la aplicación de VDC en proyectos.

César Ignacio (2011). Presento una tesis denominada “Una metodología de análisis para entender el impacto de las estrategias de implementación del Diseño y Construcción Virtual y su interacción con los principios lean”, cuyo objetivo es plantear una metodología que permita identificar las estrategias de VDC y entender la relación entre estas estrategias y los principios que Lean plantea. Esta metodología de análisis se basó en revisar varias bibliografías, entrevistas con expertos, encuestas, un diseño y su aplicación. Asimismo, este es un análisis de evaluación comparativa que tomo dos métodos matemáticos: Análisis de Envolverte de Datos y Análisis Factorial. El autor ha considerado datos de una encuesta que ha realizado a diferentes empresas que han

implementado VDC. Estos datos permiten obtener las estrategias VDC aplicadas y sus resultados. La metodología propuesta, permite a otras empresas del rubro de la construcción implementar VDC, utilizando los datos resultantes del análisis de evaluación comparativa, entendiendo mejor la relación entre estas estrategias y sus resultados. El autor concluye, que la metodología propuesta permite identificar y cuantificar el impacto de componentes de una estrategia en los procesos, resultados y principios Lean y VDC. La muestra analizada era pequeña (9 empresas) y se logró cuantificar correlaciones con un nivel de confianza suficiente.

Paliacho Jácome (2014). Presento una tesis denominada “Identificar los impactos en los indicadores clave de desempeño (KPI) dentro de la industria AEC por la aplicación de VDC”. La autora hace mención que VDC-BIM es una tecnología innovadora, que favorece la comunicación entre los interesados del proyecto, crea y usa información que permite visualizar de forma óptima el diseño y ayuda en la toma de decisiones de manera anticipada. En la actualidad, los problemas que enfrenta la industria de la arquitectura, ingeniería y construcción son la complejidad, incertidumbre, información poco confiable para la toma de decisiones, imprevistos difíciles de controlar, contingencias difíciles de predecir y poca precisión de la información proporcionada. Todo ello, conlleva a generar una mala gestión en un proyecto. Se realizó la toma de una encuesta a un grupo de cinco empresas que han aplicado VDC. Las encuestas fueron divididas en temarios de tecnología, plazo, costos, calidad, etc. Asimismo, estos resultados fueron procesados por técnicas estadísticas, para el análisis respectivo. Finalmente, se concluye que VDC es una metodología que se debe usar en la provincia de Riobamba-Ecuador, porque brinda múltiples beneficios en las distintas etapas de un proyecto. Se debe tener el conocimiento adecuado de esta metodología, para su aplicación en un proyecto real. Asimismo, permite a los profesionales de hoy y futuros, tener más puertas abiertas para seguir creciendo en el ámbito laboral.

## 2.3 Bases Teórica y científica que sustenta el estudio

### 2.3.1 Proyecto

“Es un esfuerzo temporal emprendido para crear un único producto, servicio o resultado”. (Ocaña, 2013, p.3).

Project Management Institute (2017) define un proyecto como:

Esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. Los proyectos se llevan a cabo para cumplir objetivos mediante la producción de entregables. Un objetivo se define como una meta hacia la cual se debe dirigir el trabajo, una posición estratégica que se quiere lograr, un fin que se desea alcanzar, un resultado a obtener, un producto a producir o un servicio a prestar. Un entregable se define como cualquier producto, resultado o capacidad único y verificable para ejecutar un servicio que se produce para completar un proceso, una fase o un proyecto. Los entregables pueden ser tangibles o intangibles. (p.4).

#### a. Características básicas de un proyecto

Posee las siguientes características básicas: ser temporal, único y tener una elaboración progresiva. Temporal, significa que tiene un principio y un final definido en un periodo de tiempo. Único, significa que se desarrollan para hacer algo (un producto o servicio), que no se ha realizado anteriormente y una elaboración progresiva, que busca llegar al objetivo del proyecto a través de un trabajo arduo y detallado.

## b. Ciclo de Vida de un proyecto

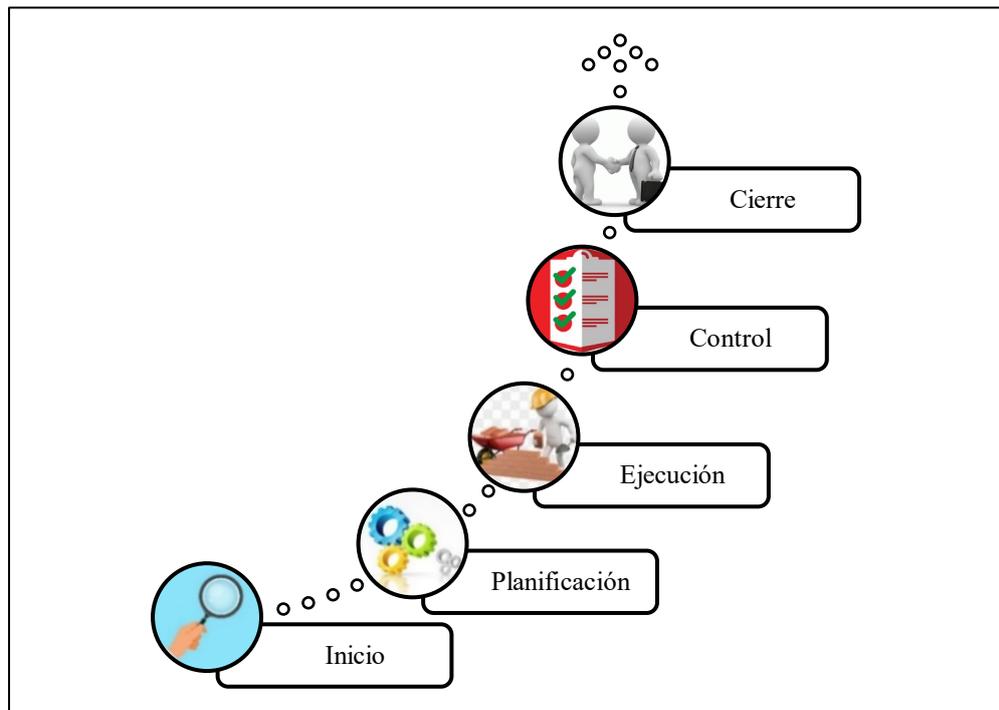


Figura N° 8: Ciclo de vida de un Proyecto

Fuente: Elaboración propia

- 1) **Inicio:** Es la primera fase del ciclo de vida de un proyecto. Aquí se realiza el estudio de viabilidad (técnica, económica y financiera) del proyecto. Por ende, se debe conseguir la aceptación del proyecto por parte del cliente y la empresa que lo ejecutará.
- 2) **Planificación:** Tiene un análisis detallado del alcance y objetivos del proyecto, es decir, se realiza la descomposición del proyecto en actividades, elaboración de un cronograma, estimación de costos, presupuesto. Asimismo, la elaboración de un plan de comunicación entre los interesados del proyecto, un plan de calidad, de seguridad y salud y entre otros.
- 3) **Ejecución:** Con la planificación terminada, se procede a desarrollar el proyecto. Se dirige el proyecto procurando cumplir con la planificación establecida y alineados hacia la meta del proyecto.
- 4) **Control:** Se implementa sistemas de medición para ver el desempeño del proyecto. Se compara el trabajo que se está ejecutando con lo

planificado, para así realizar una evaluación y tomar medidas correctivas apropiadas.

- 5) Cierre: Se formaliza la entrega del proyecto con la aceptación de los entregables y todo lo descrito en el contrato. Se realiza un análisis de lecciones aprendidas.

c. Costos e ingresos de un proyecto

Fisher, W. Ashcraft, Reed, & Khanzode (2017). El proceso actual de entrega de proyectos a menudo intenta optimizar el diseño, el costo y la duración de la construcción (1,2). La reducción del tiempo requerido para el diseño y la construcción beneficia al equipo de entrega del proyecto y al cliente, al terminar temprano, el equipo de entrega del proyecto puede crear más valor al iniciar otro proyecto. El cliente también se beneficia porque puede usar la instalación antes, generando más ingresos o apoyando a otras metas organizacionales. El ingreso total que puede generarse a partir de una instalación no solo depende de su fecha de apertura, por supuesto, sino también de los ingresos que genera la instalación (4) y la duración durante la cual se pueden generar los ingresos (5).

Una duración corta de diseño y construcción que ponga en peligro los ingresos que pueden generar los usuarios del edificio porque esté no está bien distribuido o reduce su longevidad porque los materiales o equipos de construcción no son duraderos serán contraproducentes, aunque los costos y duración del diseño-construcción se reduzcan y los ingresos puedan generarse antes. Además, los propietarios también desearían mantener los costos de operación lo más bajos posible (3), incluidos los gastos de mantenimiento de las instalaciones (por ejemplo, el esfuerzo necesario para la gestión de las instalaciones), los gastos de funcionamiento de los edificios (por ejemplo, los gastos de energía) y los gastos de funcionamiento de las actividades comerciales (a menudo, los sueldos del personal que trabaja en las instalaciones). Por último, en la mayoría de los casos, los propietarios desearían prolongar la longevidad o la durabilidad de una instalación (5).

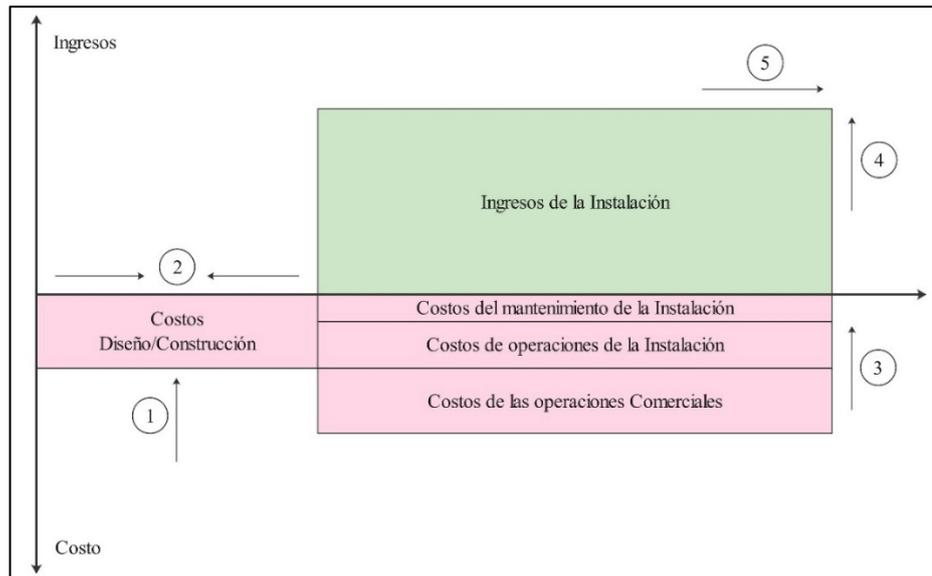


Figura N° 9: Ingresos y Costos del ciclo de vida de un proyecto

Fuente: Adaptado “Integrating Project Delivery”, por Fisher, W. Ashcraft, Reed, & Khanzode (2017, p.75)

El equipo de diseño y construcción no tiene un control total sobre todos los aspectos de estos paquetes de costos e ingresos, pero les da forma de muchas maneras afin de conseguir la mejor opción pensando en las etapas pre y post construcción.

### 2.3.3 El marco VDC

Rischmoller L., Reed D., Khanzode A., Fischer M., (2018). señalan:

Virtual Design and Construction o VDC se desarrolló a través de la investigación durante las últimas dos décadas en el Centro de Ingeniería de Instalaciones Integradas (CIFE) de la Universidad de Stanford. CIFE define Virtual Design & Construction (VDC) como “uso de modelos virtuales-multidisciplinarios y esquemas de producto, organización y procesos, en proyectos de diseño y/o construcción, para lograr las metas del negocio.”

Con base en sus propias observaciones directas e informes de profesionales, los autores creen que VDC es un método muy efectivo para que los equipos de proyecto integren sus conocimientos y creen la información que necesitan para integrar los sistemas de construcción. VDC es el habilitador principal del marco IPD. Los siguientes son los componentes principales de VDC.

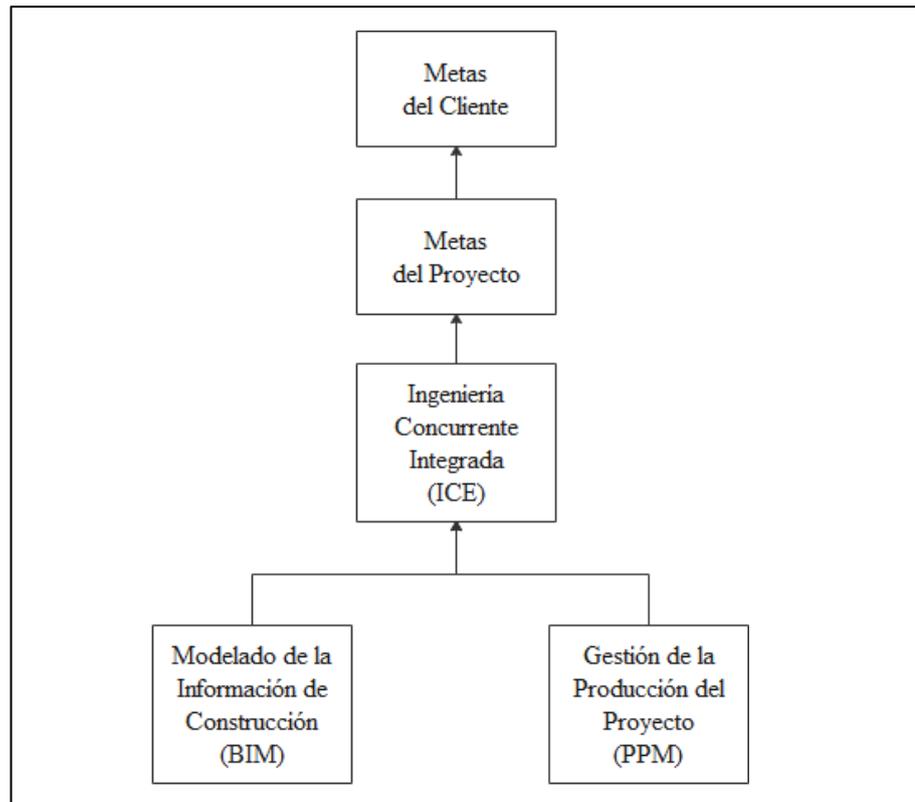


Figura N° 10: Marco de trabajo VDC

Fuente: Adaptado de “Integration Enabled by Virtual Design & Construction as a Lean Implementation Strategy”, por Rischmoller L., Reed D., Khanzode A., Fischer M., (2018)

#### a. Building Information Modeling (BIM)

Rischmoller L., Reed D., Khanzode A., Fischer M., (2018) señalan:

El modelado de información de construcción (BIM) ha demostrado ser muy útil para validar las relaciones espaciales de los componentes y el rendimiento de los sistemas de un edificio. La combinación de BIM con el cronograma, para producir modelos 4D; con datos de costos, para estimar el costo; o con datos de iluminación y energía es lo que los investigadores de VDC llaman "BIM +".

Michael Schrage, escribió en el año 2000 sobre el aumento y los beneficios de los medios de modelos digitales para crear prototipos y simulaciones en compañías como Toyota, Chrysler, Boeing, Hewlett Packard, Caterpillar, GE, etc. y cómo el valor de un prototipo surge de la cantidad de personas que aprenden a medida que crean y prueban modelos en colaboración a lo largo del tiempo. Los miembros del equipo

del proyecto han observado esta dinámica con BIM. Al igual que Schrage, VDC afirma que el valor de BIM reside más en las interacciones que invitan a hacer y menos en los modelos mismos. Los modelos de información de construcción a menudo revelan elecciones que las personas deben hacer, lo que requiere compensaciones que no son evidentes para ellos inicialmente. Los modelos no resuelven problemas de negocios, como tampoco las matemáticas resuelven ecuaciones. La forma en que se utilizan los modelos determina si se resuelven los problemas y cómo se resuelven.

Desde la perspectiva de VDC, la pregunta correcta no es "¿Cómo resolverá el problema esta simulación o modelo?" sino "¿Cómo utilizará esta simulación o modelo el equipo del proyecto para resolver el problema?" Los autores creen que se ha centrado demasiado en la calidad del modelo y no lo suficiente en cómo el uso del modelo cambiará el comportamiento de la organización.

Los modelos de alto detalle pueden ser de poco valor en un proyecto donde los detalles no son importantes, por consecuencia si se invierte dinero y tiempo solo generaran valores marginales para la empresa, todo depende del propósito o la función que tenga el modelo. Si los modelos pueden hacerse más accesibles a través de técnicas de simplificación y visualización, sin socavar su validez, tienen más posibilidades de ser utilizados por diseñadores y constructores en lugar de un grupo relativamente pequeño de especialistas en BIM.

#### b. Project Production Management (PPM)

Rischnoller L., Reed D., Khanzode A., Fischer M., (2018) señalan:

PPM es simplemente la aplicación de la ciencia de las operaciones a los proyectos viéndolos como sistemas de producción temporales. PPM se centra en la organización y el control de las actividades laborales en un proyecto. Proporciona una teoría cuantitativa y predictiva más profunda sobre los límites alcanzables y el diseño de actividades de trabajo, validada por la práctica en varios entornos. La capacidad de modelar y simular actividades de trabajo para establecer los límites de lo que es y no es teóricamente alcanzable, así como la capacidad de inferir criterios

de diseño para optimizar parámetros como el rendimiento, el trabajo en proceso, el tiempo de ciclo y el uso del liderazgo de capacidad directamente a una mejora en el costo, el cronograma y el desempeño del alcance de los proyectos.

PPM como Lean Construction parten del pensamiento Lean, si bien Lean Construction no es un subconjunto de Project Production Management, Project Production Management tampoco es un subconjunto de Lean Construction. Lean Construction, según lo previsto en 1993, tenía varias similitudes con Project Production Management según lo definido por el Project Production Institute (PPI). La siguiente figura a continuación ilustra la evolución histórica de PPM y Lean, enfatizando los fundamentos de la ciencia de operaciones de PPM y Lean.

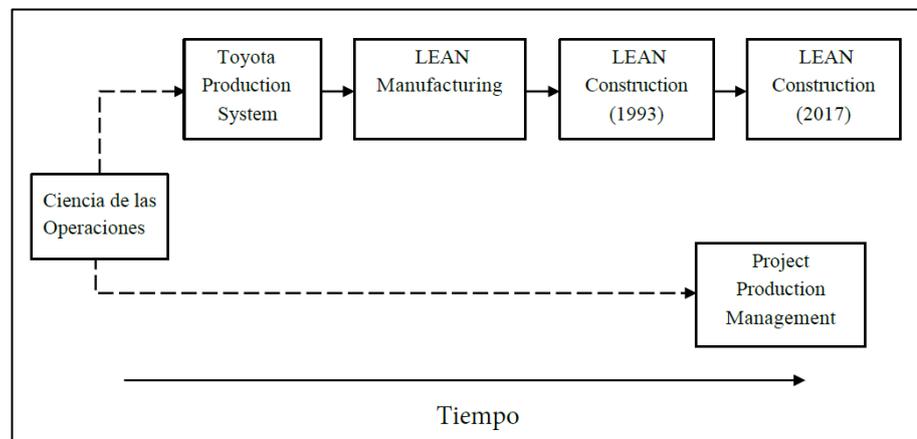


Figura N° 11: Evolución de PPM y Lean Construction

Fuente: Adaptado de "A Comparison of Lean Construction with Project Production Management" por Ram G. Shenoy (2017, p2)

Sin embargo, durante los siguientes 25 años, el concepto de Lean Construction y el de PPM, tal como lo propuso el PPI cuando se fundó en 2013, siguieron caminos divergentes. La diferencia principal se puede entender preguntando cómo se define "sistema" en "sistema de entrega de proyectos" para Lean Construction versus PPM. Lean Construction se centró cada vez más en los factores humanos, principalmente en la gobernanza del proyecto y la organización de las partes interesadas del proyecto, mientras que Project Production Management se centra en la configuración y organización de las tareas de trabajo físico que se

realizan en un proyecto. Lean Construction ha ampliado su marco para cubrir temas de gobernanza de proyectos, como contratos, formas integradas de acuerdos y organización de partes interesadas, como en el Sistema de entrega de proyectos Lean.

VDC combina el enfoque en actividades de trabajo físico en PPM y el enfoque humano de Lean Construction actual, y mejora ambos a través de la introducción de Ingeniería concurrente integrada.

#### c. Integrated Concurrent Engineering (ICE)

Rischnoller L., Reed D., Khanzode A., Fischer M., (2018) señalan:

La Ingeniería Concurrente Integrada (ICE) es un enfoque que rompe el enfoque de décadas de trabajar de forma aislada y hacer reuniones para informar sobre el progreso y los problemas. ICE combina análisis de ingeniería y comunicación de equipo y toma de decisiones, esto aumenta la retroalimentación dentro del equipo de diseño, acortando las iteraciones de diseño y reduciendo el esfuerzo perdido.

Basado en la observación cuidadosa de los métodos de colaboración extrema de la NASA, la facultad e investigadores de CIFE los formalizaron y ampliaron como ICE, y luego incorporaron ICE en el marco VDC. La productividad de ICE se basa en un ciclo de convergencia en sesiones de trabajo colaborativo para compartir información, alinear entendimientos y coordinar acciones, seguido de divergencia para estudios y pruebas adicionales, que se repite hasta encontrar soluciones para problemas de ingeniería. Mientras que las reuniones tradicionales a menudo adolecen de agendas de reuniones vagas, preparación deficiente de los participantes, registro poco claro de las decisiones tomadas y trabajo de seguimiento casual, las sesiones de ICE contrarrestan estos desafíos con una agenda clara con objetivos explícitos, participantes bien preparados y una resolución activa de problemas.

El término "latencia de coordinación", definido como el tiempo transcurrido entre una solicitud de información o acción y el cumplimiento de esa solicitud, se ofrece como una métrica de rendimiento descriptiva, intuitiva y unificadora, destinada a alcanzar un

valor cercano a cero como objetivo de diseño del proyecto. La latencia de coordinación se reduce dramáticamente durante las sesiones de ICE. Las sesiones ICE utilizan modelos de información de construcción y simulaciones como instrumentos de introspección para que los participantes puedan aprender de las conversaciones que de otro modo no tendrían lugar. Precisamente porque las organizaciones son comunidades de personas y no agregaciones de datos, el poder real de BIM utilizado en las sesiones de ICE proviene del cambio de comportamiento a medida que los participantes se involucran con sus modelos. La transparencia introducida por la visualización y la simulación promueve una mayor apertura, lo que a menudo obliga a las personas a reexaminar cómo deben interactuar entre sí. ¿Qué se debe compartir? ¿Qué tan seguro es admitir confusión o fracaso? ¿Cuáles son las reglas de compromiso? Los modelos no solo son esenciales para diseñar productos y procesos de producción, sino que permiten la colaboración.

#### d. Métricas

Rischnoller L., Reed D., Khanzode A., Fischer M., (2018) señalan:

A través de la medición, un equipo puede obtener el control sobre cómo lograr los objetivos de un proyecto. El equipo del proyecto debe traducir los objetivos del cliente en métricas de uso, operación y desempeño de sostenibilidad junto con los de seguridad, calidad, cronograma y costo para medir la constructabilidad del proyecto.

Los objetivos económicos incluyen métricas para el costo del primer ciclo de vida. Los objetivos ambientales incluyen métricas como disponibilidad de hábitat para plantas y vida silvestre, capacidad de retención de aguas pluviales, emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) durante el ciclo de vida o en una fase particular del proyecto, y consideraciones similares. Además de la seguridad durante la construcción, los objetivos sociales pueden incluir el desarrollo de capacidades humanas, la diversidad de la fuerza laboral de la construcción y la interacción y el apoyo de la comunidad. Algunos objetivos se pueden medir, mientras que otros son evaluaciones.

La práctica de VDC va más allá de los resultados del proyecto, que son informes rezagados después del hecho. Las métricas más útiles se centran en factores que los líderes de equipo creen que son importantes, como la participación en la reunión, la cantidad de innovaciones propuestas, el alcance del uso de BIM y la cantidad de criterios de aceptación de calidad acordados conjuntamente. Establecer las métricas son las primeras acciones de VDC una vez que se deciden los objetivos del proyecto y del proceso de trabajo.

#### 2.3.4 El marco IPD

The American Institute of Architects (2006), define IPD como:

IPD es un enfoque de gestión de proyectos que integra personas, sistemas, empresas y prácticas en un proceso que colaborativamente aprovecha los talentos y los puntos de vista de todos los participantes para optimizar los resultados del proyecto, aumentando el valor para el propietario, reduciendo el despilfarro y maximizando la eficiencia a través de todas las fases del diseño, fabricación y construcción. (p.4).

Fisher, W. Ashcraft, Reed, & Khanzode (2017). Presentan un libro denominado Entrega integrada de proyecto (IPD), cuyo marco posee los siguientes elementos y habilitadores que conllevan a lograr edificios de alto desempeño. Para obtener un edificio de alto desempeño necesitamos tener sistemas integrados, para conseguir ello, necesitamos procesos integrados, cuyas personas deben trabajar como una organización integrada y estar vinculadas por una información integrada. Estos elementos para que sucedan es indispensable el uso de la habilitación de VDC y acuerdos y/o contratos que serán mencionados más adelante.

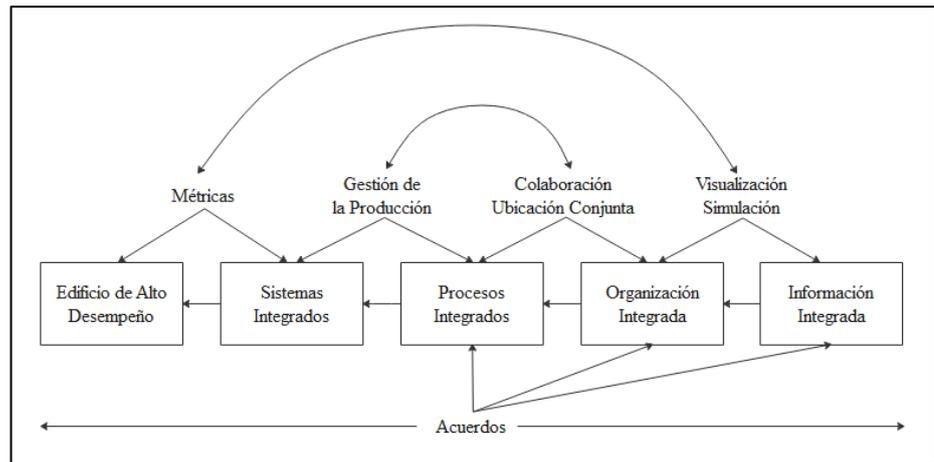


Figura N° 12: Marco IPD

Fuente: Adaptado “Integrating Project Delivery”, por Fisher, W. Ashcraft, Reed, & Khanzode (2017, p.53)

#### a. Edificios de alto Desempeño

Fisher, W. Ashcraft, Reed, & Khanzode (2017). Un edificio de alto desempeño es aquel que logra en su ciclo de vida que el usuario pueda crear el valor que deben ofrecer afin de conseguir que el negocio prospere. Por ejemplo, una universidad debe tener el ambiente adecuado para que los profesores puedan impartir sus clases de la manera correcta y más didáctica, esto le permitirá al dueño de esa Institución lograr beneficios físicos monetarios a su vez beneficios intangibles como una buena reputación que a la larga también contribuirán a los objetivos comerciales. Otro ejemplo es una clínica que debe poder dar un ambiente adecuado para que el personal de la salud pueda ejercer de una manera correcta, que habilite y facilite el trabajo de estos, el valor que ellos y el edificio crean es una mejor atención.

El edificio de alto desempeño se logra con el trabajo conjunto de todos los interesados de los proyectos, estos involucrados deben poner un énfasis en la etapa de diseño, que es aquí donde se tiene más impacto en las etapas posteriores del ciclo del proyecto. La instalación debe permitir a los usuarios crear valor y a su vez ser rentable, el proceso tradicional de generación de edificios de alto desempeño se enfoca en los costos que el proyecto generara en la etapa de diseño-construcción, pero se deja de lado como el edificio se comportara a lo largo de su uso.

Un edificio después de ser entregado dependiendo del uso que se le dé, tiene gastos post construcción que son tres: primero, los costos operativos del edificio, que vienen a ser los gastos que se realizaran para que la instalación funcione, que pueden ser el costo del agua, luz, internet, etc.; segundo, los costos de mantenimiento del edificio, que son es el tratamiento que se da a los activos del edificio para que puedan cumplir con la duración y el funcionamiento por las que fueron incorporados; y tercero, con los costos de las operaciones del negocio, que vienen a ser el salario del personal que trabaja en la instalación, por ejemplo un mesero de un restaurante.

Para que el edificio pueda prosperar los costos de diseño-construcción sumados a estos gastos operativos deben ser menores a sus ingresos. Iniciando por la primera etapa de diseño-construcción se debe tratar de cumplir o mejorar el costo y tiempo, esto beneficiará a ambas partes, un edificio que pueda funcionar antes de lo esperado generará tempranamente beneficios al propietario y a su vez el encargado del diseño y/o construcción podrá continuar a otro proyecto. Al terminar el diseño-construcción el edificio debe ser capaz de cumplir de manera correcta con la duración estimada, una instalación que pueda durar más tiempo generara más beneficios. Es importante que el equipo de entrega del proyecto considere todas las metas y objetivos de rendimiento durante la fase de diseño y construcción.

Un edificio de alto desempeño tiene las siguientes características:

- Construible: El edificio puede construirse de manera segura y efectiva
- Utilizable: El edificio es adecuado para lo que sea que se use
- Operable: El edificio es fácil y eficiente de mantener
- Sostenible: El edificio no daña a las personas o al medio ambiente

#### b. Sistemas Integrados

Un edificio puede funcionar en su nivel de desempeño más alto solo si todos sus sistemas funcionan juntos en armonía, es decir si trabajan en sinergia positiva. (Fisher, W. Ashcraft, Reed, & Khanzode, 2017, p.115).

La sinergia es el trabajo y esfuerzo para realizar una gran tarea, pero también es cuando varias partes de un sistema se unen para lograr un gran objetivo. En el

sector de la construcción, sinergia es generar una edificación que cumpla con los objetivos del cliente y del proyecto. Las disciplinas deben trabajar juntas entre sí, para que el edificio funcione como un todo y no como una suma de partes que no encajan.

Sin una integración temprana en la fase de diseño, inevitablemente se instalarán sistemas que no agregan valor al edificio, no aprovechan las posibles sinergias, o lo peor de todo, funcionan directamente en conflicto con otro sistema. Todo ello, conduce a un mayor costo y, a menudo, a una pérdida de productividad, no solo durante la construcción sino también durante toda la fase de uso del edificio. (Fisher, W. Ashcraft, Reed, & Khanzode, 2017, p.116).

Se puede lograr sistemas integrados haciendo uso del POP, que es una matriz que busca entrevistar a las partes interesadas sobre una variedad de criterios de uso y comodidad del edificio.

#### c. Procesos Integrados

Actualmente, los procesos son realizados de forma lineal, es decir uno después del otro, segregados y aislados. Esta falta de integración conlleva a generar sobrecostos durante la ejecución, al percibir problemas en la integración tardía. Es necesario que todos los interesados den su opinión en la fase del diseño, especialmente al realizar el diseño final. Principalmente se busca una integración temprana de todos los involucrados del proyecto. Los procesos integrados tienen información concurrente, multinivel y abiertamente compartida, que facilita la detección de problemas de manera temprana.

Fisher, W. Ashcraft, Reed, & Khanzode (2017). Existen cuatro procesos principales de vida de un edificio:

- Definición del valor del usuario
- Diseño
- Construcción
- Operación

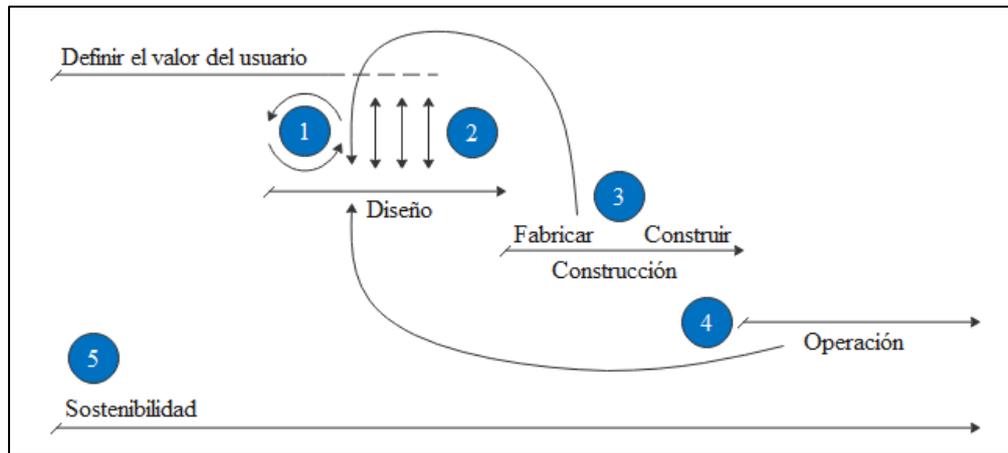


Figura N° 13: Ciclo de vida de un edificio, DPR Construction, Lyzz Schwegler.

Fuente: Adaptado de “Integrating Project Delivery”, por Fisher, W. Ashcraft, Reed, & Khanzode (2017, p.53)

Primeramente, se define el valor para el usuario, luego los diseñadores y los propietarios trabajan juntos mediante múltiples iteraciones de posibles diseños hasta que entienden claramente los objetivos. Se va detallando el diseño e ingresa los constructores y operadores a formar parte del diseño final, teniendo en cuenta que el edificio sea construible. Todo ello, debe buscar a su vez la sostenibilidad en el contexto económico, ambiental y social por parte del cliente. (Fisher, W. Ashcraft, Reed, & Khanzode, 2017, p.61).

Se recomienda el uso de prefabricación fuera de sitio porque permite que los componentes trabajen juntos de manera segura y controlada, reduciendo los costos y mejorando la productividad. Esto requiere aportes de disciplinas de manera temprana, para garantizar que todos los objetivos de desempeño del proyecto y del cliente se mantengan en el camino correcto. (Fisher, W. Ashcraft, Reed, & Khanzode, 2017, p.61).

#### d. Organización Integrada

En el método de trabajo tradicional las personas trabajan de manera dispersa, fragmentada, con objetivos no claros y buscan el beneficio personal y no del proyecto. Además, es impuesta una jerarquización, la cual no contribuye en la colaboración de todos los interesados del proyecto. Esto es un gran impedimento en la búsqueda de mejores resultados en los proyectos.

Un elemento de IPD es la organización integrada, que significa tener a las personas adecuadas de las distintas disciplinas alineadas con los mismos

objetivos, trabajando de manera colaborativa e integrada. Las personas adecuadas son aquellas con conocimientos y experiencia necesaria, trabajando juntos y formando un equipo integrado. Cada persona en el equipo debe ser capaz de describir su rol y un nivel más profundo comprender como cada pequeña parte de su trabajo contribuye todo. El uso de POP es indispensable para cumplir con este elemento de IPD. (Fisher, W. Ashcraft, Reed, & Khanzode, 2017, p.61).

La verdadera integración requiere un cambio de mentalidad y comportamiento. Actuar como un equipo de expertos estratégicamente reunidos de varias firmas no es suficiente. Deben actuar como si pertenecieran a la misma organización, una que se centre en el bien del proyecto por encima de todo. La estructura de una organización integrada se establece mediante contrato o acuerdo, que será explicado más adelante. No existe una cadena de mando formal, por lo que todos son responsables del proyecto en su conjunto, no solo de su trabajo individual. Además, se busca promover el aprendizaje individual y colectivo, de manera que se genere un coeficiente intelectual mucho mayor a la individual. Se puede utilizar el modelo POP para conectar el trabajo que se está realizando, de manera que ayude a mejorar continuamente y tomar las medidas adecuadas.

#### e. Información Integrada

La importancia de la información integrada para IPD no puede ser exagerada; es la columna vertebral y la fuente de la verdad y el conocimiento, lo que permite que un equipo integrado tome las mejores decisiones para el proyecto. Hay varios aspectos principales de lo que llamamos "información integrada", que incluye la consolidación de información fragmentada, el uso extensivo de modelos 3-D, una infraestructura robusta de tecnología de la información (TI) que permite el acceso en tiempo real a la información más reciente y un énfasis en tomar decisiones utilizando toda la información disponible. (Fisher, W. Ashcraft, Reed, & Khanzode, 2017, p.62).

Una información integrada se caracteriza por operar con un lenguaje común, es decir el uso de estándares, formatos que sean claros y fácil de comprender por todos los interesados del proyecto. Esta información es de fácil acceso, actualizada y consolidada en tiempo real, es única y reutilizable porque permite

su uso por las partes interesadas, para cumplir con los objetivos del proyecto y del cliente. Asimismo, esta información proviene de una fuente confiable, es decir es realizada por una persona capacitada. En pocas palabras, es necesario una información de fácil acceso, actualizada, consolidada y que está en el mismo lugar para todos los interesados del proyecto.

Fisher, W. Ashcraft, Reed, & Khanzode (2017). Presentan habilitadores, para cumplir con una entrega integrada de proyecto. Estos habilitadores comprenden las capacidades de VDC y acuerdos y/o contratos. A continuación, se presenta con mayor detalle cada uno de estos.

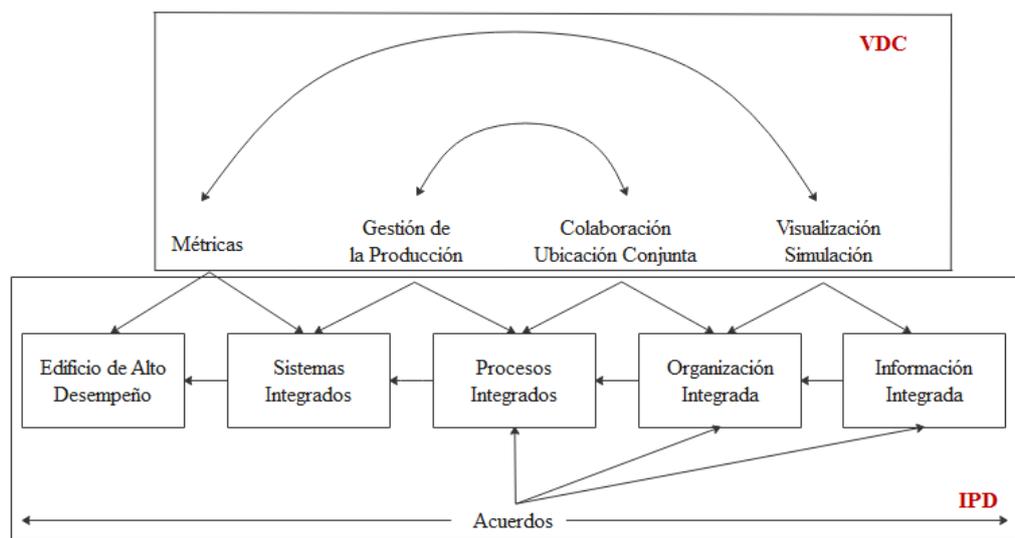


Figura N° 14: Marco IPD (capacidades de VDC y acuerdos y/o contratos)

Fuente: Adaptado del “Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC)”, por Fisher M. (2019)

#### d. Capacidades de VDC en IPD

**Métricas:** permite medir el desempeño de los objetivos del cliente y del proyecto. Nos permite conocer cómo va el avance en las distintas actividades en el proyecto, ayuda a mejorar la producción y tomar mejores decisiones en última instancia. Este habilitador tiene una relación interna con la simulación y visualización, como se observa en el gráfico, debido que mediante el uso de BIM+, permite obtener valores medibles en tiempo real.

**Gestión de la Producción:** denominado también las siglas PPM (Gestión de procesos de producción). Esta capacidad VDC se caracteriza por el uso de técnicas, métodos específicos para producir trabajos de la manera más eficiente

posible. Una de las técnicas más usadas es la filosofía Lean y sus herramientas como Target Value Design (Diseño del valor meta), Last Planner System (Sistema del último planificador), etc. La cadena de valor es constantemente analizada en búsqueda de una mejora continua. PPM tiene como finalidad obtener sistemas totalmente integrados.

Gestión de la organización: denominado también colaboración y coubicación, este habilitador busca producir un producto totalmente integrado, que es trabajado por un equipo rodeado de colaboración bajo una gestión de producción totalmente efectiva y a su vez contar con un entorno que lo permita. Por ello, se destaca Engineering Concurrent Integrated (ICE), que significa ingeniería concurrente integrada, cuyo propósito buscar establecer un lugar físico para el uso de BIM+ y PPM, es decir exista un intercambio de información rápida entre los interesados del proyecto, retroalimentación, los problemas se puedan resolver de manera rápida y tomar mejores decisiones.

Gestión del producto: denominado como visualización y simulación, mediante el uso principal de BIM+ que permite comprender con mayor facilidad el producto, garantizar que el propietario y el equipo del proyecto estén alineados por los mismos objetivos a través de una visualización en 3D. Asimismo, la visualización permite predecir con precisión posibles resultados en un futuro, tras la obtención de valores medibles, es decir, ver si se obtendrán los resultados esperados y por último ver múltiples opciones de diseño para comparar. Es necesario el uso de BIM+, desde una etapa temprana en el proyecto porque genera la comprensión temprana de los objetivos del cliente y del proyecto.

#### e. Acuerdos y/o Contratos

El acuerdo IPD está diseñado para eliminar los impedimentos a la colaboración, alinear los intereses de las partes y fomentar comportamientos que agreguen valor al proyecto. En lugar de prescribir acciones específicas, un acuerdo de IPD bien elaborado utiliza una estructura relacional con riesgo y recompensa compartidos para crear un sistema que permite y refuerza la colaboración inherentemente. Las partes clave dentro de esta estructura de riesgo / recompensa están unidas a través de un acuerdo multipartidista que debe incluir al menos al propietario, diseñador y constructor. El acuerdo también debe incluir consultores y oficios clave, ya sea como firmantes del contrato principal

de IPD o mediante subcontratos de IPD. (Fisher, W. Ashcraft, Reed, & Khanzode, 2017, p.66).

Todas estas capacidades VDC y acuerdos y/o contratos de tipo relacional, interactúan con los elementos de IPD, cuyo objetivo es una entrega integrada de proyectos a través de un edificio de alto desempeño.

#### 2.4 Definición de Términos Básicos

- Virtual Design and Construction (VDC): En español diseño y construcción virtual o VDC por sus siglas en inglés, desarrollado por el CIFE de la Universidad de Stanford en California, es un marco de trabajo que se enfoca en mejorar los resultados de los proyectos de ingeniería para apoyar los objetivos comerciales de las organizaciones.
- Center for Integrated Facility Engineering (CIFE): Es un centro de investigación en la Universidad de Stanford, que trabaja en temas relacionados con la arquitectura, ingeniería y la industria de la construcción para mejorar los resultados de los proyectos.
- Integrated Concurrent Engineering (ICE): En español, ingeniería concurrente integrada, es un enfoque que junta al cliente con los arquitectos, ingenieros, contratistas, fabricantes, especialistas, usuarios y a todas las personas adecuadas para trabajar en conjunto de manera periódica.
- Building Information Modeling (BIM): Modelamiento de la información de la construcción.
- Project Production Management (PPM): En español, gestión de la producción del producto, es una filosofía que usa el pensamiento Lean para la mejora de los procesos.
- Métricas: Sistema de medición para controlar el desempeño.
- Factores controlables: Son las acciones que un equipo se compromete a gestionar y controlar, y están dentro de su alcance, para lograr los resultados deseados en un proyecto.
- Lean: Filosofía y estilo de vida el cual busca eliminar los desperdicios y agregar valor a las acciones del ser humano.
- Big Room: La gran sala, es un lugar donde las personas adecuadas para trabajar en los proyectos se encuentran en una ubicación conjunta para poder integrar a los equipos y procesos.

- Constructabilidad: es la óptima utilización del conocimiento de la construcción, en cuanto a la planificación, diseño y procedimientos en el campo para alcanzar las metas establecidas en el proyecto.
- Usabilidad: es la medida de la calidad de la experiencia que tiene un usuario cuando interactúa con un producto o sistema.
- Sostenibilidad: es la satisfacción de las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas, garantizando el equilibrio entre crecimiento económico, cuidado del medio ambiente y bienestar social.
- Operacionalidad: se refiere si el producto es operable según las expectativas del cliente.

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.1 Tipo y Nivel**

#### **3.1.1 Tipo**

El tipo de la investigación es exploratorio, debido a que se examina un tema poco estudiado del cual se tienen muchas dudas, a su vez que existe escasa bibliografía sobre el tema.

La orientación de la investigación es aplicada, debido a que se explora un nuevo conocimiento que es el marco de trabajo de VDC, para ser operado en la mejora de la gestión de proyectos de edificaciones.

El enfoque de la investigación es cualitativo, porque es un estudio que se concentra más en la comprensión y la profundidad, es decir, entender cómo funciona o cómo se comporta el marco de trabajo de VDC en la mejora de la gestión de proyectos de edificaciones. Asimismo, involucra la recolección de información, utilizando técnicas que no pretenden hacer medición numérica, sino el uso de recopilación y revisión de documentos y datos donde la fidelidad de la información es un aspecto importante.

La fuente de recolección de datos es retroactiva, debido a que la información recopilada proviene de fuentes existentes antes de realizar la presente tesis.

#### **3.1.2 Nivel**

El nivel de desarrollo de la investigación es exploratorio, porque es un tema que ha sido poco estudiado. La investigación exploratoria es flexible y requiere una profunda revisión bibliográfica.

### **3.2 Diseño de investigación**

El diseño de la presente tesis es no experimental transversal. No experimental, porque es un estudio que se basa en difundir un nuevo método de trabajo a través de información recopilada para comprender su funcionamiento con claridad; transversal, debido a que la recolección de información es durante un tiempo determinado.

### **3.3 Objeto y muestra**

#### **3.3.1 Objeto de Estudio**

El objeto de estudio fue todo el material escrito y audiovisual de carácter formal o informal acerca del marco de trabajo VDC y la gestión de proyectos.

### 3.3.2 Diseño Muestral

La muestra principal para la investigación corresponde al material escrito y audiovisual que explicó de manera profunda los elementos e interdependencias de VDC y su forma de gestionar los proyectos de edificaciones.

#### a. Material Escrito

- El libro Integrated Project Delivery (IPD)
- El libro Transforming Design and Construction.
- Las diapositivas del Curso Internacional de VDC organizado por la Universidad de Stanford.
- Investigaciones nacionales e internacionales acerca de VDC en la gestión de proyectos de edificaciones.

#### b. Material Audiovisual

- Los videos de las clases del Curso Internacional de VDC organizado por la Universidad de Stanford.
- Primer Congreso Internacional Virtual Design and Construction.

## 3.4 Variables

### 3.4.1 Definición conceptual de las variables

Tabla N° 1: Identificación de la variable

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Gestión	Aplicación del conocimiento, habilidades, técnicas y herramientas a las actividades de un proyecto con el objetivo de cumplir con los requisitos del proyecto. Ocaña (2013)	Gestión del Producto	Operacionalidad, Sostenibilidad, Usabilidad, Constructabilidad y Métricas BIM
		Gestión de la Organización	Métricas ICE
		Gestión del Proceso	Métricas PPM

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.2 Operacionalización de la variable

Tabla N° 2: Operacionalización de la Variable

OBJETIVOS	VARIABLE
OBJETIVO GENERAL	VARIABLE: Gestión
Difundir el marco de trabajo VDC con la finalidad de mejorar la gestión en los proyectos de edificaciones a través de una recopilación documental.	DIMENSIONES (Descomposición)
	v1: Gestión del Producto v2: Gestión de la Organización v3: Gestión de los Procesos
	INDICADORES (Fundamentos)
	v11: Operacionalidad, Sostenibilidad, Usabilidad, Constructabilidad y Métricas BIM v21: Métricas ICE v31: Métricas PPM
PROBLEMA GENERAL	¿De qué manera el marco de trabajo Virtual Design and Construction (VDC) mejora la gestión en proyectos de edificaciones?
Problema Específico 1	¿De qué manera el marco de trabajo VDC mejora la gestión del producto en proyectos de edificaciones?
Problema Específico 2	¿De qué manera el marco de trabajo VDC mejora la gestión de la organización en proyectos de edificaciones?
Problema Específico 3	¿De qué manera el marco de trabajo VDC mejora la gestión de los procesos en proyectos de edificaciones?
OBJETIVO GENERAL	Difundir el marco de trabajo Virtual Design and Construction (VDC) con la finalidad de mejorar la gestión en los proyectos de edificaciones a través de una recopilación documental.
Objetivo Específico 1	Describir el funcionamiento de VDC en la mejora de la gestión del producto en proyectos de edificaciones.
Objetivo Específico 2	Describir el funcionamiento de VDC en la mejora de la gestión de la organización en proyectos de edificaciones.
Objetivo Específico 3	Describir el funcionamiento de VDC en la mejora de la gestión de los procesos en proyectos de edificaciones.

Fuente: Elaboración propia

### 3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### 3.5.1 Tipos de técnicas e instrumentos

La técnica que se usó fue la recopilación documental de distintas fuentes nacionales e internacionales como artículos científicos, libros, revistas, cursos de especialización y videoconferencias, que anteriormente trataron acerca del marco y de trabajo VDC y sus componentes en la gestión de proyectos de edificaciones.

#### 3.5.2 Criterios de Validez y confiabilidad de los instrumentos

La información recopilada tiene la garantía de provenir de fuentes originales, permitiendo tener confiabilidad de los instrumentos utilizados. No hay criterios de validez.

#### 3.5.3 Procedimientos para la recolección de datos

El primer paso en la investigación de VDC y los proyectos de edificaciones inicio con la familiarización del marco de trabajo y su funcionamiento a través del estudio de videoconferencias e investigaciones de artículos científicos nacionales e internacionales encontradas en internet, esto nos permitió tener los primeros conceptos acerca de que trata y que se consigue con VDC; segundo, recurrimos a libros que traten específicamente sobre VDC para ampliar el panorama de los conceptos y las definiciones; tercero, para poder definir y entender desde la misma fuente, estudiamos las videoconferencias realizadas por Martin Fischer, presidente y profesor del CIFE de la Universidad de Standford, en el curso Internacional de Virtual Design and Construction. Finalmente se recolectó la información de los casos aplicados en el Perú y el mundo para saber los resultados que VDC obtuvo en estos últimos años.

### 3.6 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

La técnica para el procesamiento y análisis de la información es la revisión documental, para ello se ha elaborado una guía de revisión documental incluyendo los siguientes ítems: título, autor, año, idioma, tipo de documento, importancia en el contenido. Esto nos permitirá ordenar la información y delimitarla para su uso en el desarrollo de la tesis.

Tabla N° 3: Guía de revisión documental

<b>Ítems</b>	<b>Definición</b>
Título	Título de la información.
Autor	Apellido e iniciales del autor.
Año	Año de publicación de la información.
Idioma	Idioma de la información.
Tipo de información	Si es una tesis, artículo científico, revista, etc.
Importancia del contenido	Cuan relevante es en el desarrollo de la tesis y por qué.

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo de la investigación se describirán las partes del marco VDC y su influencia en la gestión de un proyecto, dividiéndolas en producto, organización y procesos.

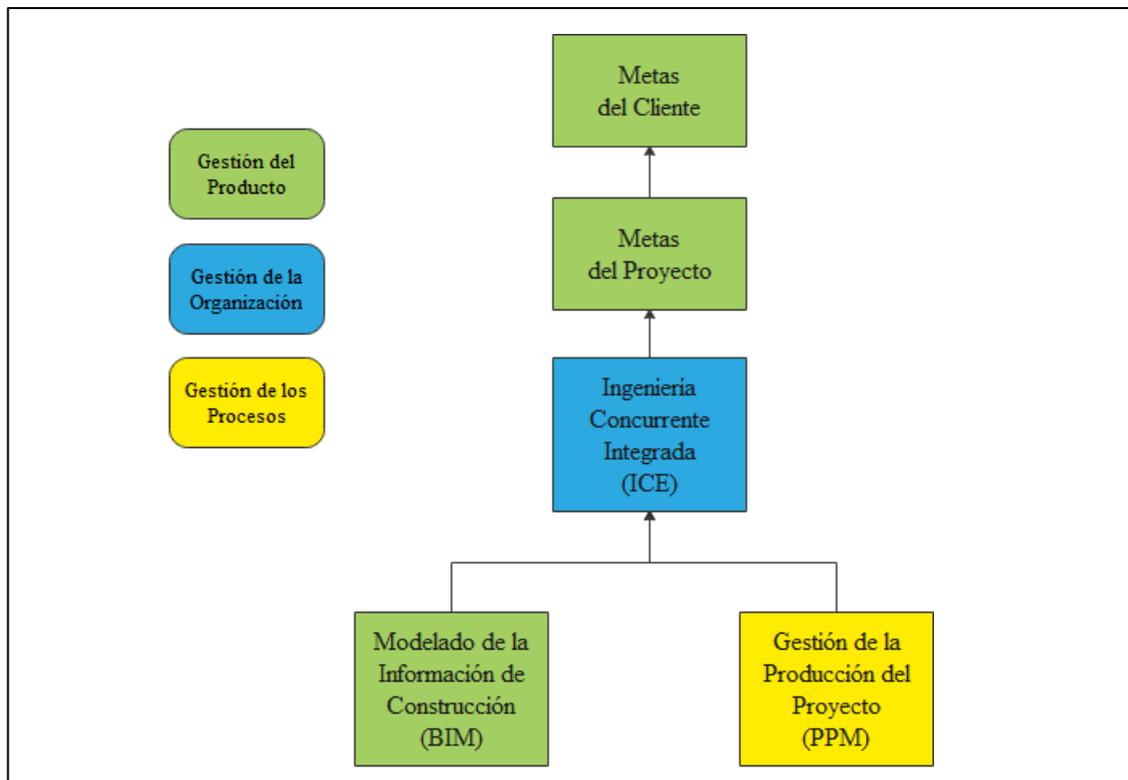


Figura N° 15: El Marco VDC en la Gestión del Proyecto

Fuente: Elaboración propia

### 4.1 La matriz Producto-Organización-Procesos (POP)

Para poder iniciar un proyecto primero uno debe comprender la función de lo que se está diseñando, es decir establecer como debe funcionar. Entonces se tiene que considerar como debe funcionar para satisfacer necesidades. Seguidamente uno tiene recurrir y adaptar la experiencia pasada para concebir su estructura. El diseño involucra tales ciclos de análisis, síntesis y evaluación para establecer la función, estructura y comportamiento de lo que se está diseñando. Lois Sullivan acuñó la frase: “la forma sigue a la función”, pero los edificios rara vez tienen una sola función o requisito de rendimiento, generalmente hay muchas formas posibles de soluciones que abordan los requisitos de función o rendimiento de diferentes maneras. En el mundo real la solución elegida por el proyecto debe optimizar la combinación de tipos de rendimiento consistentes con los valores del proyecto. Para hacerlo el equipo

necesita un marco lógico y consistente que intercepte lo que el equipo puede controlar (las manivelas) y los resultados consecuentes.

Para llevar un enfoque de pensamiento de diseño a las edificaciones, una investigación realizada en el CIFE determino que un equipo de trabajo agrega valor a un edificio al aplicar el pensamiento de diseño a tres enfoques: el producto, la organización y los procesos de trabajo, esta idea destaca que el diseño de un edificio de alto desempeño (producto), depende de las organizaciones y procesos que crean el edificio, en esencia estas son las tres manivelas para modificar los resultados de un proyecto. Un equipo puede modificar las características del producto (lo que se está construyendo), puede cambiar lo que las personas están haciendo (el proceso de trabajo) o puede cambiar la forma en que las personas se organizan a sí mismos.

La matriz CIFE Producto-Organización-Procesos (POP) se puede representar en una matriz 3x3 con las tres preguntas de diseño (función, forma y comportamiento) en eje vertical y las tres manivelas en el eje horizontal.

Este marco debe considerar de manera exhaustiva y exclusiva las variables independientes que el equipo del proyecto puede y debe decidir para crear un edificio de alto valor. Si pensamos en que aspectos de un proyecto de construcción puede controlar el equipo de entrega del proyecto, al menos en cierta medida, nos damos cuenta de que caen dentro de tres categorías: Producto, Organización y Procesos (POP). El equipo puede decidir la forma, la distribución y la composición del propio edificio. Llamamos a estas decisiones, en términos generales, decisiones de producto, ya que se refieren a los componentes físicos (producto) de un edificio. El equipo también puede decidir a quién involucrar, cuándo y cómo. Estas son las decisiones de organización. Finalmente, tiene que decidir qué harán los diferentes participantes del proyecto, cuándo y en qué secuencia. Estas son las decisiones del proceso. Además de definir qué objetivos perseguir y con qué prioridad, estos son los únicos tipos de decisiones que un equipo de proyecto puede tomar. Juntos, darán forma al diseño del edificio y a cómo será diseñado, construido, supervisado, operado, utilizado y readaptado. El valor del marco POP es que es una representación selectiva y colectivamente exhaustiva de un edificio y sus interesados directos a lo largo del tiempo. No sólo trata el diseño de un edificio como un problema de diseño de producto, sino que ve el diseño de un edificio de manera integral como el diseño de producto, organizaciones y procesos de un edificio.

La segunda función de este marco es conectar las aspiraciones del edificio con las decisiones de diseño de POP y el rendimiento previsto y observado. El cuadro muestra este marco, con las tres preguntas de diseño a la izquierda y las tres manivelas para influir en los resultados del proyecto en la parte superior.

Tabla N° 4: Pensamiento de diseño y las variables del proyecto

	<b>Producto</b>	<b>Organización</b>	<b>Procesos</b>
<b>Función</b>	¿Cuál es el propósito/uso?		
<b>Estructura/Forma</b>	¿Cuál es la estructura/forma?		
<b>Comportamiento</b>	¿Cómo lo haremos/actuaremos?		

Fuente: Adaptado de “Integrating Project Delivery”, por Fisher, W. Ashcraft, Reed, & Khanzode (2017, p.79)

Tabla N° 5: La Matriz POP

	<b>Producto</b>	<b>Organización</b>	<b>Procesos</b>
<b>Función</b>	Cómo debería funcionar el edificio	Lo que la(s) organización(es) y las personas deben lograr	Lo que el(los) proceso(s) debería(n) lograr
<b>Forma</b>	La forma del edificio, la disposición, los espacios, los sistemas y los componentes	Empresas, departamentos, equipos, personas	Actividades, tareas, pasos, procedimientos, procesos, flujos de trabajo
<b>Comportamiento</b>	Cómo funciona el edificio	Que tan bien la(s) organización(es) cumple(n) las funciones	Qué tan bien están funcionando los procesos y cronogramas

Fuente: Adaptado del “Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC)”, por Fisher M. (2019)

En resumen, la matriz POP ayuda al equipo VDC a tomar decisiones y perseguir objetivos en base a lo que puede controlar (producto, organización y los procesos)

## 4.2 VDC en la Gestión del Producto

### 4.2.1 Los Objetivos del Cliente y los Objetivos del Proyecto

Definir las metas del cliente es la parte inicial de un proyecto, tener muy claro esos lineamientos ayudan a dirigir el proyecto de la mejor forma y que un edificio pueda catalogarse como de alto desempeño. Se determinó que un edificio cumple con los metas del cliente si se hizo el diseño y la construcción pensando en el uso, el mantenimiento y la sostenibilidad que tendrán en su ciclo

de vida, la definición de los metas del proyecto debe tener en cuenta esos tres factores para entregar un edificio que cumpla de la mejor manera con el cliente y los usuarios del mismo.

La meta del equipo de proyecto es entregar las instalaciones con las consideraciones del cliente, pero a su vez, en la etapa de ejecución tienen que construir el edificio de la mejor forma para los intereses de la compañía, a este factor se le denomina constructabilidad y abarca objetivos como son: la seguridad, la calidad, el presupuesto y el cronograma, que deben definirse para cumplir las metas del proyecto.

En VDC al finalizar un proyecto se deben cumplir tanto con las metas del cliente como con las del proyecto, si bien es cierto las metas del cliente se podrán ver todavía en el transcurso de los años, con el uso de softwares y criterios de diseño se pueden hacer simulaciones de lo que se espera del edificio. Para poder conseguir las metas propuestas VDC emplea el uso de ICE, BIM y PPM como pilares de trabajo.

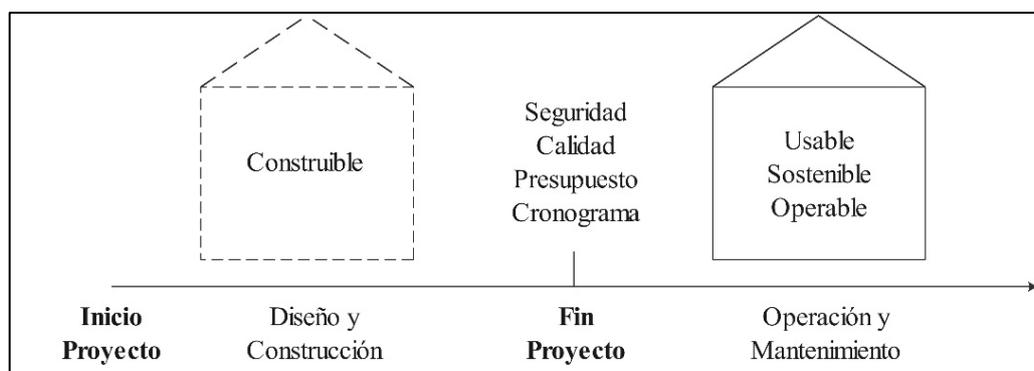


Figura N° 16: Metas en el ciclo de vida del proyecto

Fuente: Adaptado de “Integrating Project Delivery”, por Fisher, W. Ashcraft, Reed, & Khazode (2017, p.88)

#### 4.2.2 El uso de Building Information Modeling (BIM)

Fisher M. (2019). BIM es en esencia parte de VDC y muy a menudo se confunde con VDC. Mucha gente dice “BIM/VDC”, pero esto es incorrecto ya que BIM tiene un rol muy específico dentro de VDC. BIM es una herramienta y VDC es el método que lo rodea. Pero en la práctica, todavía hay mucha confusión en torno a BIM y VDC. Es muy difícil argumentar que se está

haciendo VDC sin BIM, ya que BIM permite saber con seguridad lo que se está construyendo.

BIM es realmente una tecnología, una herramienta como ninguna otra que hayamos visto en la industria, es la primera tecnología que nos permite potencialmente ingresar información solo una vez, porque en una práctica tradicional normalmente debes ingresar cada pieza de información al menos dos veces. Un ejemplo práctico cuando se coordinan dos especialidades y una cambia el diseño, se debe modificar la información de ambas partes para que se trabaje de forma actualizada, esto no es muy complicado de hacer, pero si fueran varias compañías trabajando en el mismo diseño con muchísimas especialidades y tienes que actualizar y recordar en que parte de tu sistema de ingeniería de gestión está la información y en que parte del sistema de comunicación, interfaz social o documentos esta esa información, y es ahí cuando las cosas se salen de control muy fácilmente. Esta es realmente la gran promesa de BIM y por eso cuando alguien dice que BIM es como CAD presentado en los 90s se sabe que no están recibiendo lo que BIM puede hacer, porque el CAD no cambió esa situación.

En términos de lo que debería hacer BIM, puede hacer muchas cosas y es común recibir listas de varios requerimientos que se planean hacer con BIM, que posteriormente se revisan y las cosas que se pidieron y se hicieron fueron pocas. La organización se confunde, por lo que, si una empresa no utiliza BIM para trabajar, entonces se debería empezar asegurando que todo encaje, ya que BIM posee una variedad de usos y utilidades es recomendable lograr una compatibilización de sistemas y especialidades para empezar a usar BIM, desde ahí se puede pasar a hacer otras cosas como la simulación 4D, 5D y así sucesivamente. La idea es no abrumar a la organización con algo que todavía no puede hacer, primero encontrar algo que se pueda hacer y hacerlo realmente bien y luego construir a partir de eso.

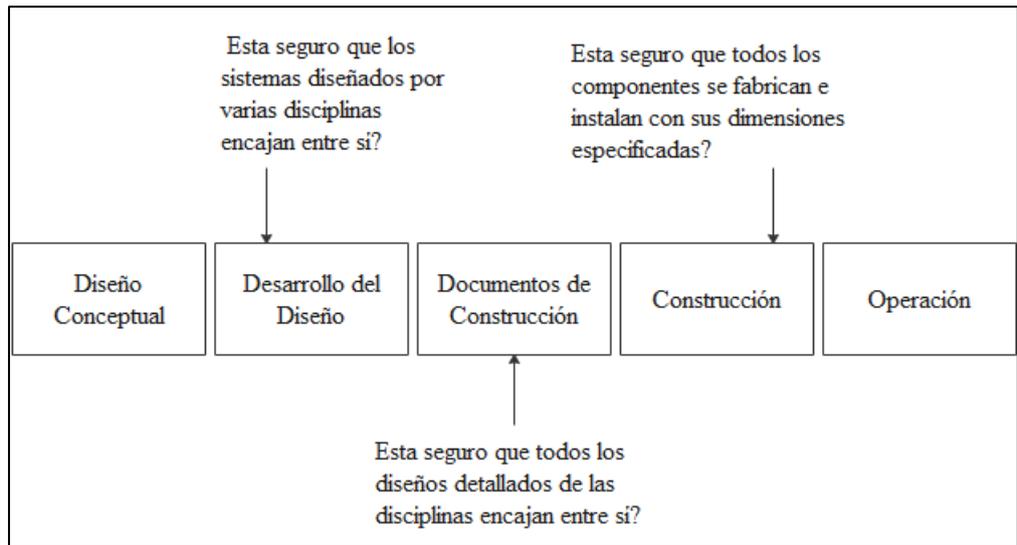


Figura N° 17: Empezando a usar BIM

Fuente: Adaptado del "Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC)", por Fisher M. (2019)

Se puede usar BIM para 3 funciones esenciales en el marco VDC: primero la visualización, que es muy útil para dar entendimiento un grupo de personas sobre el proyecto rápidamente; segundo, se puede usar para integrar la información usando la "I" en BIM; y tercero, puede usarse para automatización usando el modelo virtual que la computadora puede interpretar.

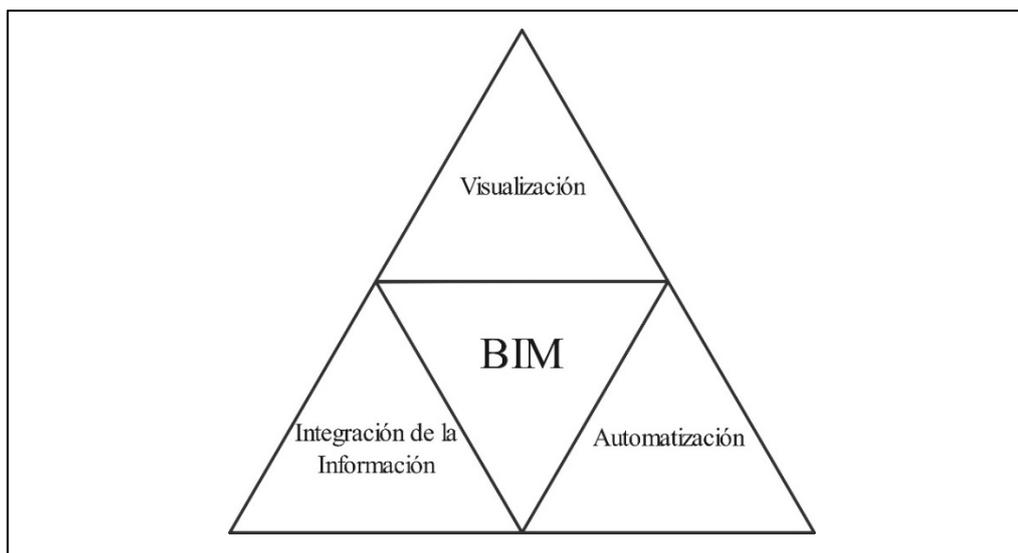


Figura N° 18: Las aplicaciones de BIM en VDC

Fuente: Elaboración propia

#### a. Visualización

Fisher M. (2019). Incluso si el área técnica no genera modelos virtuales, se puede pagar por la generación de un modelo 3D o un modelo BIM en el trabajo, porque la visualización útil se puede usar de inmediato y si se dirige a un problema en particular se puede recuperar la inversión de inmediato.

Un ejemplo que nos da Martin Fischer cuando realizo un piloto junto la Administración de los Servicios Generales de un tribunal en Jackson Mississippi. Lo que hacían normalmente era que alquilaban un espacio de almacén vacío, luego contrataban un grupo de carpinteros para que con madera contra placada hicieran el diseño conceptual en una escala uno en uno, y el juez y su staff puedan ver la sala de audiencias en un tipo de simulacro de tribunal y proporcione unas apreciaciones ya que para un juez de ese país es muy importante como una nueva sala de audiencias debería verse. Este simulacro físico llevaba dos días y luego de ese tiempo ellos daban sus comentarios al arquitecto y por supuesto los comentarios eran mayormente conflictivos porque había comentarios como “este escritorio está muy alto” o “el escritorio está demasiado bajo” porque se lograba mirar de diferentes circunstancias, entonces el arquitecto tenía que averiguar cómo satisfacer los nuevos requerimientos. Se hizo algo diferente así que en un proyecto con simulación 3D hicieron lo que normalmente hacían en dos días en dos horas debido a que se tuvo una guía de todas las cosas que debían revisarse y lo hicieron en dos horas juntas para que

tuvieran comentarios consistentes. Se vieron diferentes escenarios, perspectivas, personas que tienen que trabajar en este tribunal de una manera rápida. Así que esas fueron las cosas buenas de esta aplicación en particular, por otra parte, lo que no les gustó es que no se puede sentir un recorrido físico, que, por supuesto no se podría hacer, pero aun así dos horas frente a dos días es un gran cambio positivo donde existe retroalimentación en todo el lugar asegurándose de que todos los puntos están respondidos. Esto demuestra que es inaceptable construir cualquier tipo de instalación importante sin haber puesto al usuario en un entorno virtual y hacer que vivan la experiencia mientras se puedan hacer cambios.

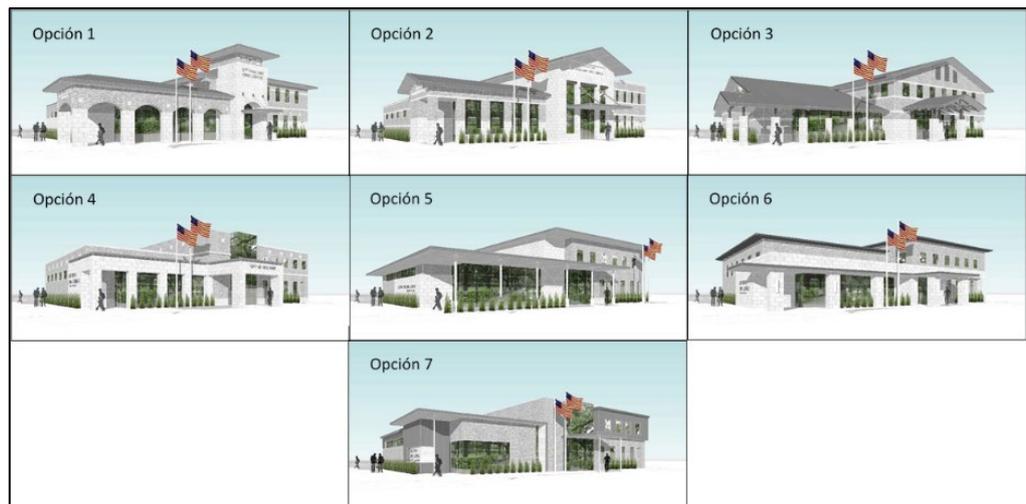


Figura N° 19: La visualización de opciones de diseño BIM

Fuente: Ayuntamiento y Centro Cívico de Bellaire, Texas

La visualización además de conseguir alinear las metas del proyecto con los objetivos del cliente, ayudan a poder ver con anticipación limitaciones y oportunidades al momento de construir el edificio. Por ejemplo, con el modelo BIM se pueden ver y sectorizar las áreas donde el equipo de trabajo y la maquinaria pueda moverse en la construcción y anticipar limitaciones de espacio. También, al tener el modelo en 3D no es necesario tomar una gran cantidad de planos para poder saber si el diseño cumple con los criterios de uso y espacio, ya que lo que se ve es lo que se construirá.



Figura N° 20: Errores de espacio de una escalera  
 Fuente: FB 3M Civil Engineering Solutions 3MCES

En resumen, de la Visualización con BIM podemos decir lo siguiente:

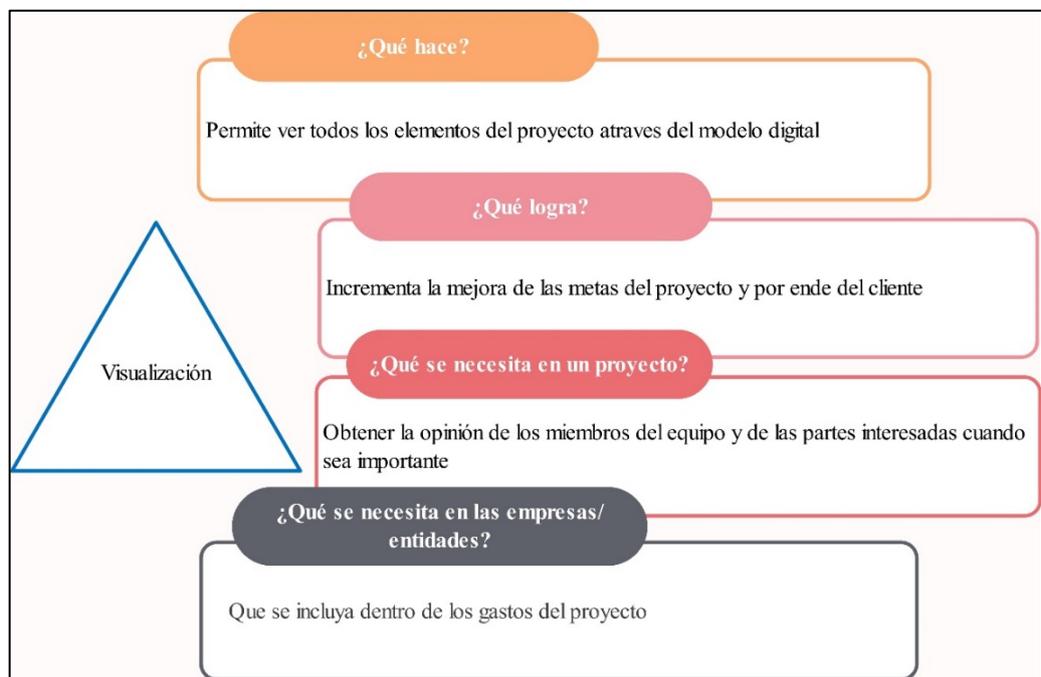


Figura N° 21: La Visualización con BIM

Fuente: Adaptado del “Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC)”, por Fisher M. (2019)

### b. Integración de la Información

Fisher M. (2019). Para poder Integrar la información tenemos que ser precisos con la computadora y eso puede conllevar a errores, se tiene que estar de acuerdo con la terminología, la estructura, los formatos, etc. y luego se tiene que ingresar

la información de una manera particular y no es algo que sea muy simple de hacer, pero, si no se hace, el valor, el uso del sistema seguirá siendo limitado. A pesar de que conseguir la integración de la información requiera una inversión en tiempo y dinero es necesario si se quiere utilizar BIM adecuadamente.

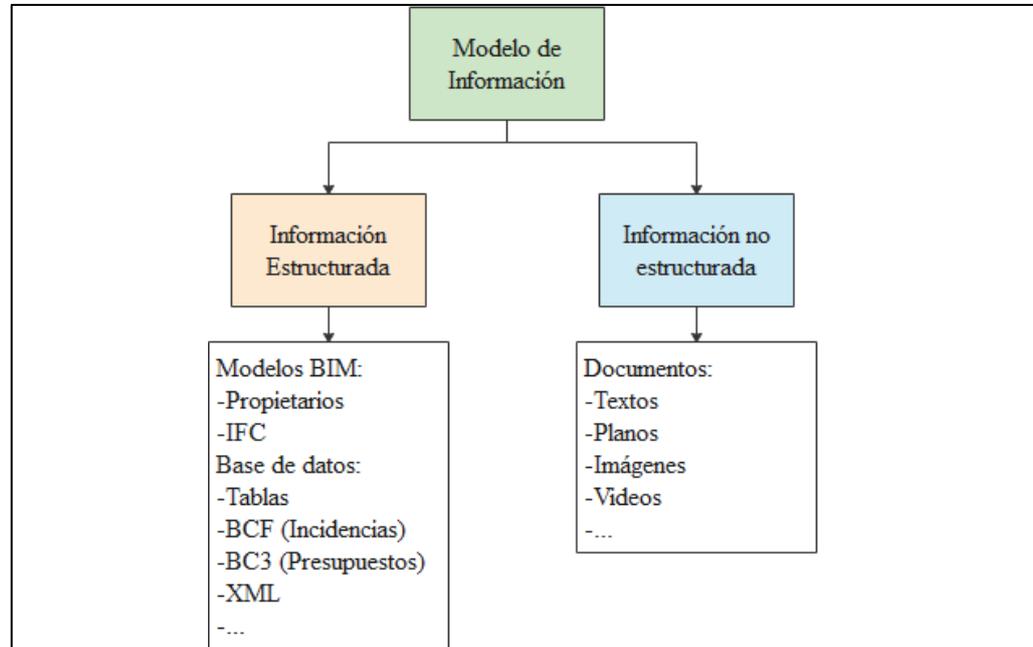


Figura N° 22: Estructura de los modelos de información

Fuente: Coordinación BIM, “Redacción e implementación del BEP”, por Eloi Coloma (2020, p76)

Tabla N° 6: Especificaciones de la Información

<b>Especificaciones de la información</b>	
<b>1. Especificaciones de los modelos de información</b>	<b>2. Especificaciones de los modelos BIM</b>
1.1 Estructura de las carpetas	2.1. Sistemas de coordenadas
1.2 Nomenclatura de los archivos	2.2. Alcance del modelado (LOD, LOI)
1.3 Formato de los archivos	2.3. Criterio de división del modelo
1.4 Idioma	2.4. Criterios de modelado
1.5. Caracteres	<b>3. Especificaciones de los documentos</b>
1.6. Unidades	3.1. Nombre del plano
1.7. Nomenclatura del proyecto	3.2. Cajetín
1.8. Nomenclatura de las fases	3.3. Estilos de presentación
1.9. Nomenclatura de los edificios	
1.10. Nomenclatura de las disciplinas	
1.11. Nomenclatura de subdisciplina	
1.12. Nomenclatura de los agentes	
1.13. Nomenclatura de niveles	
1.14. Clasificación de los elementos	
1.15. Nomenclatura de los tipos constructivos	
1.16. Nomenclatura de materiales	

Fuente: Coordinación BIM, “Redacción e implementación del BEP”, por Eloi Coloma (2020, p76)

Los beneficios de la integración de la información empiezan al momento de usarla ya que siempre se puede tener la información actualizada y en un solo lugar, gran parte del retrabajo se debe al uso de información de diseño obsoleta porque el último diseño simplemente no ha llegado o si lo ha hecho es difícil que se use. Con una buena integración de la información se pueden generar información de programación o costos para poder actuar a través de diferentes escenarios y se pueda elegir la adecuada para proyecto. Un modelo digital con unos estándares y formatos bien definidos puede operar con otros softwares y darle uso con diferentes objetivos, en BIM se han identificado 7 dimensiones.



Figura N° 23: Dimensiones de BIM

Fuente: BIM Barcelona, por Sara Ibañez (2016)

En resumen, de la Integración de la información con BIM podemos decir lo siguiente:

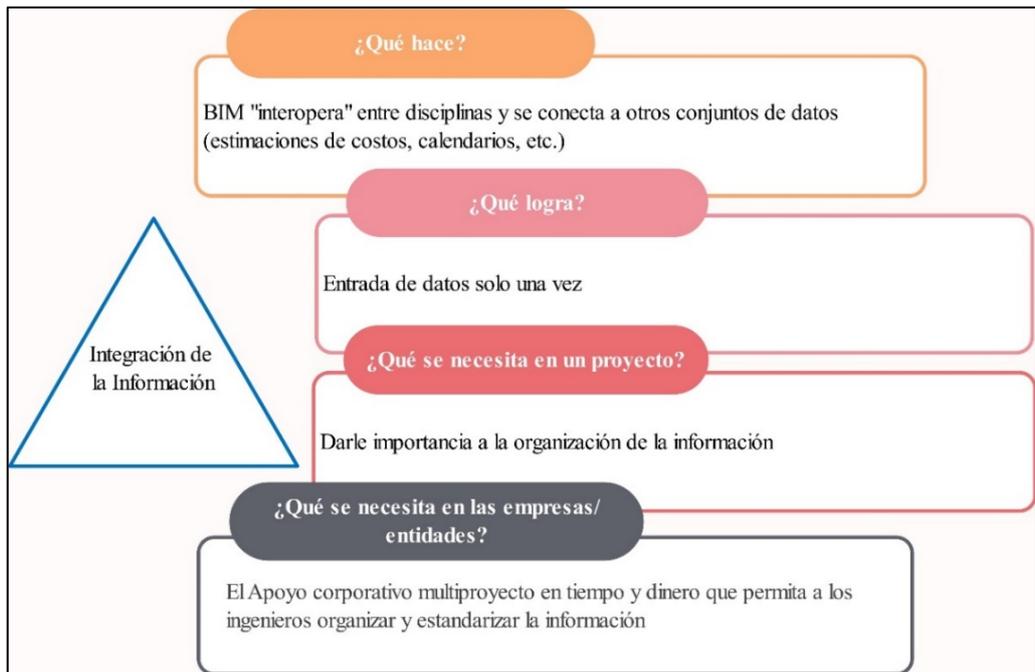


Figura N° 24: La integración de la información con BIM

Fuente: Adaptado del "Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC)", por Fisher M. (2019)

### c. Automatización

Fisher M. (2019). BIM posee la posibilidad de reducir procesos con la automatización, al ser información digital, esta puede manejarse para la generación de elementos de un proyecto. La automatización puede conseguirse en todas las etapas del proyecto, desde la elaboración de un modelo conceptual hasta el mantenimiento de las instalaciones, incluso en la auditoria de los elementos.

Tabla N° 7: Automatización en las fases del producto

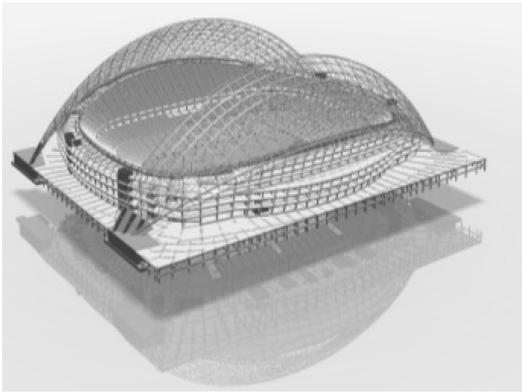
<b>Etapas</b>	<b>Automatización</b>	<b>Resultado</b>
Prediseño	Generación rápida del modelo conceptual	Un mayor entendimiento del proyecto desde el inicio por parte de los involucrados
Diseño	Generación de soluciones y alternativas, rápidas y precisas	Mayor calidad en el diseño del producto
Ejecución	Generación de modelos 3D y 4D de alto detalle para preconstrucción y ensamblaje directo en campo.	Disminución de la variabilidad en obra
Auditoria	Revisión automatizada	El producto final tendrá una altísima calidad al descartar el error humano, a su vez permite un ahorro significativo en tiempo
Mantenimiento	Modelos 3D conectados a softwares para la gestión de los servicios e instalaciones	El producto se comportará de mejor manera durante su ciclo de vida

Fuente: Elaboración propia

La automatización o programación grafica nace de la idea de hacer las cosas mucho más rápidas y en mejorar el rendimiento, en VDC la automatización permite que el proyecto pueda beneficiarse en todas sus etapas.

La ingeniería con las herramientas que se usan en los proyectos no puede competir con una ingeniería con las mismas herramientas, pero conectadas. La automatización te permite conectar distintas herramientas BIM para facilitar la obtención de resultados de una manera más rápida y precisa. A continuación, un ejemplo de automatización, que consistió en optimizar una estructura de acero a través de los componentes de costos.

Tabla N° 8: Ejemplo de Automatización: Armadura del techo de un estadio de fútbol



Diseño de la armadura del techo de un estadio de fútbol

	Ingeniería con herramientas de hoy	Ingeniería con herramientas conectadas
Peso total del acero	2,728 mt	2,292 mt
Ahorro en costo	-	\$4 millones de dólares
Número de alternativas evaluadas	39	12,800
Tiempo de diseño por alternativa	4 horas	3 segundos
Tiempo total de diseño	200 horas aprox.	200 horas aprox.

Fuente: Adaptado del “Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC)”, por Fisher M. (2019)

Se logró obtener un peso del acero mejorado en 8%, el costo disminuido en un 13% y el tiempo de adquisición de los materiales fue disminuido en un 20%.

Tabla N° 9: Resultados de Automatización – Armadura del techo de un estadio de fútbol

	Estructura original	Estructura de ingeniería con valor
Peso total del acero	-	+8%
Costo total	-	-13%
Tiempo de procura	-	-20%

Fuente: Adaptado del “Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC)”, por Fisher M. (2019)

La potencia de la automatización acelera distintos procesos. En el Perú un gran avance en esta área la tiene la empresa TSC Innovation junto a Aceros Arequipa que con el uso de diversas herramientas BIM consiguen diseños precisos y detallados a partir de modelos paramétricos de estructuras metálicas y concreto

armado, esto les permite asegurar la calidad de sus proyectos disminuyendo la variabilidad en el proyecto. A continuación, se presentan algunos proyectos que realizaron:

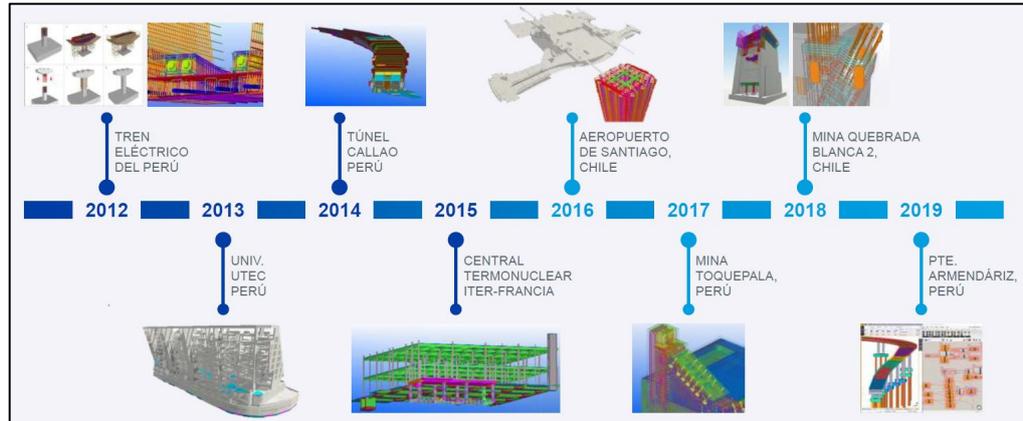


Figura N° 25: Proyectos de Automatización en el Perú por TSC Innovation

Fuente: TSC Innovation, Felipe Quiroz

Para poder automatizar BIM existen herramientas que permiten realizar tareas similares a los que realizaría un programador desde un entorno más sencillo e intuitivo mediante nodos o botones que se van conectando, creando secuencias lógicas. Utiliza las mismas funciones y operaciones que la programación, pero de manera visual. Como ejemplos más destacados están Dynamo y Grasshopper.

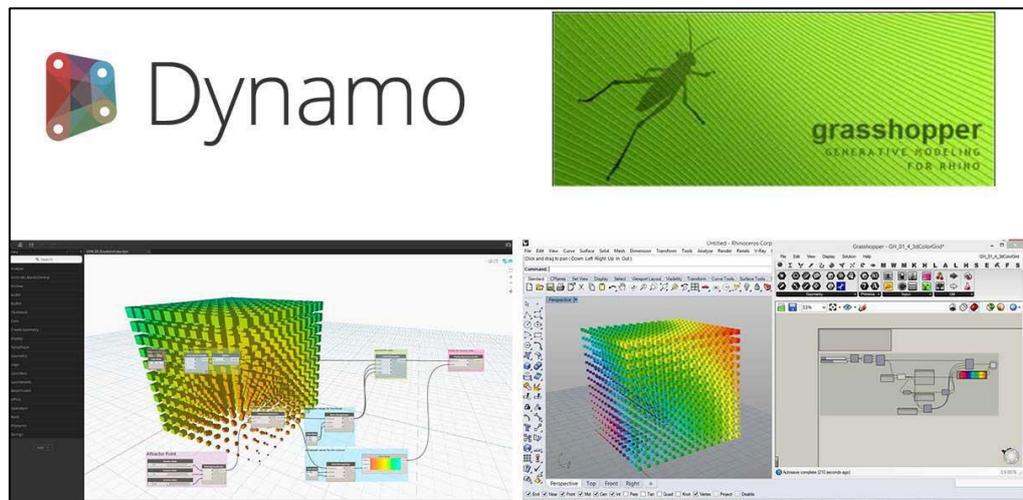


Figura N° 26: Herramientas BIM de Automatización: Dynamo y Grasshopper

Fuente: Google

En resumen, de la Automatización con BIM podemos decir lo siguiente:

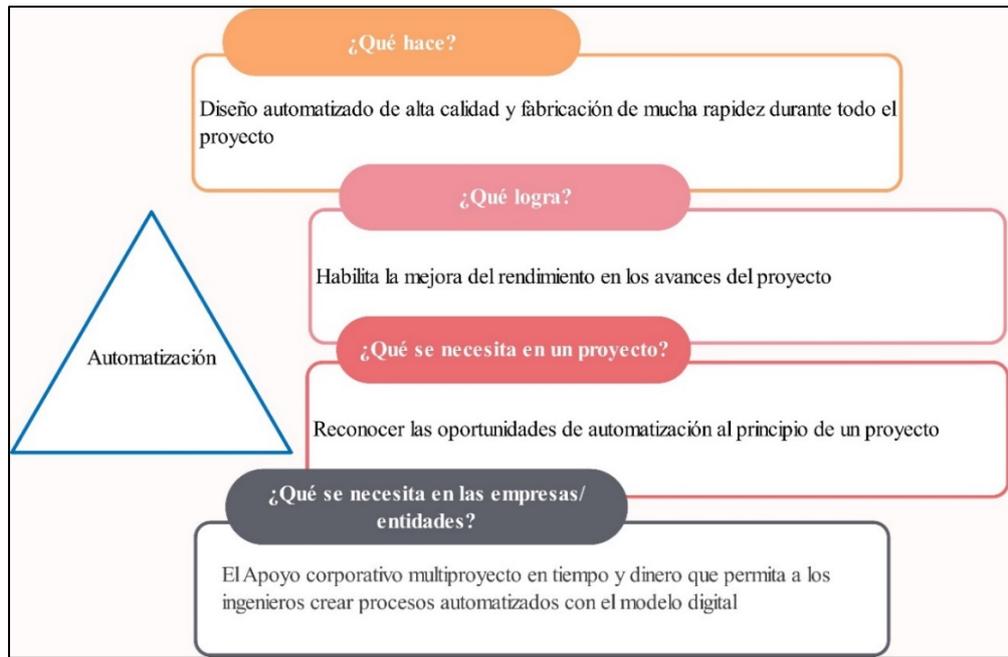


Figura N° 27: Automatización con BIM

Fuente: Adaptado del “Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC)”, por Fisher M. (2019)

#### 4.2.3 Factores Controlables y Métricas de Desempeño

Todo proyecto tiene, dentro de sus limitaciones, decisiones que pueden tomarse con cierta libertad que independientemente de cuales sean cambian su desarrollo en poca o gran medida. Como ejemplo práctico, imaginémonos que somos la organización de una Maratón, donde depende de nuestras decisiones la cantidad de estaciones de hidratación que habrá en la ruta, esto influirá directamente en el rendimiento de los atletas. Lo mismo pasa con los proyectos, donde detectando lo que puede modificarse según nuestras decisiones ayudan a mejorar o empeorar su desempeño. Las métricas nacen para controlar estos factores, medir su desempeño y tomar decisiones respecto a las medidas obtenidas.

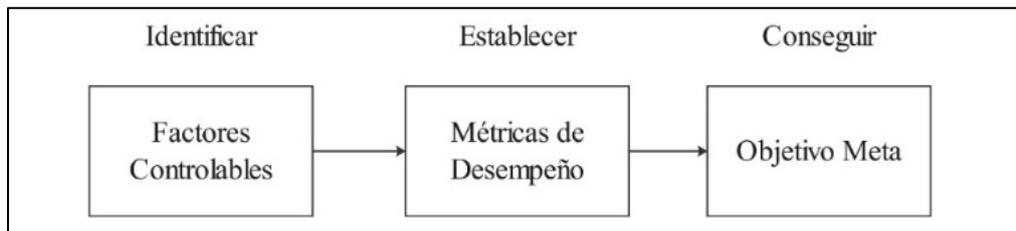


Figura N° 28: Factores Controlables y Métricas de Desempeño

Fuente: Elaboración propia

#### a. Factores Controlables BIM

Se resume que el uso exitoso de BIM depende de un plan integral que pueda controlar lo siguiente:

- Asegurar que todas las partes conozcan claramente las oportunidades y responsabilidades asociadas con la incorporación de BIM al flujo de trabajo del proyecto.
- Enumerar los usos adecuados de BIM, contenido y las herramientas BIM correspondientes.
- Establecer el proceso para la aplicación de BIM en el proyecto incluyendo el tiempo y frecuencia de uso de BIM, intercambio de información y versionado.
- Definir la línea de base o métricas para monitorear y medir el progreso para obtener el valor máximo de BIM.
- Participantes: quien está involucrado y cómo. Quienes son los autores, los revisores y los grandes consumidores o cliente.
- Conectar BIM con ICE, es extremadamente poderoso esta conexión porque permite usar BIM durante las sesiones ICE, con múltiples pantallas, con visualizaciones de múltiples disciplinas resolviendo problemas juntos.

#### b. Métricas de desempeño BIM

##### *Evaluar BIM Antes de su Uso*

Para evaluar el valor de BIM primero se deben identificar los problemas más frecuentes, ver cuáles son las razones más comunes que permiten que este problema sea repetitivo o suceda. Además, se recomienda tener claridad en los roles de las personas y en los entregables antes de su uso. Antes de comenzar a usar BIM se debe evaluar lo siguiente:

Tabla N° 10 Criterios antes de Usar BIM

<b>Criterios de Evaluación antes de usar BIM</b>
Objetivos BIM
Personas involucradas y sus responsabilidades
LOD requerido
Secuencia para desarrollar LOD requerida
Estándares establecidos de nomenclatura e interoperabilidad de sistemas
Protocolos para compartir modelos 3D

Fuente: Adaptado del “Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC)”, por Fisher M. (2019)

Algunos ejemplos de métricas antes de su uso:

- Número de mejoras del último plan BIM
- Porcentaje de Personas involucradas para participar en el plan BIM
- Número de personas que revisan el plan BIM

Esto permite ver si el plan BIM ha mejorado o si se ha tomado el mismo camino anterior sin mejoras.

*Evaluar BIM Durante y Poco Después del Uso*

Podemos ver el impacto de BIM durante su aplicación a través de distintas métricas como, por ejemplo:

Tabla N° 11: Métricas BIM durante su aplicación

<b>KPI</b>	<b>¿Cómo se mide?</b>	<b>¿Cómo lo sabes?</b>
Coordinación en el diseño	Contando las interferencias	95% de resolución de interferencias
Tiempo de coordinación en las reuniones	Midiendo el tiempo de la reunión de coordinación para resolver las interferencias	25% de mejora de la eficiencia en los primeros 6 meses
Retrabajo en los cambios de diseño	Midiendo el tiempo que se tarda en incorporar los rediseños para ayudar a identificar el costo/tiempo asociado	100% de compromiso de todas las disciplinas
Cumplimiento del plan de ejecución BIM	Midiendo el cumplimiento del Plan de Ejecución BIM	Cumplimiento del 100%
Prefabricación	Midiendo el % del proyecto que es prefabricado	% conseguido

Fuente: Adaptado del “Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC)”, por Fisher M. (2019)

Después de su uso con las métricas obtenidas podemos evaluar si en el proyecto:

- ¿Se siguieron los estándares o normas?
- ¿Se predijeron correctamente los resultados con BIM?
- ¿Se integró BIM y la documentación de diseño?
- ¿Se requirió retrabajo BIM?

*Evaluar BIM a Nivel de Proyecto / Empresa*

Para evaluar BIM es necesario realizar un taller de trabajo BIM en el cual se pueda:

- Desarrollar un mapa de procesos de tareas BIM y Pull Plans en equipos interdisciplinarios.
- Identificar interfaces de intercambio de archivos y datos.
- Revisar los acuerdos para documentar responsabilidades y procedimientos de control
- Analizar el diseño del proceso de revisión y fusión de modelos semanales
- Comunicar, compartir valores y formar equipos es el resultado más importante del taller.

### 4.2.3 Mejora en la Gestión del producto

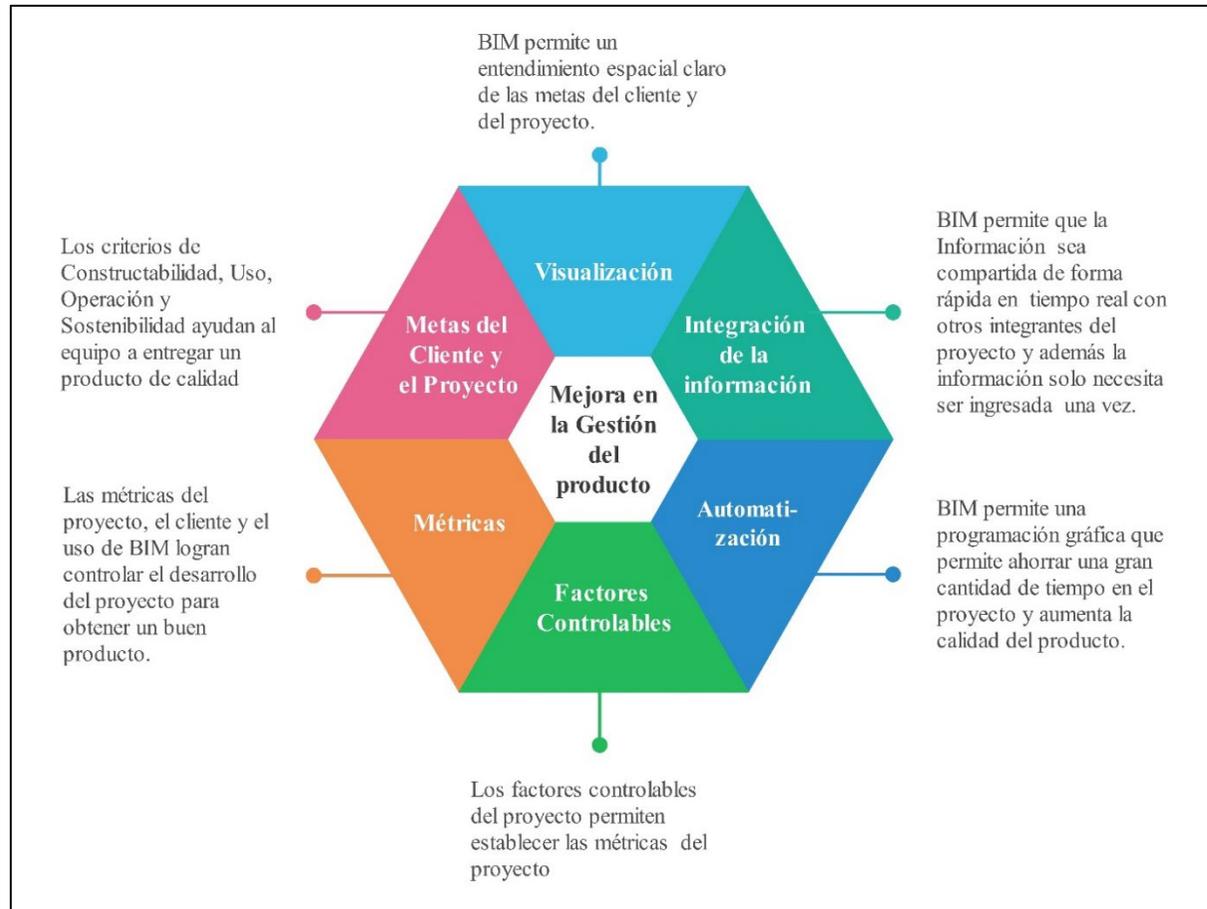


Figura N° 29: Mejora en la Gestión del Producto

Fuente: Elaboración Propia.

## 4.3 VDC en la Gestión de la Organización

### 4.3.1 Propósito de Ingeniería concurrente integrada (ICE)

VDC tiene como segundo componente a ICE para la gestión de la organización. ICE como método social buscan implementar sesiones con equipos multidisciplinarios, que se puedan integrar de manera temprana al proyecto, para alinear las acciones del equipo al logro de reducciones radicales de tiempo, ingreso y salida de información de mayor calidad y un mayor nivel de integración.

#### a. Reducciones radicales de tiempo

La latencia es la métrica de desempeño fundamental, que uno debe buscar reducir en lo más mínimo. En la industria de la construcción, se invierte gran cantidad de tiempo en las respuestas y la toma de decisiones, que suelen generar retrabajos o sobrecostos.

- Respuesta de Latencia: es el tiempo desde que se hace una pregunta para solicitar información hasta recibir una respuesta útil o la información solicitada.
- Decisión de latencia: es el tiempo desde que se hace una pregunta para solicitar información hasta recibir una respuesta útil o la información solicitada.

#### b. Ingreso y salida de información de mayor calidad

ICE integra a las distintas disciplinas de manera concurrente en un ambiente previamente establecido y planificado. Todos los participantes deben asistir a la reunión ICE, teniendo claro los objetivos y su rol. ICE facilita un entendimiento común entre los participantes y una toma de decisiones más rápida y efectiva. ICE garantiza una salida e ingreso de información de mayor calidad.

#### c. Mayor nivel de integración

ICE involucra al producto y los procesos para que trabajen de manera conjunta, alineados por las mismas metas, generando un mayor nivel de integración desde etapas iniciales del proyecto.

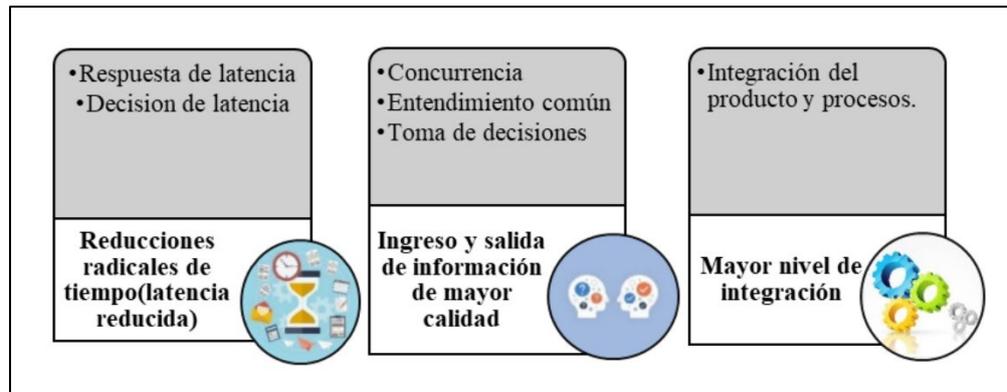


Figura N° 30: Propósito de ICE

Fuente: Adaptado del “Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC)”, por Fisher M. (2019)

#### 4.3.2 Reciprocidad

Fisher M. (2019). En el trabajo tradicional, el flujo de trabajo es caracterizado por ser independiente (trabajo agrupado) o dependiente (trabajo secuencial). Para ICE como componente de VDC es indispensable tener un flujo de trabajo interdependiente, es decir reciproco.

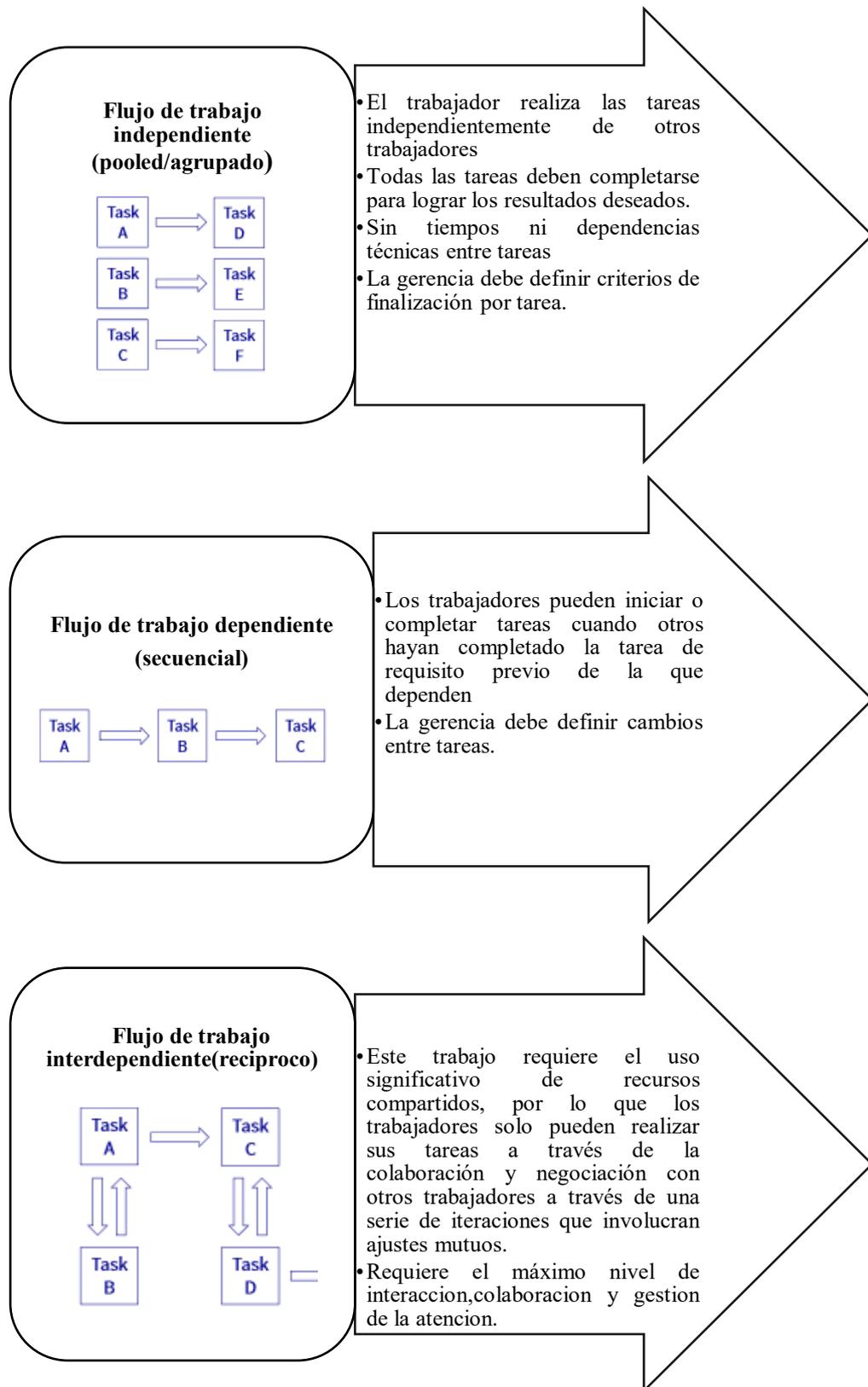


Figura N° 31: Tipos de Interdependencia dentro de una estructura organizada

Fuente: Adaptado de “Integrated Project Delivery”, por Fisher, W. Ashcraft, Reed & Khanzode (2017, p.184)

Fisher, W. Ashcraft, Reed, & Khanzode, (2017). Los tres flujos de trabajo existen en cualquier proyecto. Mientras más rápido se quiera avanzar y los criterios de desempeño del edificio sean más altos, más trabajo recíproco se necesitará. El resultado más importante de la fase de diseño debe ser un estrategia y enfoque bien específico para la fase de construcción. Además, al construir virtualmente usando BIM, ofrece a los constructores la oportunidad de secuenciar anticipadamente el trabajo de una manera que antes no podían. (p.184).

Se conoce que los equipos de trabajo diseñan el producto, la organización y los procesos a través de interacción y colaboración entre ellos. Una vez que los equipos del proyecto están organizados y comienzan a funcionar, la mayoría de las veces deciden trabajar de forma independiente o secuencial, para cumplir con su rol en el proyecto y solo requerir la información cuando lo necesitan a otros equipos en el proyecto. Es decir, el flujo de trabajo independiente o secuencial, generan una exclusión de varios de los interesados en la etapa de diseño. En consecuencia, en la etapa de construcción se genera una interdependencia tardía solo para acelerar el trabajo.

En síntesis, la estrategia es lograr que, durante la construcción, sólo se presenten actividades Pooled (independientes) y Sequential (secuencial) ya que las actividades recíprocas durante la construcción hacen el proceso lento, costoso, inseguro y hasta de baja calidad. Los trabajos recíprocos durante el diseño son valiosos, pero en construcción no.

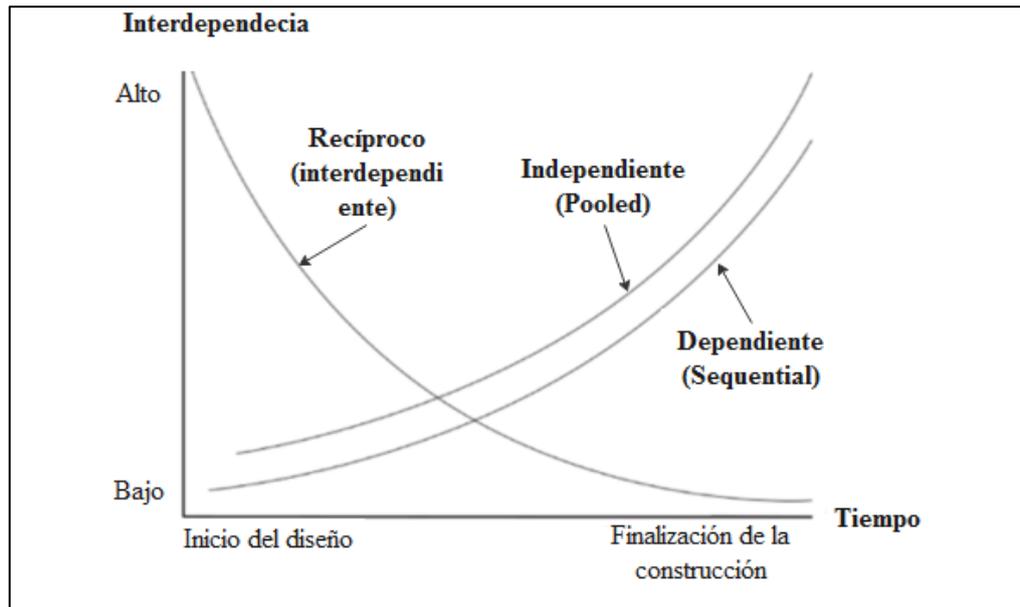


Figura N° 32: Tipos de Interdependencia durante el ciclo de vida de un proyecto

Fuente: Integrated Project Delivery por Fisher, W. Ashcraft, Reed, & Khanzode (2017, p.185)

#### 4.3.3 Modelo acordeón

Fisher M. (2019). Las sesiones ICE son vistas como un modelo acordeón, dónde se puede dividir al grupo de trabajo para abordar subtemas y luego volver a unirlos para crear la base para otro conjunto posible de estas sesiones grupales. Se puede trabajar en paralelo, ser mucho más rápidos en la resolución de problemas, siempre y cuando se esté trabajando bajo coordinación y colaboración. En realidad, este modelo de acordeón se aplica a todo un proyecto, pero también en el contexto de una sesión de ICE. Entonces, aquí vemos en el contexto de una sesión ICE cómo podría tener una revisión, es decir, donde todos están presentes, y la sesión por grupos que recogen e identifican temas para luego ser revisados por todos y así de forma reiterativa.

Cada círculo verde indica una sesión ICE, los círculos azules indican la división de equipos, cada uno de ellos tiene un trabajo pendiente antes de la próxima sesión ICE. Se debe recordar que es necesario el trabajo interdependiente, es decir recíproco entre todos. De esta manera ICE, logra integrar a BIM+ y PPM, realizando por las siguientes actividades:

- Actualizar el plan de producción actual (last planner system)
- Revisar compilaciones digitales (BIM +)
- Sesiones de trabajo

- Programación de producción (planificar y replanificar)
- Crear el próximo plan de producción
- Otros

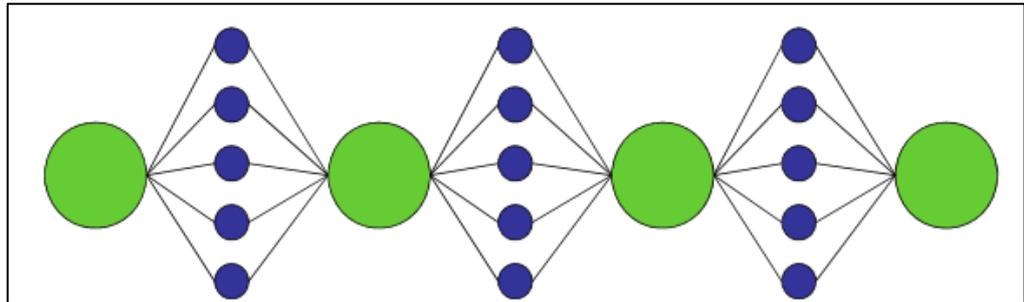


Figura N° 33: Modelo acordeón sesiones ICE.

Fuente: Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC) por Fisher M. (2019)

CB Chng & Eddie (2017). Ambos autores hacen mención del ciclo de ICP Y PCP. ICP significa periodo intensivo de colaboración (Intensive Collaboration Period) y PCP, periodo progresivo de colaboración (Progressive Collaboration Period). En términos de sesiones ICE, estos ciclos pueden aplicarse a cualquiera fase de un proyecto o diseño de un proceso, que involucre la participación de múltiples partes interesadas con la intención de llegar a una solución o resolución lo más rápidamente posible. En la fase de diseño tendría un enfoque más en el ciclo ICP debido al trabajo arduo en la coordinación y colaboración para la obtención de un diseño óptimo para el inicio de la fase de construcción. En la fase construcción, con el diseño óptimo y resolución de issues (conflictos, interferencias, etc.), se obtendría un panorama de trabajo con objetivos claros y todos trabajando alineados hacia los mismos objetivos.

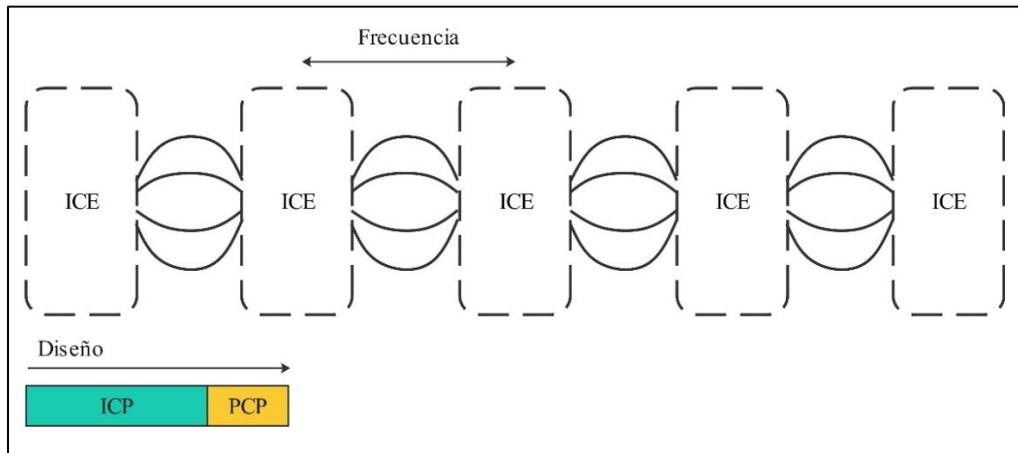


Figura N° 34: Ciclo ICP de sesiones ICE en la fase de diseño.

Fuente: Singapore VDC Guide - © Building and Construction Authority 2017

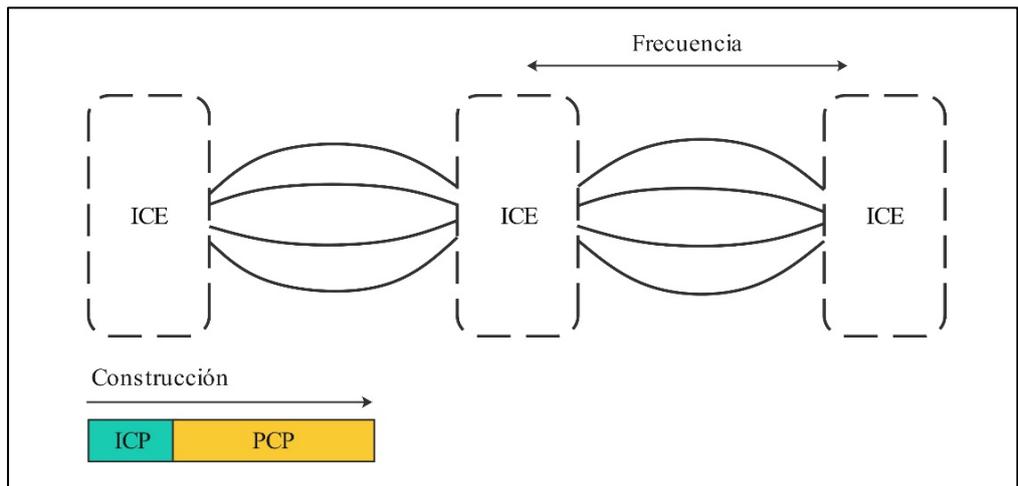


Figura N° 35: Ciclo PCP de sesiones ICE en la fase de construcción.

Fuente: Singapore VDC Guide - © Building and Construction Authority 2017.

#### 4.3.4 Actividades previas a una sesión ICE

Se debe llevar a cabo las siguientes actividades antes de una sesión ICE para garantizar su éxito.

##### a. Definir el propósito de la sesión ICE

Es muy importante que se establezca de manera previa el propósito de una sesión ICE. La definición del propósito refuerza el trabajo de los participantes en la misma dirección y el mismo motivo. Es esencial que esta información sea brindada previamente a los participantes. Además, se debe priorizar la solución de problemas y la toma de decisiones que serán necesarias para alcanzar el éxito de la sesión ICE. El propósito de una sesión ICE implica pasar de una reunión convencional a una reunión basada en colaboración.

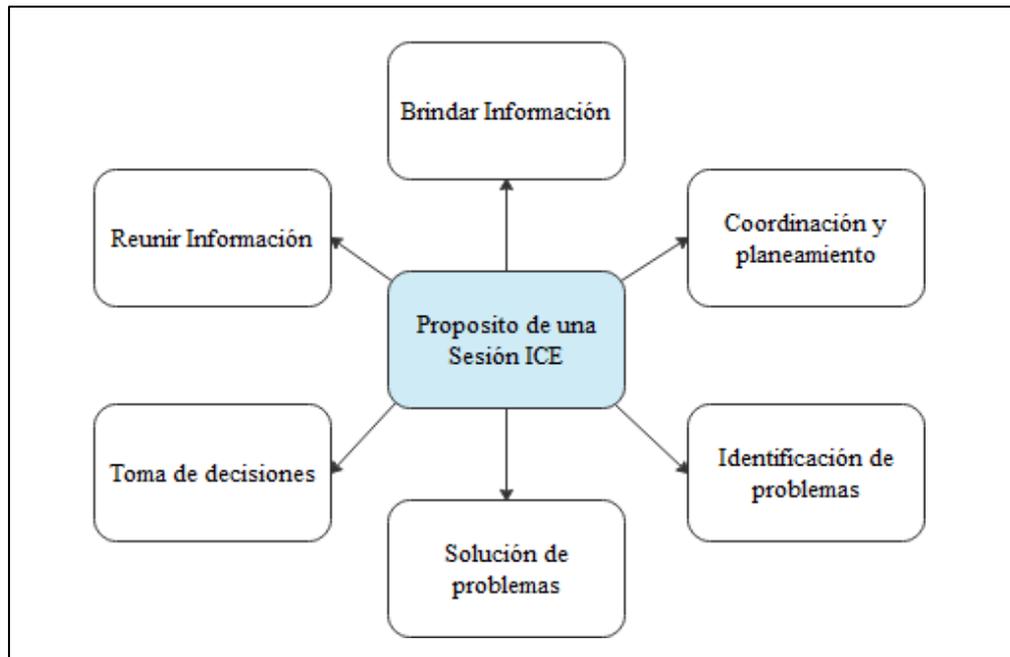


Figura N° 36: Propósito de una sesión ICE

Fuente: Adaptado del “Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC)”, por Fisher M. (2019)

**b. Definir los resultados esperados de la sesión ICE**

Se debe definir el resultado que se está buscando y cuál es el mejor modo para conseguirlo. Es necesario que se elija un enfoque adecuado para obtener buenos resultados. Se recomienda, tener el uso de una buena comunicación que permita:

- Conversar para encontrar posibilidades: maximizar la creatividad y generar ideas.
- Conversar para encontrar oportunidades: seleccionar entre varias opciones hablando, compartiendo información, analizando y posicionándose.
- Conversar para actuar, tomar decisiones y comprometerse a cumplirlas.

**c. Definir quien liderará la reunión**

Se debe designar un líder o líderes para la sesión ICE, el cual se encargará de dirigir y llevar a cabo la sesión. Los líderes sobresalen estableciendo una visión y proporcionando una dirección clara para las personas que lo rodean. Las estrategias efectivas, soluciones optimas, toma de decisiones emergen más fácilmente de una visión clara de los participantes.

**d. Definir quién será el facilitador de la reunión**

Si la reunión posee una gran cantidad de participantes es necesario que el líder tenga como apoyo un facilitador(es) para llevar a cabo la sesión con éxito.

e. Seleccionar a los participantes de acuerdo al propósito de la sesión

Previamente se definió el propósito de la sesión, por lo cual es necesario realizar una selección de los participantes que deben asistir y son esenciales para cumplir con dicho propósito.

f. Definir los roles de cada participante

Los participantes deben tener conocimiento previo de su rol y función que ejercerán en la sesión. Esto agilizará las actividades que se lleven a cabo en la sesión.

g. Definir las métricas de desempeño y factores controlables

Se debe definir las métricas de desempeño y factores controlables (FC) que se usarán antes y después de una sesión ICE. Es necesario realizar un pronóstico de la sesión ICE antes de su ejecución, para ver si será posible obtener buenos resultados. Asimismo, tras la finalización de la sesión ICE, con las métricas obtenidas medir el desempeño de los resultados y ver que se debe mejorar para la siguiente sesión ICE.

h. Preparar con anticipación la agenda

Es de suma importancia la preparación de la agenda con los puntos a tratar, los tiempos establecidos por tarea, personas que participaran y su rol de cada uno de ellos. Hacer el mejor uso del tiempo disponible a través de un cronograma previamente establecido.

i. Solicitar soporte

Previamente a la sesión ICE, se debe contar con un soporte seguro por parte de los miembros claves de la sesión como modelos 3D específicos creados, obtención de data, documentos, etc.

j. Realizar la invitación a los participantes con previo aviso

Con la agenda terminada y todas las actividades mencionadas anteriormente, se procede a invitar a los participantes adjuntado la agenda detallada para que tengan conocimiento previo y estén preparados. La agenda debe ser completamente transparente para todos los participantes y de fácil entendimiento. El líder y/o facilitadores deben guiar la agenda en la sesión ICE.

<b>Invitación a Sesión ICE</b>	
<b>Propósito:</b>	Coordinación entre el área de estructura y MEP(instalaciones)
<b>Lugar:</b>	Salón 292,CIFE
<b>Invitación de:</b>	Alexander Leib
<b>Tiempo y fecha:</b>	10:25 – 11:00 am / 20-06-2017
<b>Fase del proyecto:</b>	Control Interdisciplinario

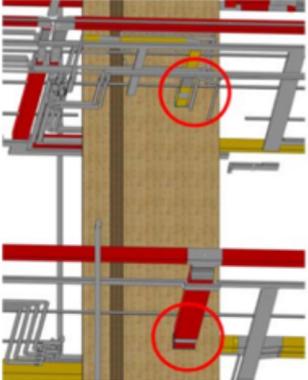


Figura N° 37: Ejemplo de invitación a una sesión ICE

Fuente: Adaptado del “Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC)”, por Fisher M. (2019). Cortesía de Alexander Leib y Makiol Wiederkher.

En síntesis, las actividades previas a una sesión ICE se pueden visualizar en la Figura N°38.

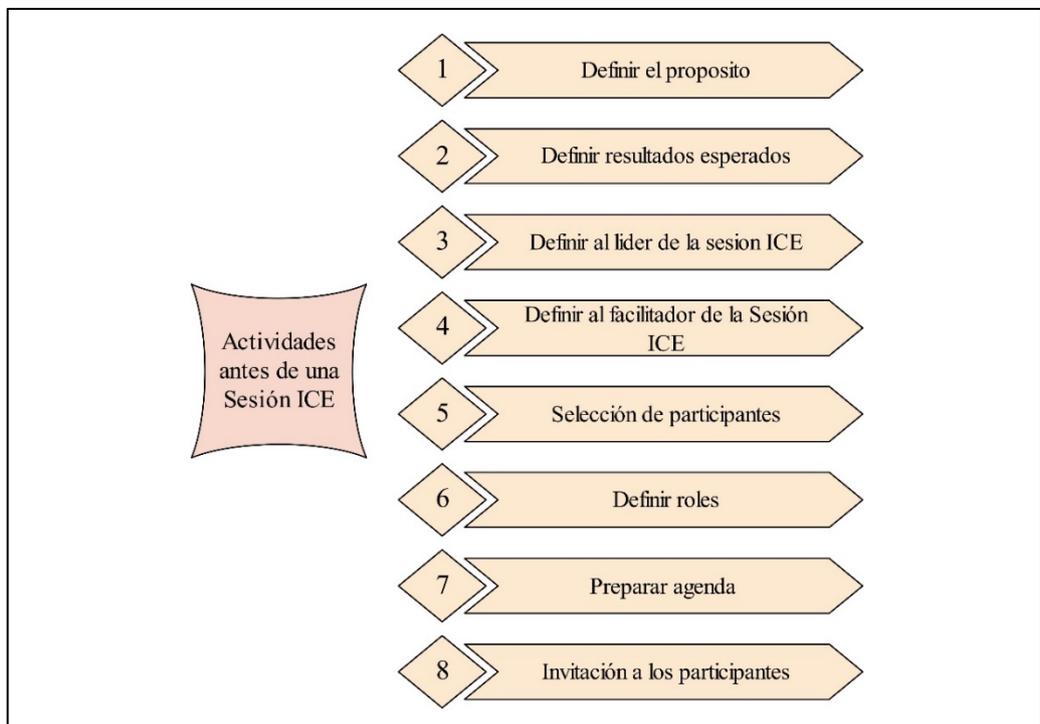


Figura N° 38: Actividades antes de una sesión ICE

Fuente: Elaboración propia

Para tener éxito en una sesión ICE y cumplir con los resultados esperados, se debe realizar mínimo lo siguiente.

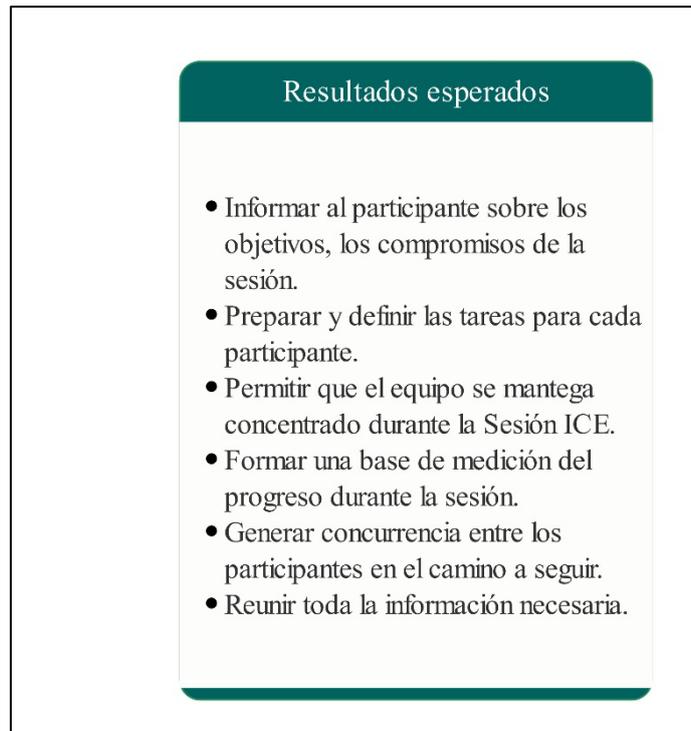


Figura N° 39: Requisitos mínimos para obtener resultados esperados.

Fuente: Adaptado del “Programa Internacional VDC”, por Fisher M. (2019)

Se debe tener en cuenta, si no está definido el propósito de una sesión ICE, eso involucra que no hay métricas para valorar el éxito de la sesión, es decir, será una pérdida de tiempo para los asistentes o participantes. Además, durante la sesión habrá una pérdida progresiva del enfoque y participación por parte de los involucrados. Es muy importante este paso antes de realizar una sesión ICE.

#### 4.3.5 Actividades durante una sesión ICE

##### a. Mostrar las métricas de la sesión anterior

Durante la sesión ICE es esencial que se muestre las métricas y resultados obtenidos de la sesión anterior a todos los participantes. Eso impulsará a una mejora continua, involucrando la participación y compromiso de todos para que sea posible.

##### b. Presentar la agenda y meta del día

La agenda que fue enviada previamente a cada participante debe ser proyectada en la sesión para alinear los objetivos de todos en un mismo camino y cumplir con la meta o resultados establecidos. Se debe liderar la agenda en cumplimiento de lo designado y seguir con el cronograma establecido.

c. Tomar apuntes

En la sesión, el registrador es la persona encargada de tomar apuntes de los acuerdos y soluciones definidas en vivo. Es esencial porque deja constancia de la decisión tomada y busca el cumplimiento de compromisos por parte todos.

d. Soporte

En la sesión ICE es necesario que exista un soporte al proceso de análisis, evaluación y toma de decisiones facilitando el acceso y presentación de la información a todos los participantes, por parte del líder o facilitador.

e. Validar

Se debe validar el cumplimiento de la toma de decisiones con los criterios del cliente/proyecto. VDC toma en primer lugar que todo sea en alineado para cumplir con las metas del cliente y del proyecto, para lograr edificios de alto desempeño.

f. Controlar

Controlar los tiempos por tema o incompatibilidad para lograr cumplir la meta. Los participantes deben cumplir los tiempos establecidos y asistir preparados para facilitar su participación.

g. Identificar oportunidades de mejora

Es recomendable optar por dinámicas que involucren la participación de todos para la identificación rápida de lo que se debe mejorar, por ejemplo, se puede usar el Ejercicio de Plus & Delta con todos los involucrados.

En síntesis, la Figura N°40 muestra las actividades durante una sesión ICE.

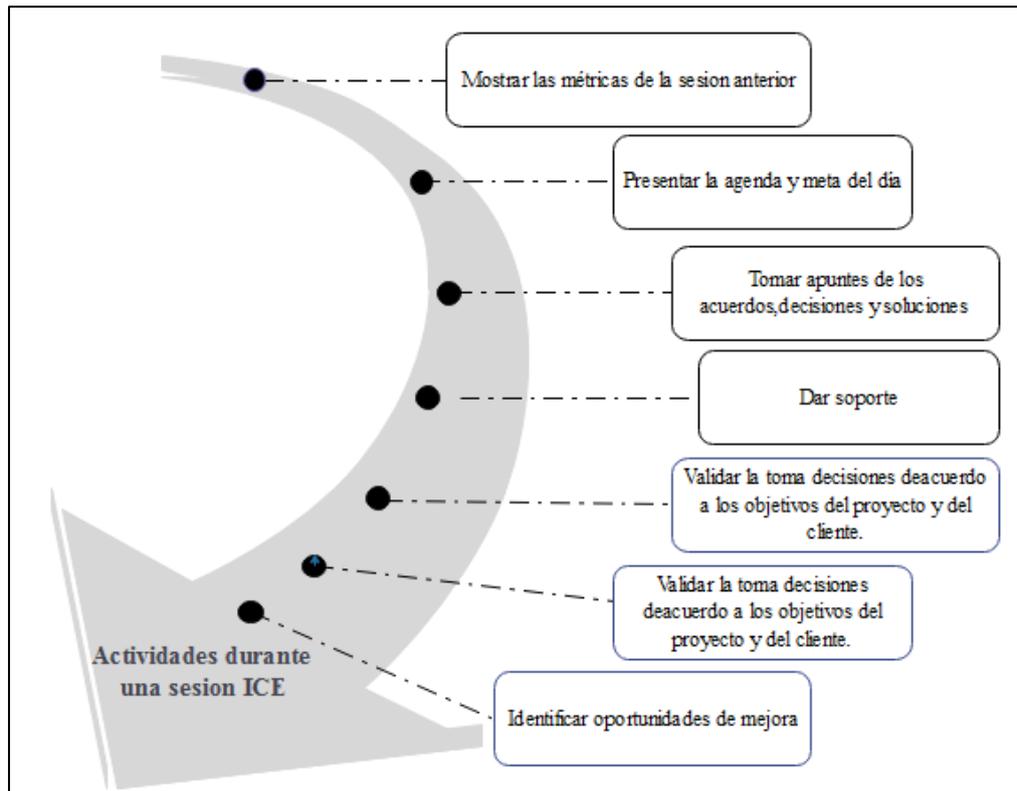


Figura N° 40: Actividades durante una sesión ICE.

Fuente: Adaptado del “Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC)”, por Fisher M. (2019)

#### 4.3.6 Actividades después de una sesión ICE

- Definir acciones frente a las oportunidades de mejora para la próxima sesión ICE.
- Analizar las métricas.
- Consolidar y enviar el acta de la sesión a todos los involucrados con los acuerdos.
- Planificar los cambios en la información basados en las decisiones de la sesión (CAD, Modelos, EETT, Cronograma, Otros)

#### 4.3.7 Big Room e ICE

(Khanzode, 2020). Big Room es un espacio de ubicación conjunta en el sitio que reúne físicamente a diseñadores, constructores y, a menudo, operadores de instalaciones para trabajar juntos. Tiene varios objetivos diferentes y proporciona muchos beneficios, tanto directa como indirectamente. En primer lugar, tiene como objetivo mejorar la colaboración a través de una mayor integración del equipo. La integración temprana permite a un equipo entregar

un edificio de mayor rendimiento, a tiempo y dentro del presupuesto. A través de la intensa colaboración interdisciplinaria que ocurre, los equipos pueden diseñar un edificio con sistemas que se complementan y apoyan entre sí y los objetivos del proyecto. La co-ubicación también hace que sea más fácil pedir a los miembros del equipo la información más reciente, lo que reduce el tiempo perdido buscando información actualizada o trabajando con información desactualizada.

El entorno integrado también ayuda a reforzar una identidad de proyecto separada de las culturas de las respectivas empresas de los miembros del equipo. A través de la co-ubicación y la ruptura de los “silos” individuales de la empresa, los miembros del equipo desarrollan una mejor comprensión de los objetivos compartidos del proyecto y comienzan a tomar decisiones por el bien del proyecto, no simplemente por los beneficios a corto plazo de las organizaciones individuales.

Para que la sala grande integrada sea más eficiente, primero debemos comprender quién está interactuando con quién, sobre qué y cuándo. Una vez que revelemos la naturaleza de las interacciones, podremos enfocarnos en la calidad de esas interacciones para lograr resultados mejores y más predecibles del proyecto

Basado en la experiencia, DPR recomienda algunos elementos para hacer que los Big Rooms sean un éxito:

- Tecnología adecuada: crear una infraestructura tecnológica para satisfacer las necesidades (es decir, pizarrones inteligentes, plataformas de colaboración, etc.).
- Organizar por grupos: organizar a las personas no por empresa, sino por equipo de producción o grupos (es decir, el equipo MEP para un alcance particular se reúne).
- Reuniones bien planificadas: desarrollar agendas detalladas que incluyan el tema, el tiempo, el facilitador principal y los participantes requeridos para las reuniones.
- Hora de trabajo: programar el tiempo de manera previa para el trabajo de producción.

- ICE: fomentar las sesiones de ingeniería concurrente integrada (ICE) y planificarlas.
- Reunión diaria: reunirse todos los días para abordar cualquier problema de latencia y ajustar los equipos en consecuencia.
- Respetar el tiempo: reconocer a los miembros del equipo que tienen un papel más pequeño y alinear las reuniones para aprovechar su experiencia cuando estén en la Big Room.
- Ser práctico y táctico: permitir que se consideren los problemas organizativos tácticos. Por ejemplo, actualice los números para el diseño del valor objetivo una semana y MEP otra semana para facilitar la retroalimentación rápida de costos, pero no cada semana para dar tiempo a los equipos para el trabajo de producción.
- Usar una base: establecer los artículos y/o pendientes para mantenerse en el camino y abordarlos más tarde.
- Planificar el espacio: proporcionar una gran cantidad de espacio abierto en la pared para la planificación del proceso y la visualización de métricas públicas. Disponer de salas pequeñas (ICE) para reuniones más pequeñas.
- Consideraciones para el espacio físico de Big Room: una gran sala apoyada por áreas de descanso, mucho espacio en la pared o paredes portátiles, acceso a café, agua, refrigerio, baños, tecnología para apoyar las actividades del equipo (videoconferencias, pizarras, impresoras, plotters), estructura de intercambio de información y archivos, conectividad (servidores de la empresa, internet, correo electrónico, etc.), pizarra blanca, notas adhesivas, marcadores, portafolios, etc.

Big Room también les brinda a los equipos tiempo para discutir preocupaciones de todo el proyecto, como presupuestos, temas o cambios globales. Al identificar dónde ocurren los intercambios de información más frecuentes en varios momentos a lo largo de un proyecto, un equipo puede comprender que es absolutamente necesario tener un Big Room y en otros períodos de colaboración, sesiones de ingeniería concurrente integrada (ICE)). Las sesiones ICE permiten que el equipo sea más eficaz y eficiente en el uso del tiempo y los recursos en problemas específicos.



Figura N° 41: Big Room

Fuente: Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC) por Fisher M. (2019)



Figura N° 42: Integración Big Room

Fuente: Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC) por Fisher M. (2019)

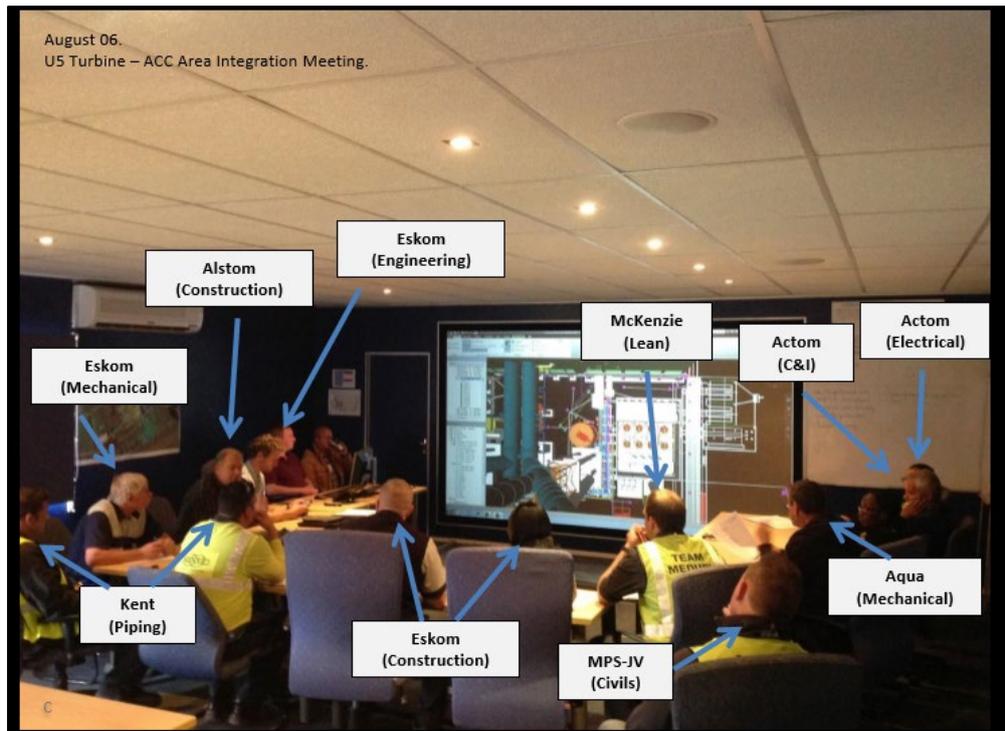


Figura N° 43: Distintas disciplinas en una sesión ICE.

Fuente: Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC) por Fisher M. (2019)

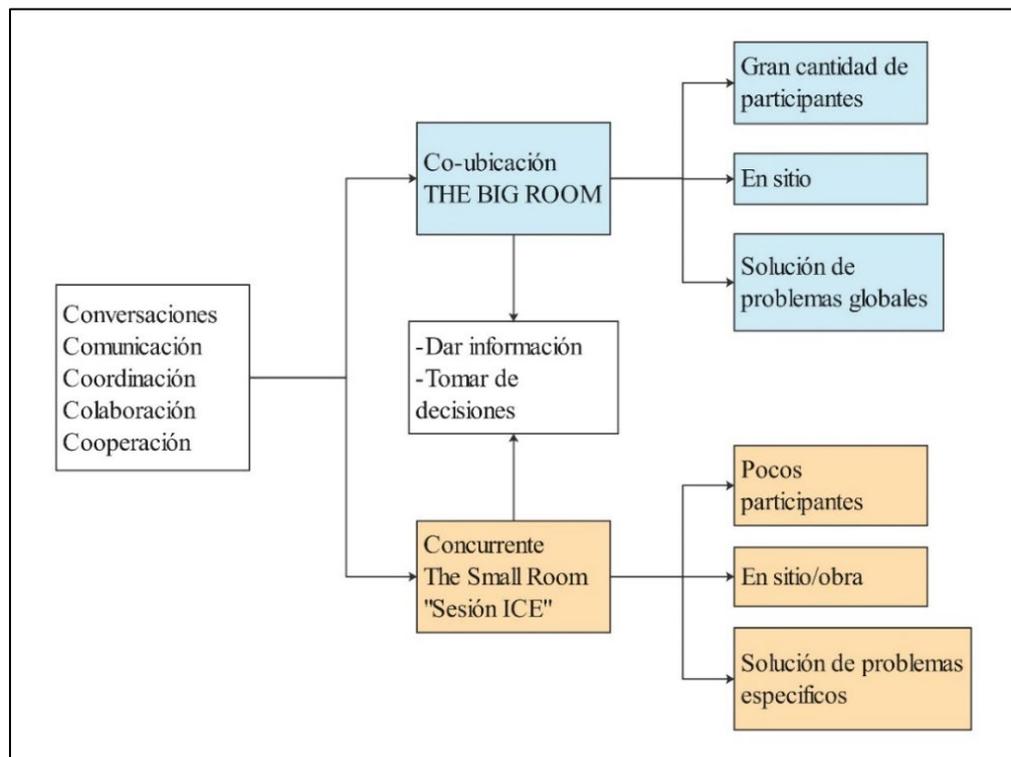


Figura N° 44: Big Room vs ICE

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.8 Factores Controlables de ICE

El uso de factores controlables es también indispensable para la implementación de VDC en un proyecto de construcción. Los factores controlables permiten que podamos realizar una mejor gestión de los distintos aspectos que están bajo nuestro control, para obtener buenos resultados en las métricas. En ICE tenemos factores controlables como personas (organización), procesos, planificación y ambiente.

##### a. Personas y roles

###### *Líder*

Es la persona que planifica la sesión ICE, si es una sesión con pocos participantes el líder es la persona indicada, pero si es una sesión con más participantes, es necesario el apoyo de un facilitador (es). El líder es el propietario final del contenido y los resultados de las sesiones. Él debe mantener claros los objetivos y los límites, no habla todo el tiempo, fomenta la participación, atrae a la gente, trabaja con el facilitador y el registrador.

###### *Facilitador*

Persona de apoyo neutral que guía la sesión, ayuda a coordinar la comunicación entre los miembros del equipo, maneja el modelo y la información. Ágil para no perder concentración de los participantes. Algunas empresas tienen facilitadores separados que organizan sesiones especialmente grandes, en otras empresas, los jefes de proyecto se ayudan entre sí. Es decir, pasan medio día o un día en otro proyecto ocasionalmente porque tienen experiencia, pero no están apegados emocionalmente a ninguno de los problemas, por lo que pueden ayudar a otro gerente de proyecto u otro proyecto. Permiten ejecutar una sesión eficaz. Las prácticas son distintas dependiendo de lo que está buscando la empresa (objetivos del proyecto y cliente).

###### *Líderes facilitadores*

Existen personas capaces de ser líderes facilitadores, es un trabajo duro, en una sesión pequeña es posible, pero en una sesión grande, es imposible. Debe ser una persona con muchas habilidades capaz de liderar y facilitar la interacción entre todos los participantes.

### *Registrador*

Es una persona neutral del grupo, trabaja con todos para capturar con precisión la información, acuerdos, asuntos abiertos, acciones. Toma notas, captura datos y compromisos para generar las métricas.

### *Miembros del equipo*

Expertos que contribuye al desarrollo de productos y procesos con poder para la toma de decisiones (equipos multidisciplinarios).

El líder, facilitador, registrador forman el equipo líder, mientras que los demás interesados como arquitecto, cliente, ingeniero estructural, mep, supervisión, usuarios finales u otros son el equipo de trabajo. Los participantes activos tienen un papel principal en todas las discusiones, ya que su aporte es fundamental. Por lo general, también están presentes durante la mayoría de las sesiones de ICE. Los participantes pasivos pueden necesitar involucrarse durante las discusiones, en el caso de que los temas discutidos involucren o afecten sus ámbitos de trabajo o viceversa. Asimismo, para obtener una sesión ICE exitosa, se requiere de forma imprescindible las siguientes habilidades:

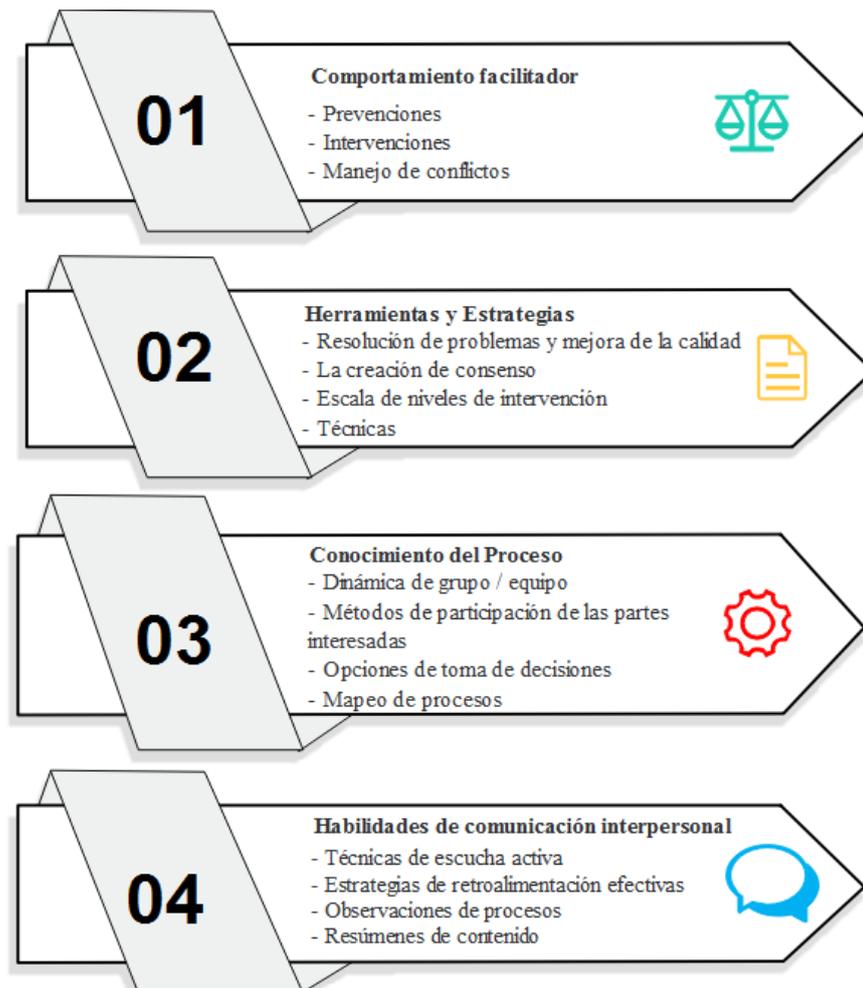


Figura N° 45: Mix de habilidades para un buen manejo de una sesión ICE.

Fuente: Elaboración propia.

#### b. Proceso y planificación

Fisher, W. Ashcraft, Reed, & Khanzode (2017). Se necesita aprender sobre cosas que podemos controlar, en relación al proceso y planificación de una sesión ICE.

##### *Espectro de co-ubicación del equipo*

Hay tres tipos de co-ubicación de un equipo:

- Permanentemente co-ubicada
- Parcial u ocasionalmente co-ubicada
- No co-ubicada

Se debe establecer una co-ubicación del equipo en el proyecto, dependiendo de las necesidades que se requieran y los objetivos que necesitan cumplir. A continuación, se muestra un ejemplo de co-ubicación de un proyecto, en el cual

el equipo fue co-ubicado una vez al mes por tres días, es decir tuvo una co-ubicación de tipo parcial para la toma de decisiones.

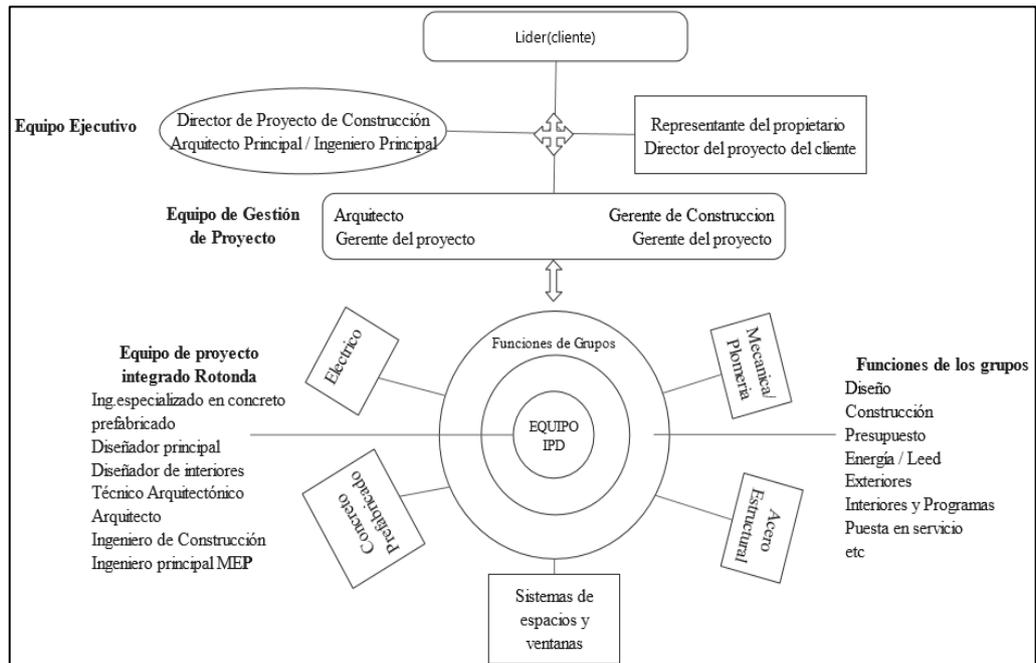


Figura N° 46: Ejemplo de espectro de co-ubicación (parcialmente co-ubicada) en una Sesión ICE.

Fuente: Adaptado de “Integrated Project Delivery”, por Fisher, W. Ashcraft, Reed, & Khanzode (2017, p.190).

### *Agenda y Cronograma semanal*

Como ha sido mencionado en el punto 4.3.4. actividades previas a una sesión ICE, es necesario realizar la planificación de la agenda antes de la sesión ICE. A continuación, se muestra un ejemplo de una agenda donde se aprecia lo mencionado anteriormente.

Tabla N° 12: Ejemplo de una agenda antes de una sesión ICE.

<b>Resultados Esperados</b>	<b>Procesos</b>	<b>Quien</b>	<b>Cuando</b>
Contexto de la Sesión e Introducción a los participantes	Presentación	Robert	10:00 am a 10:15 am (15 minutos)
Resultados esperados y Agenda	Preguntas y Respuestas	Robert	10:15 am a 10:30 am (15 minutos)
Tarea 1	Proceso 1	Líder 1	10:30 am a 12:00 pm (90 minutos)
Almuerzo		Todos	12:00 pm a 1:00 pm (60 minutos)
Tarea 2	Proceso 2	Líder 2	13:00 pm a 14:00 pm (60 minutos)
Resumen de la sesión	Problemas abiertos, revisión, aspectos positivos y negativos	Robert	14:00 pm a 14:30 pm (30 minutos)

Fuente: Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC) por Fisher M. (2019)

Fisher M. (2019). Kruse smith comparte un ejemplo de planificación y seguimiento de sus sesiones ICE. También enumera el enfoque de la sesión y el resultado deseado para el enfoque particular, y luego resalta quién debe estar allí, un posible participante, las funciones del participante, qué asignaciones previas a la sesión que tienen, quién está en el equipo de pre planificación, qué papel tienen las diferentes partes en la sesión de ICE, quién gestionará el seguimiento de la sesión de ICE y comentarios adicionales.

Asimismo, se recomienda un cronograma semanal con las sesiones ice por día y actividades a realizar, para una mejor planificación y obtención de buenos resultados. La Tabla N°13, muestra un ejemplo de plantilla de la agenda con más detalles.

Tabla N° 13. Ejemplo de una plantilla de agenda para una sesión ICE, cortesía de Kruse Smith.

ENFOQUE PARA LA SESIÓN ICE		PARTICIPANTES							AGENDA					
Enfoque	Resultados Esperados	Participante	Disciplina / Función	Tarea previa a la sesión	Miembros del equipo antes de la sesión	Rol en ICE	Miembros del equipo después de la sesión (recapitulación)	Comentarios	Agenda Ítem	Responsable	Tiempo de Inicio	Duración	Lugar, herramientas, modelos, tecnología, etc.	¿Se cumplió?

EVALUACIÓN					
PLUS	DELTA		Preparado	Calidad de la Sesión	Contribución del personal
			(Si o No)	(1-5)	(1-5)

Resultado General	
	%

Fuente: Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC) por Fisher M. (2019)

### c. Ambiente

#### *Distribución de la sala*

Fisher, W. (2019). El trabajo tradicional está orientando a un ambiente cerrado, con una mesa amplia y frente a ella los participantes, enfocándose más a tener una conversación que a resolver problemas. Con ICE, el entorno de trabajo debe basarse en lo físico, tecnológico y cultural. En lo físico, un diseño de sala que facilite la interacción entre las personas, en lo tecnológico se requiere una inversión, hacer uso de herramientas tecnológicas aprovechando su capacidad de visualización, simulación y cálculo y en lo cultural, se debe cambiar de una actitud pasiva a una actitud activa y dinámica, establecer niveles de participación, participación de todos los involucrados y lograr que finalizada la sesión los participantes hayan encontrado valor y sientan que ha sido productiva.

Es decir, una ubicación conjunta diseñada para mejorar el nivel de comunicación, creatividad dentro del equipo creando interacciones multidisciplinares, buscando una solución rápida de problemas, ser colaborativos, participativos, usar equipos y herramientas tecnológicas (pantallas táctiles, modelos 3D, etc.) y ser productivos. El tiempo es valioso, es indispensable por ello se debe tener un ambiente adecuado tanto en la etapa de diseño como construcción.

Fisher, W. Ashcraft, Reed, & Khanzode, (2017). Asimismo, la gestión visual requiere mucho espacio en la pared para comunicarse con el equipo y para trabajar juntos. Esta es una información sobre el equipo, el estado, la planificación y los objetivos del proyecto que se deben mostrar en las paredes. Las actividades de planificación, la lluvia de ideas ocurre en dibujar espacios que se pueden usar en colaboración, como grandes pizarras blancas o papel de dibujo que se puede fijar o pegar a la pared o buscar alternativas como paredes móviles. También las métricas para medir el desempeño del proyecto en las paredes para ver claramente los obstáculos, resolverlos y seguir avanzando. Se debe realizar una co-ubicación de cada participante para compartir información fácilmente.

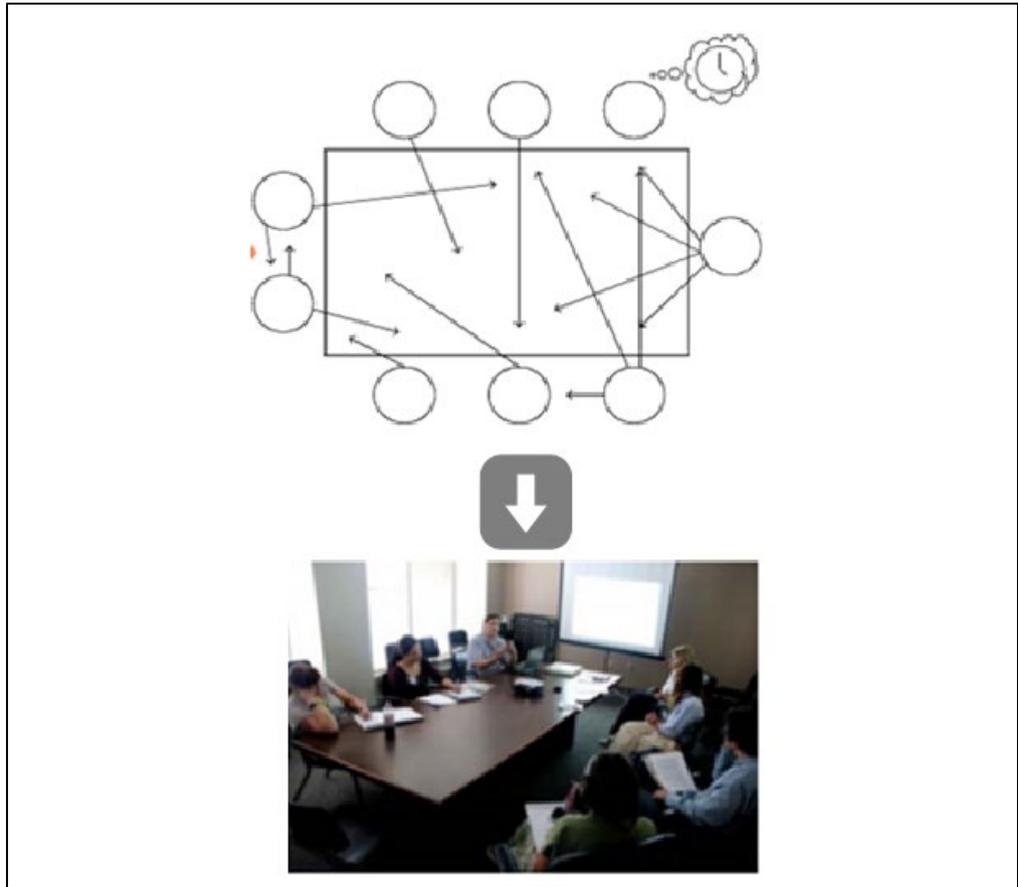


Figura N° 47: Ambiente tradicional.

Fuente: Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC) por Fisher M. (2019)

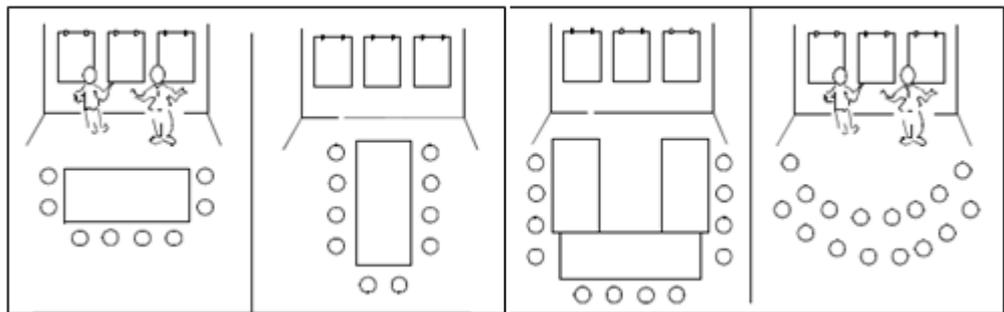


Figura N° 48: Ambiente ICE.

Fuente: Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC) por Fisher M. (2019)



Figura N° 49: Distintas Disciplinas en un mismo ambiente, cortesía DPR.

Fuente: Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC) por Fisher M. (2019)

### *Ambiente Digital*

Fisher, W. (2019). Es importante, equipar las salas de reuniones con pantallas para mostrar el BIM+ y tomar decisiones basadas en el modelo. Entender el diseño a través de la visualización. Si se dispone a hacer uso de realidad virtual para un fácil entendimiento por parte del cliente, es una opción que le agrega valor al cliente. Al trabajar en un ambiente digital, se puede obtener información en tiempo real. Todos deben tener un fácil acceso a la nube con la información actualizada o la que se requiera.

#### 4.3.9 Métricas ICE

El uso de métricas es indispensable para la implementación de VDC en un proyecto de construcción. Las métricas permiten medir el desempeño de lo que se está realizando. Se debe tener en cuenta que las métricas son propuestas por cada empresa, dependiendo de los objetivos del proyecto y del cliente. Como ejemplo, Fisher (2019) muestra las siguientes métricas para una sesión ICE.

Tabla N° 14: Ejemplos de métricas ICE.

<b>Métricas ICE</b>
Porcentaje de participación de los participantes (objetivo 100%).
Porcentaje de participación de los participantes (objetivo 100%).
Porcentaje del estado de preparación de la agenda para la sesión (objetivo 100%). Número de días para recibir la información requerida antes de la sesión ICE. (objetivo al menos 1 día antes).
Porcentaje de problemas resueltos por sesión (objetivo 100% de problemas encontrados).
Porcentaje de lecciones aprendidas e implementadas de la sesión anterior ICE. (objetivo al menos 1).
Porcentaje de secuencias de actividad cambiadas durante la construcción (objetivo 0).
Porcentaje de decisiones documentadas de manera que los participantes del proyecto puedan acceder a ellas (objetivo 100%)
Número de ítems de seguimiento completados / Número de ítems de seguimiento asignados a cada participante (objetivo 1).
Número de sesiones planificadas con agenda.

Fuente: Adaptado del Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC) por Fisher M. (2019)

Es necesario la documentación de las métricas, porque todos necesitan saber lo que ocurrió en la sesión ICE y que decisiones fueron tomadas.

En síntesis, el uso de factores controlables (FC) y métricas permiten detectar en que estamos fallando y mejorar, es decir, el equipo está en mejora continua de manera constante. A continuación, la Figura N°50 es un esquema que resume los FC y métricas ICE.

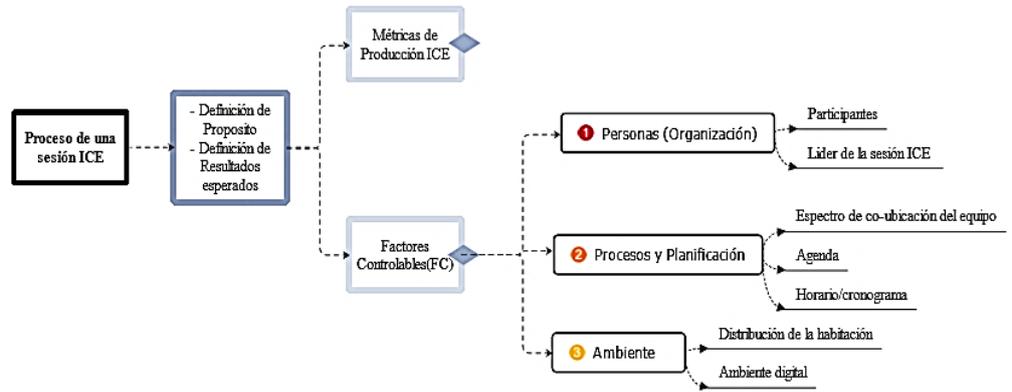


Figura N° 50: Métricas y factores controlables ICE.

Fuente: Adaptado del “Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC)”, por Fisher M. (2019)

### 4.3.10 Mejora en la Gestión de la Organización

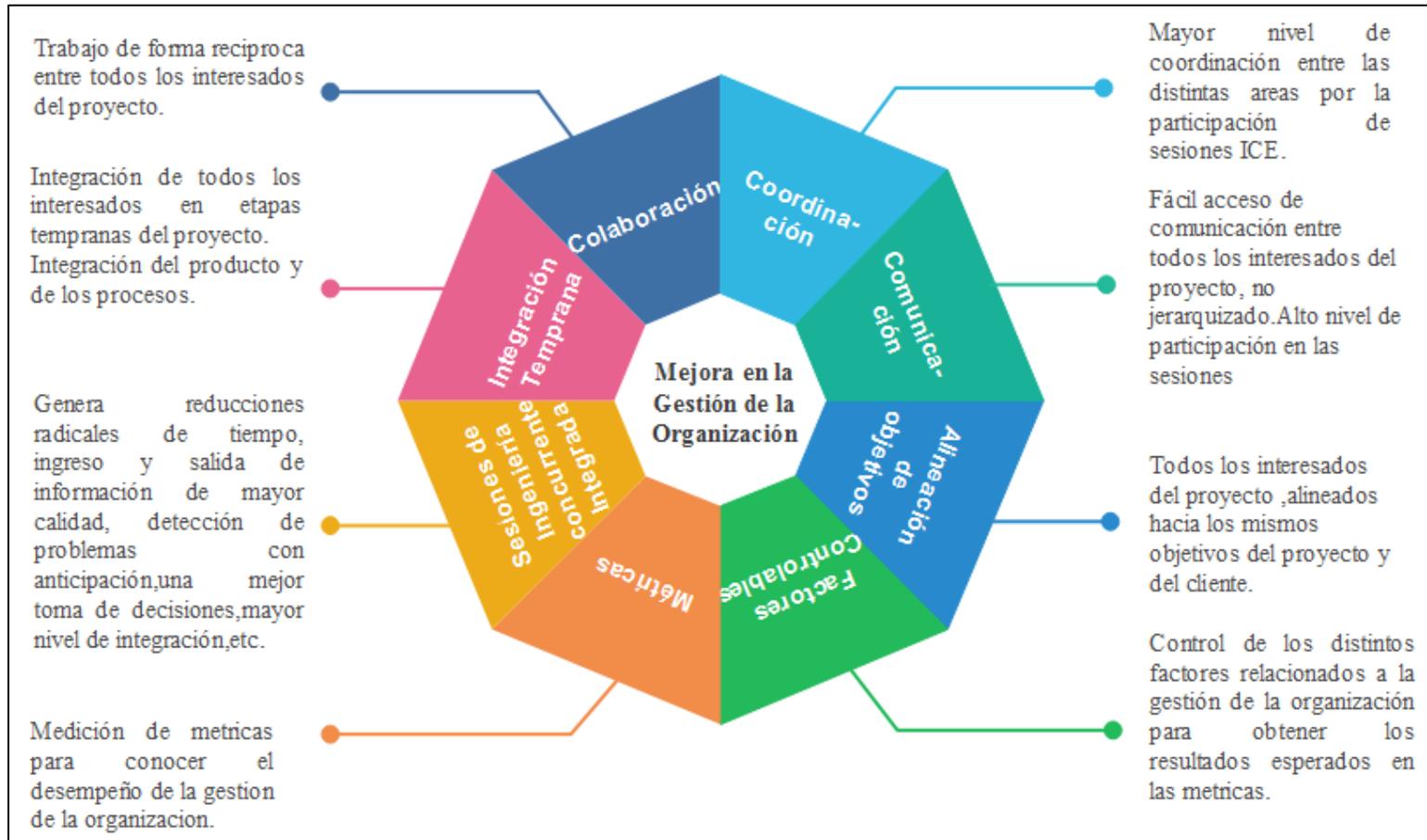


Figura N° 51: Mejora en la gestión de la organización

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4 VDC en la Gestión de los Procesos

##### 4.4.1 Project Production Management (PPM)

Project Production Institute (2016) menciona:

“La gestión de proyectos tradicional se basa principalmente en las actividades funcionales asociadas con la entrega de un proyecto, es decir, qué (alcance y calidad), cuándo (programación) y quién (recurso). Esta visión típica de la gestión de proyectos se refleja en la construcción del “triángulo de hierro”, tome dos, pero el tercero debe cambiar. Diseñar algo rápidamente con un alto nivel, no será barato. Diseñar algo de forma rápida y económica, no será de alta calidad. Diseñar algo de alta calidad a bajo costo, llevará mucho tiempo”. (p.1)

Es decir, la gestión de proyectos convencional incluye áreas funcionales como el alcance, tiempo, costos, calidad, riesgo y compras. Estas funciones son esenciales para administrar proyectos grandes y complejos, pero no son las únicas actividades requeridas para lograr resultados exitosos.

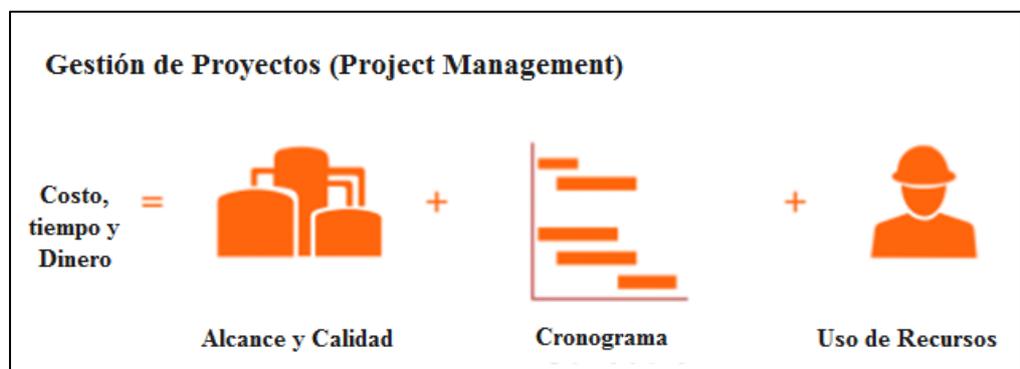


Figura N° 52: Gestión de proyectos convencional

Fuente: Adaptado de “Project Production Institute” (2016)

Por otra parte, PPM enfoca a los proyectos como un sistema de producción y aborda las brechas de la gestión de proyectos convencional. La variabilidad es considerada y se puede gestionar mediante el dimensionamiento estratégico y la colocación de búferes en diferentes puntos de la ejecución del proyecto. La Gestión de la producción de proyectos muestra que solo hay 3 tipos de búferes (capacidad, inventario o tiempo) y proporciona un marco sistemático para determinar qué combinaciones son más efectivas para gestionar la variabilidad. La administración de proyectos convencional ve los proyectos como una compensación entre costo, tiempo y alcance, y los equipos de

proyecto tienen las palancas de calidad, cronograma, recursos. Project Production Management (PPM) destaca las palancas adicionales disponibles para los equipos de proyecto: busca optimizar el costo, el tiempo y el alcance (diseño del producto) con las palancas del diseño de procesos, la capacidad, el inventario y la variabilidad.

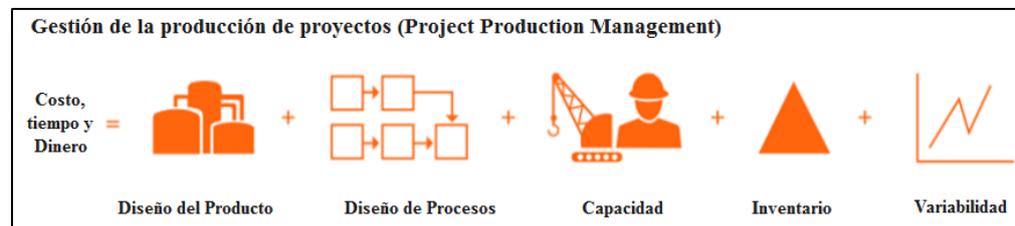


Figura N° 53: Gestión de producción de proyectos (PPM)

Fuente: Adaptado de "Project Production Institute" (2016)

#### 4.4.2 Interacción entre PPM e ICE

Fisher M. (2019). Si uno tiene un proceso definido, no significa que tiene un proceso correcto. ICE permite trabajar de manera recíproca y multidisciplinaria de manera temprana en el proyecto. Si a un proceso tradicional es incorporado el concepto de ICE, este permitiría reunir todos los conocimientos necesarios al principio de este proceso. Asimismo, ICE trabaja con un modelo acordeón, explicado anteriormente, que permite establecer sesiones ICE con un determinado tiempo (medio día, un día, etc.). Los equipos de trabajo que han dominado esto, tienen conocimiento cuándo es necesario unir al equipo por distintos problemas recíprocos, lidiar con objetivos en conflicto, etc. Son muy eficientes y trabajan de manera colaborativa.

A continuación, se muestra un ejemplo de un proyecto denominado PIP (Punto de información personal) de la Estación Pancras en EE.UU. Su flujo de trabajo inicial era secuencial y las diferentes partes ingresaban a lo largo del proyecto, y el descubrimiento de información era cada vez mayor mientras se avanzaba y se optó por cambiar la forma de trabajo con ICE.

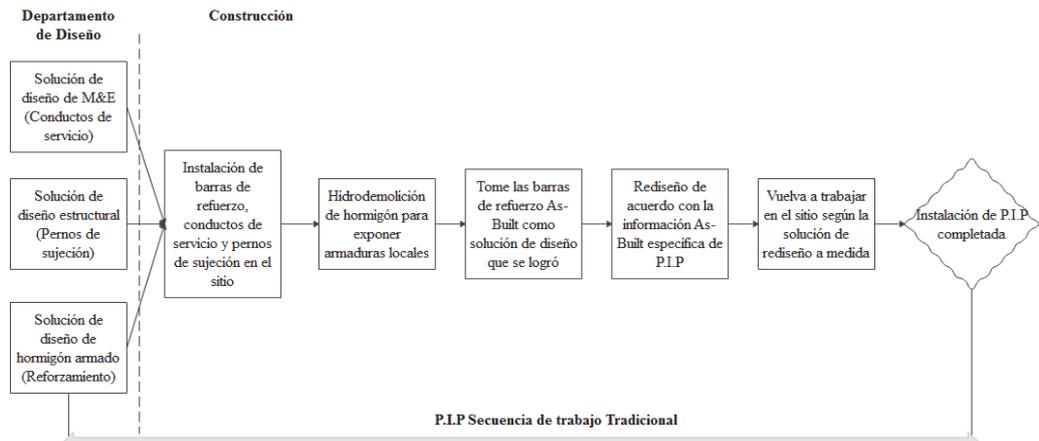


Figura N° 54: Flujo de trabajo tradicional del proyecto “PIP de la Estación Pancras”

Fuente: Adaptado del “Programa Internacional VDC”, por Fisher M. (2019)

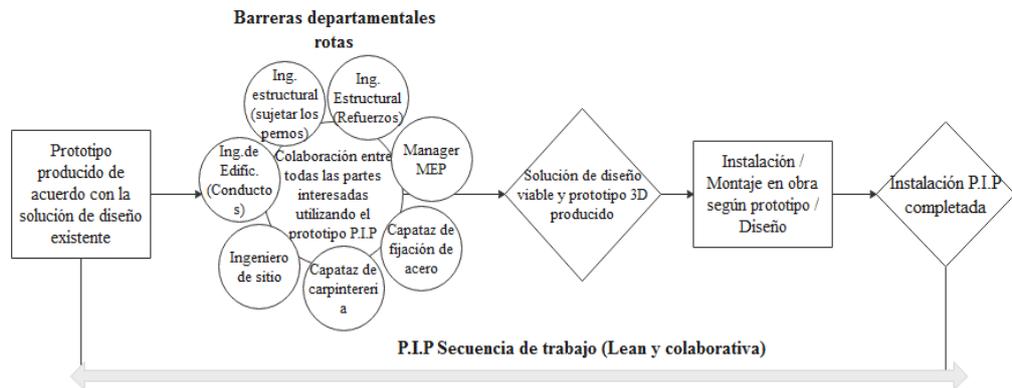


Figura N° 55: Flujo de trabajo PPM con ICE del proyecto “PIP de la Estación Pancras”

Fuente: Adaptado del “Programa Internacional VDC”, por Fisher M. (2019)

#### 4.4.3 Interacción entre PPM y BIM

Fisher M. (2019). Incorporar BIM en la gestión de los procesos, permite establecer flujos de trabajos específicos, brindar una visualización de los modelos, un mejor entendimiento del trabajo que se busca realizar y transmitirlos fácilmente a otros, teniendo así procesos claros y todos alineados por los mismos objetivos. A continuación, se observa algunos ejemplos de flujos de trabajos con BIM. En la figura N°56, DD hace referencia al % de desarrollo del diseño (%) y CD a dibujos de construcción.

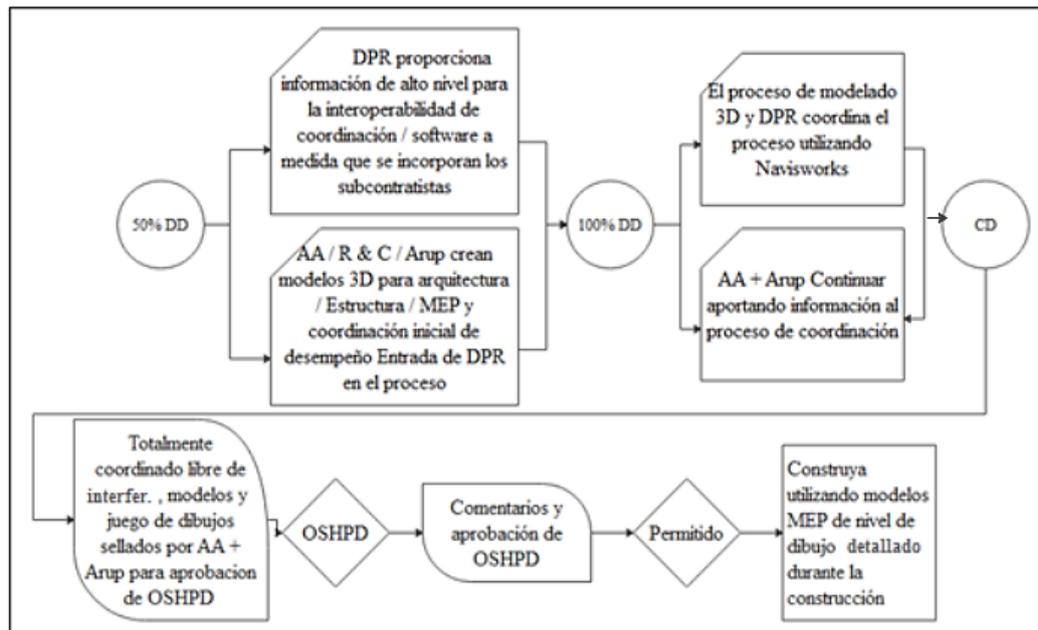


Figura N° 56: Flujo de trabajo específico con BIM de un proyecto realizado por DPR Construction.

Fuente: Adaptado del “Programa Internacional VDC”, por Fisher M. (2019)

#### 4.4.4 Variabilidad

Shenoy & R. Zabelle (2020) mencionan lo siguiente:

“La gestión de proyectos convencional tiene dos lagunas fundamentales. La primera brecha es que no tiene en cuenta el impacto de la variabilidad que afecta todos los aspectos de las operaciones durante la ejecución del proyecto. Un síntoma de variabilidad es la acumulación de trabajo en proceso en diferentes puntos de un proyecto, lo que puede tener consecuencias imprevistas para la ejecución del proyecto tanto en el costo como en el cronograma. La segunda brecha es que la gestión de proyectos convencional no les da a los equipos de proyectos un medio para controlar la ejecución de las actividades detalladas del trabajo del proyecto en respuesta a la variabilidad diaria que afecta la ejecución del proyecto”. (p.1)

Es un factor clave que se necesita controlar, gestionar y ver cómo afecta al sistema de producción y reducirlo. Actualmente el impacto de variabilidad puede ser positivo o negativo, si estas fuentes de variabilidad son beneficiosas o perjudiciales para los resultados del proyecto, como los objetivos del cliente y del proyecto que se busca cumplir.

### a. Fuentes de Variabilidad

La variabilidad se puede originar en base a distintas fuentes. A continuación, serán nombradas.

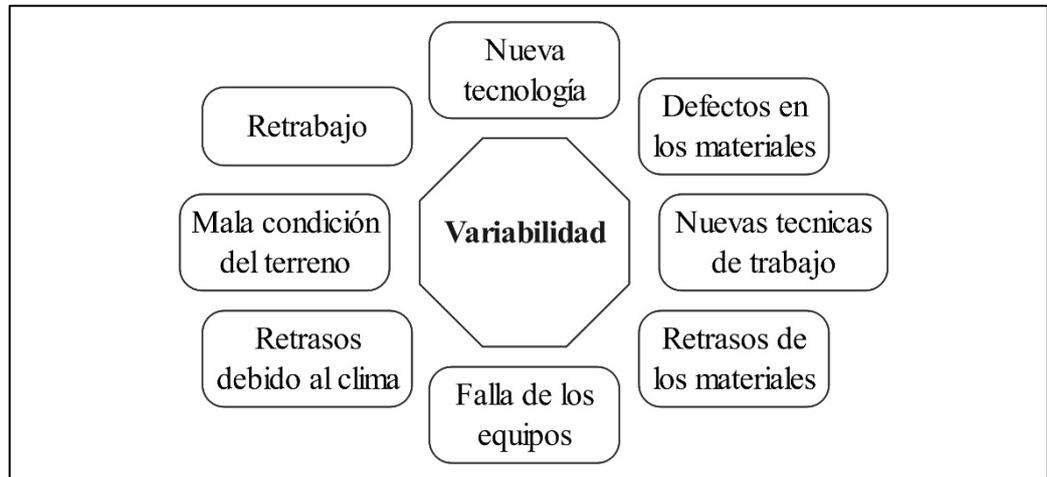


Figura N° 57: Fuentes de Variabilidad

Fuente: Adaptado del “Programa Internacional VDC”, por Fisher M. (2019)

### b. Impacto de la variabilidad

La variabilidad no se puede eliminar por completo. Tiene un impacto en el flujo o proceso perjudicial o beneficioso dependiendo de la fuente o factor que provenga. En lo perjudicial, el aumento de la variabilidad siempre degrada el rendimiento del sistema de producción. Es decir, en términos de lo que los clientes quieren y del sistema de producción planeado, si aumenta la variabilidad, el rendimiento siempre bajara. En lo beneficioso, el uso de nueva tecnología, nueva técnica trae un impacto positivo en el sistema de producción. Por ello, se busca gestionar, controlar la variabilidad para minimizar el desperdicio y lograr flujos más predecibles.

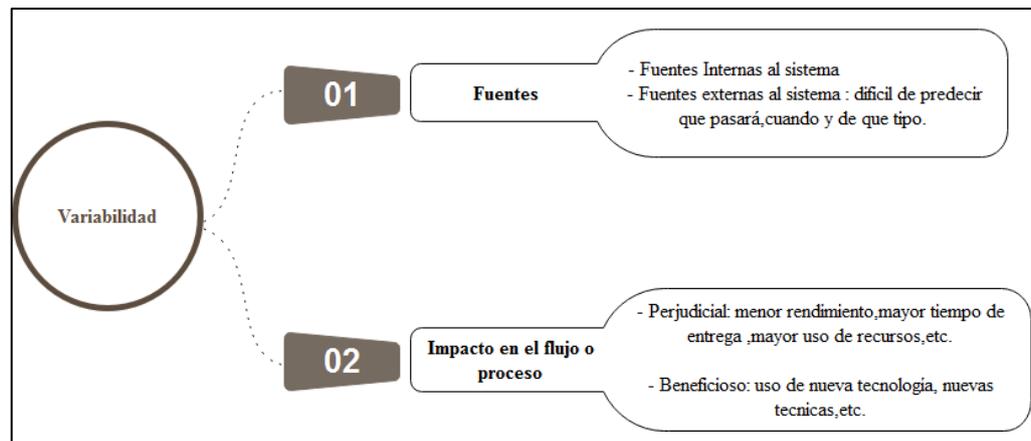


Figura N° 58: Fuentes e Impacto de la Variabilidad

Fuente: Elaboración Propia.

### c. Ley de amortiguamiento (Buffering Law)

Los sistemas con variabilidad deben amortiguarse mediante algunas combinaciones de:

- Capacidad: en términos de mano de obra, equipos, espacio.
- Inventario: se considera el stock de materiales y el Work in Process (Trabajo en proceso)
- Tiempo

#### *Estrategias de amortiguación*

Depende de lo que estas intentando lograr, es decir depende de la estrategia de producción general. Se debe tener en cuenta que no se puede reducir un búfer sin que uno o ambos aumenten. Existen dos tipos de estrategias muy utilizadas:

- Implementar al menor costo: reducir la capacidad y el inventario, en consecuencia, el tiempo aumentará.
- Implementar lo más rápido posible: aumentará la capacidad y el inventario, en consecuencia, el tiempo disminuirá.

Estrategia de producción	Variabilidad perjudicial	Colocación del buffer		
		Capacidad	Inventario	Tiempo
Entrega al menor costo	↓	↓	↓	↑
Entrega lo mas rápido	↓	↑	↑	↓

Capacity: MO, equipos y espacio      ↓ Debe reducirse      ↑ Debe incrementarse

Figura N° 59: Estrategias de amortiguación

Fuente: Programa Internacional VDC por Fisher M. (2019)

Asimismo, como se ha mencionada anteriormente la gestión y control de variabilidad dependerá de la estrategia que se está buscando en términos solo de capacidad, inventario y tiempo. Se evita tener gran cantidad de estos buffers, se necesita disminuirlos hasta conseguir lo que se desea o quiere.

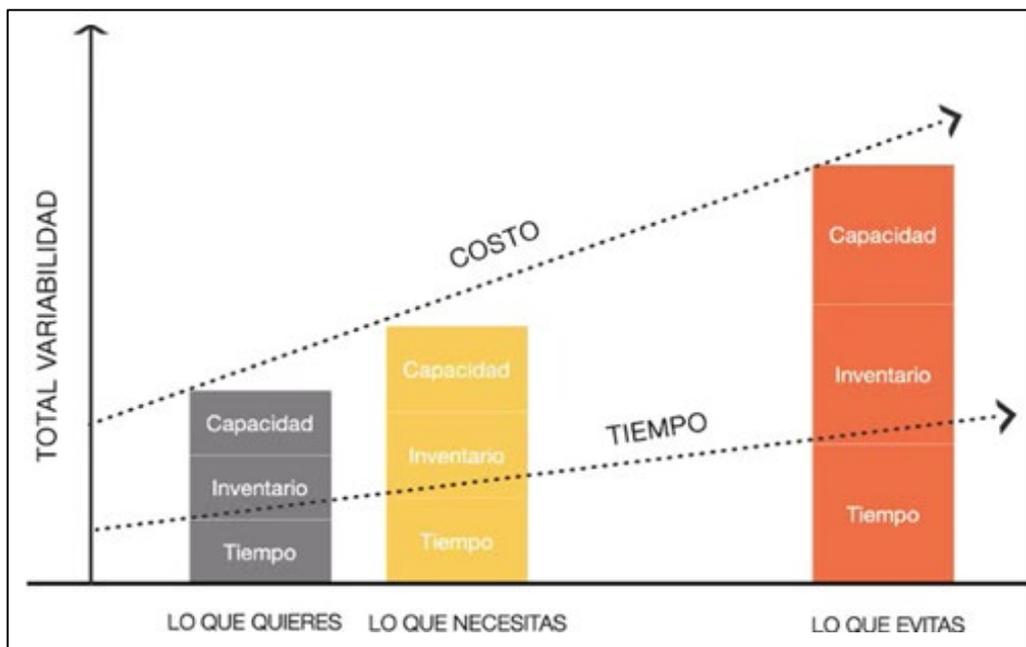


Figura N° 60: Gestión y control de la Variabilidad en base a capacidad, inventario y tiempo.

Fuente: Project Production Institute (2016).

#### d. Ley de Little

HJ. (2016) menciona lo siguiente:

La Ley de Little proporciona información sobre cómo el aumento del trabajo en proceso (WIP) tiene un impacto perjudicial en el tiempo de un ciclo de

producción. Esto es contrario a la práctica común en la gestión de proyectos convencional, donde la creencia es que aumentar el WIP aumentará el rendimiento y "hará que funcionen más cosas".

La Ley de Little describe la relación entre 3 parámetros fundamentales de cualquier sistema de producción: el tiempo de ciclo, el rendimiento y el WIP. Considere, por ejemplo, el sistema o proceso de producción que se muestra en la Figura N° 61, donde los elementos o unidades fluyen a través del sistema como entradas y luego el sistema los transforma en salidas. (p.1)

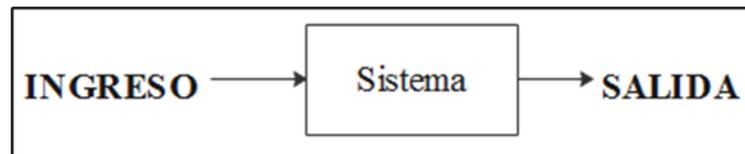


Figura N° 61: Proceso de producción (PPM)

Fuente: Project Production Institute (2016).

Esto ilustra un flujo de proceso continuo, donde los elementos de entrada son transformados continuamente por el sistema de producción teórico en salidas, con el sistema en estado estable operando durante muchos ciclos. En el contexto de los proyectos, un ejemplo podría ser la secuencia de actividades necesarias para desarrollar en campo: por ejemplo, ingeniería, fabricación, entrega, instalación o construcción del sitio, perforación, terminaciones, flujo de retorno. (p.1)

La variabilidad que genera un proceso se propaga a través del sistema. Si la utilización de todas las unidades de producción es alta para minimizar el costo de los recursos (como suele ser el caso, aunque no necesariamente es la mejor estrategia), la variabilidad del proceso también será alta. Para remediar esto, uno tiene que instituir procesos estándar dentro del proyecto trabajando con aquellos que son directamente responsables del trabajo para determinar la norma y usar los planes de producción como un mecanismo de control para lograr una alta confiabilidad. (p.1)

La ley demuestra las relaciones entre el tiempo de espera o tiempo del ciclo, el trabajo en proceso y el rendimiento.

$$\text{Tiempo del ciclo} = \frac{\text{Trabajo en proceso (WIP)}}{\text{Rendimiento (Throughput)}}$$

Figura N° 62: Formula de Ciclo de Tiempo

Fuente: Project Production Institute (2016).

- Tiempo del ciclo: período entre la entrada de una petición en el sistema (petición solicitada) y la recepción de la petición. Se mide por el tiempo transcurrido (minutos, horas, etc.). La petición puede ser un requisito, una historia de usuario, una incidencia, material, una solicitud de un usuario, etc.
- Trabajo en proceso: el número de peticiones (unidades de trabajo) que se están procesando, es decir las que han entrado en el sistema, pero todavía no han salido.
- Rendimiento: el número de unidades de trabajo que salen del sistema en un tiempo determinado, p.ej., 3 historias de usuario por día.

*Condiciones importantes para el funcionamiento de la ley de Little*

Agility (2016) menciona lo siguiente:

La ley de Little es muy útil, pero además de conocer la formula se debe tener en cuenta las condiciones necesarias que se deben cumplir para que la ley de Little sirva:

- Se toman valores medios de todos los parámetros: promedio del tiempo del ciclo, promedio del trabajo en proceso y promedio del rendimiento.
- Las unidades deben ser coherentes, p.ej. si medimos el rendimiento en una semana, tiempo del ciclo también tiene que ser en semana, así como el promedio del trabajo en proceso.
- El sistema tiene que estar estable, es decir todo el trabajo que entra en el sistema, sale de este, el WIP total al inicio y al final del periodo es constante, la tasa media de llegada de trabajo es igual a la tasa media de salida de trabajo del sistema.

El uso correcto de la ley de Little ayuda a conseguir un flujo de trabajo suave y estable, y a mejorar la previsibilidad de los proyectos y los servicios. El Trabajo en proceso (WIP) es un factor clave para el rendimiento y el tiempo necesario para el desarrollo de software y/o la ejecución de los servicios/proyectos. Se debe limitar el trabajo en proceso además de reducir el tiempo de un ciclo lleva a una reducción de los desperdicios en un flujo de trabajo.” (p.1)

En síntesis, si el WIP aumenta, el tiempo del ciclo también ira aumentando de forma progresiva, traerá duraciones más largas, más incidentes de seguridad, altos precios, etc.

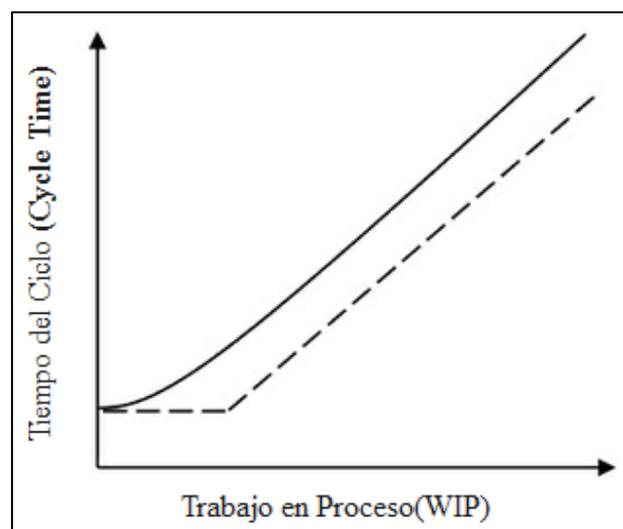


Figura N° 63: Tiempo del ciclo vs WIP

Fuente: Project Production Institute (2016)

Asimismo, si se aumenta el WIP generara que el throughput (rendimiento) aumente hasta lograr ser constante.

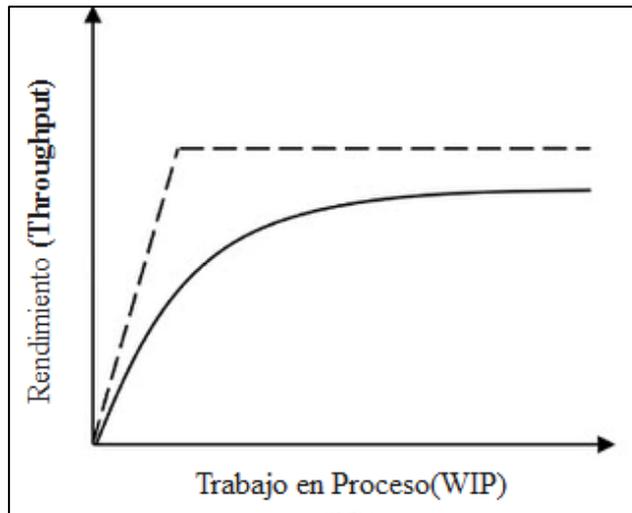


Figura N° 64: WIP vs Rendimiento (Throughput)

Fuente: Project Production Institute (2016)

Por ello, se recomienda maximizar la utilización de la capacidad de cada proceso o sistema de producción aumentará el ciclo de tiempo, pero generará una baja variabilidad.

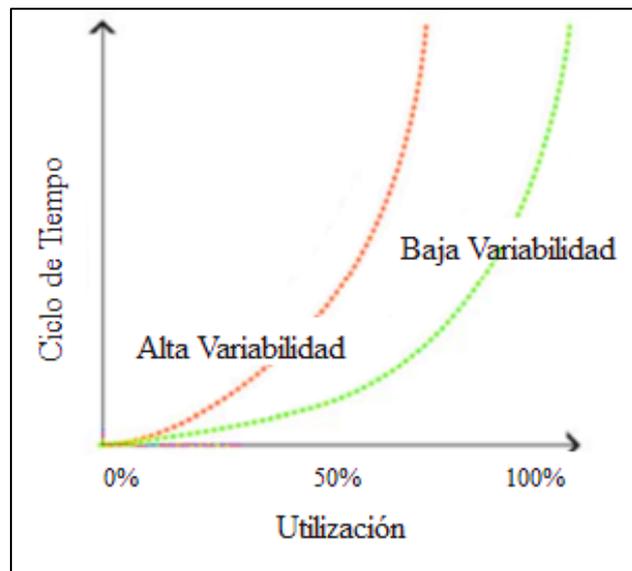


Figura N° 65: Utilización vs Ciclo de Tiempo

Fuente: Project Production Institute (2016)

#### 4.4.5 Proyecto como Sistema de producción

Project Production Management considera el proyecto como un sistema de producción y adopta un enfoque de gestión de operaciones para la ejecución del proyecto. Permite a la gestión de producción de proyectos modelar y predecir

límites en la ejecución del proyecto para un sistema de producción determinado, e identificar con precisión dónde se pueden asignar los búferes para optimizar los parámetros clave de un sistema de producción: rendimiento del sistema, tiempo de ciclo del sistema y WIP del sistema.

Asimismo, el alcance, las fechas de programación y las estimaciones de costos son absolutamente necesarios para los proyectos, pero los sistemas de producción del proyecto dictarán los resultados del proyecto. Comprender e influir en los sistemas de producción de proyectos a través de la Gestión de producción de proyectos es fundamental para lograr los objetivos del proyecto.

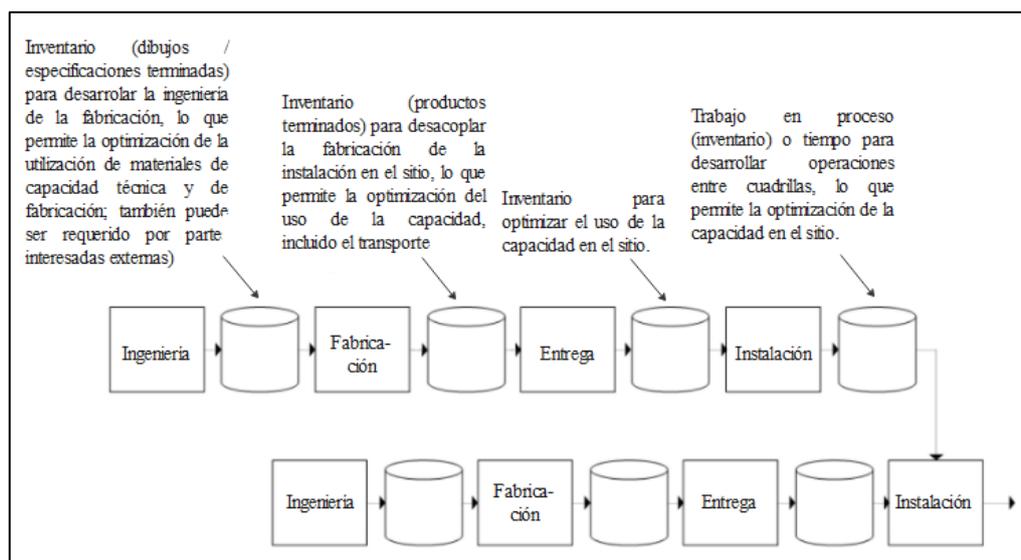


Figura N° 66: Ejemplo de un sistema de producción con la colocación de buffers.

Fuente: Adaptado de Project Production Institute (2016). Cortesía Strategic Project Solutions.

#### a. Push y Pull

Conexión ESAN (2015) menciona lo siguiente:

Las estrategias Push y Pull son utilizadas en ámbitos tan variados como el marketing, la logística y la gestión de servicios/proyectos. En el sistema Push (empujar), las empresas conciben la fabricación de los productos en función de un pronóstico de la demanda o de un itinerario determinado de trabajo. El principal problema de este sistema radica en que no siempre los pronósticos son correctos y a menudo se cae en una sobreproducción, lo que a la larga conlleva a las empresas a desembolsar grandes sumas de dinero de forma innecesaria. Por otro lado, el sistema Pull (jalar) limita la producción en función a una necesidad del consumidor. Cuando un producto es adquirido, se activan los

mecanismos para reemplazarlo. Este sistema permite a las empresas reducir costos en producción e inventarios, así como estructurar los procedimientos de fabricación mediante el uso de posit-it o tarjetas, las cuales ayudan a dividir el proceso en fases determinadas y ordenadas de forma secuencial. En el sistema Pull, el enfoque principal son los consumidores y sus necesidades. (p.1)

#### b. Planificación Pull (Pull Planning)

El objetivo general de la planificación Pull de una fase o hito principal es capturar una imagen general de la planificación del proyecto de manera que todas las partes comprendan el plan, la secuencia de las actividades principales, las restricciones pendientes de liberar, y se asuman los primeros compromisos sobre dicha planificación. Todo esto se realiza de manera colaborativa y cada miembro del equipo podrá transmitir qué necesita del resto para poder cumplir con sus actividades y a su vez tomar conciencia sobre qué es lo que el equipo necesita de él para cumplir con los objetivos del proyecto.

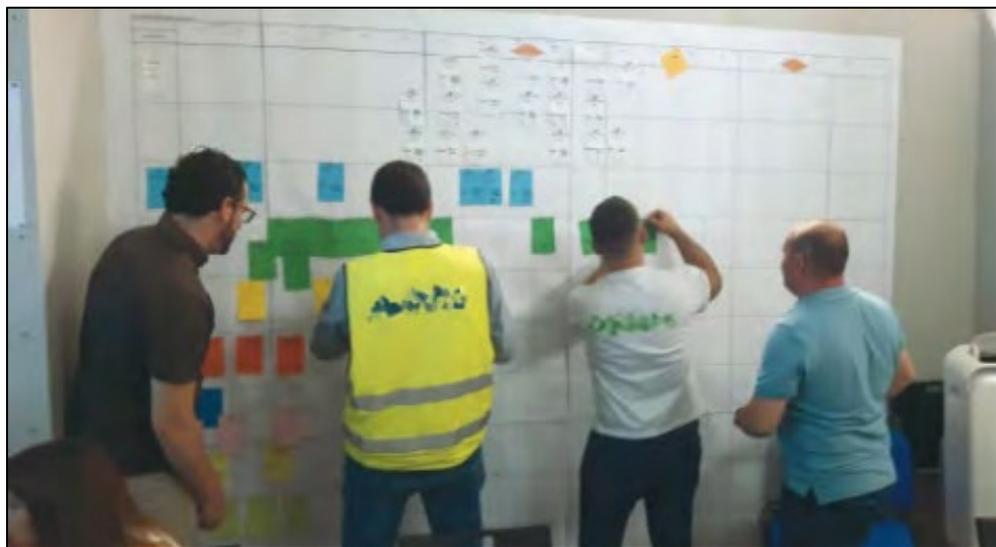


Figura N° 67: Ejemplo de sesión de planificación Pull de una Fase.

Fuente: Metodología Last Planner System por Pons & Rubio (2019)

#### c. Modelos de Planeamiento Lean

##### *Last Planner System (El ultimo planificador)*

LPS pretende llevar los objetivos generales de proyecto a la realidad del día a día, transformando las ideas generales a programas reales subdividiendo la programación por ámbito y zonas aplicando herramientas de programación en cascada. Esta programación en cascada se organiza en tres niveles:

programación a largo plazo (Master Schedule y de fases), a medio plazo (Lookahead Program) y programación semanal (Weekly Work Plan).

El LPS se basa en un sistema Pull, donde la programación se realiza de atrás hacia delante. Una de las ventajas es que las actividades se iniciarán cuando realmente son necesarias y se podrá ver con anticipación posibles conflictos entre éstas.

La metodología LPS supone una revolución en el sector de la construcción y sobre todo en el de nuestro país, dado que no es sólo un método de control de producción, sino que está basado en la filosofía Lean. Asimismo, introduce cuatro conceptos básicos que serán mencionados en el siguiente Figura N°68.

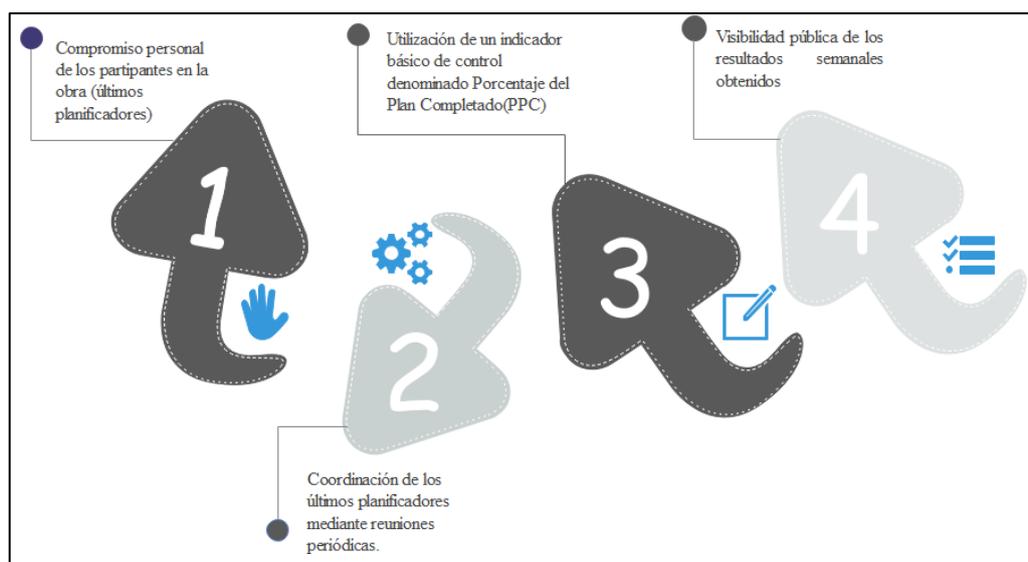


Figura N° 68: Cuatro conceptos básicos que introduce LPS

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, en la figura N°68 se establece un enfoque comparativo de la gestión tradicional y LPS. La figura N°70 presenta un esquema de la gestión tradicional y la figura N°71 el sistema LPS.

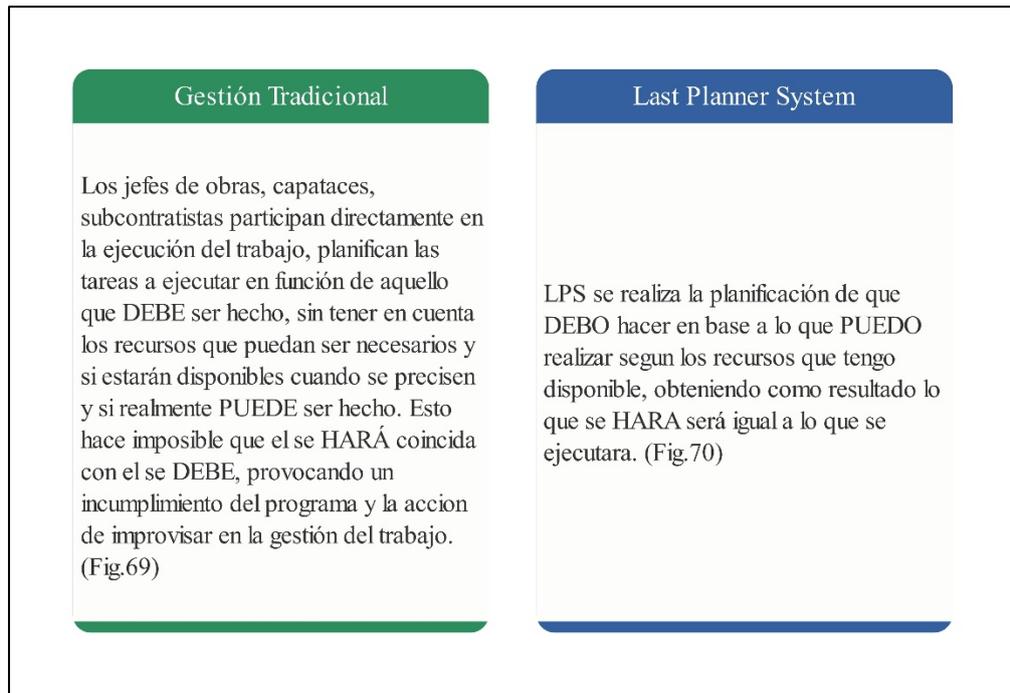


Figura N° 69: Gestión tradicional vs LPS

Fuente: Elaboración propia.

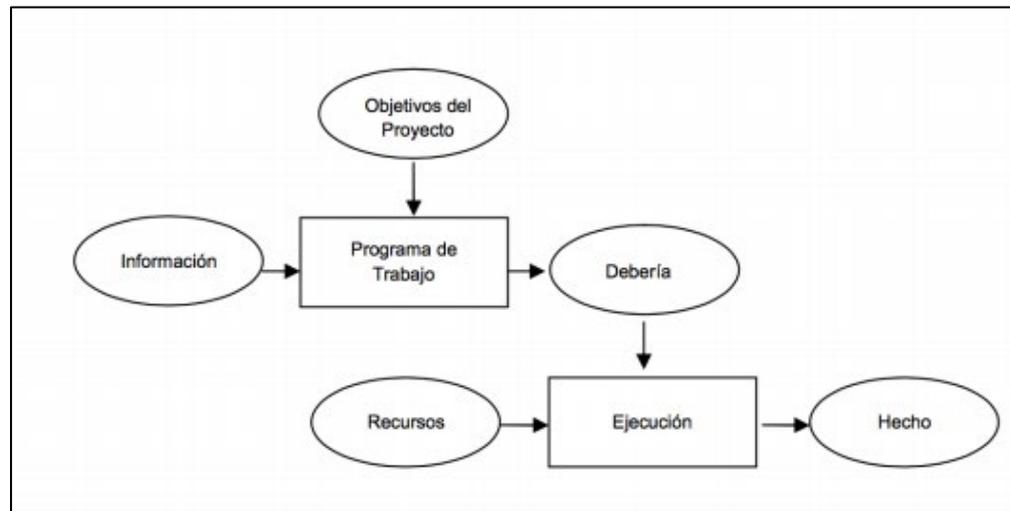


Figura N° 70: Sistema tradicional

Fuente: The Last Planner System of Production Control por Glenn Ballard (2000)

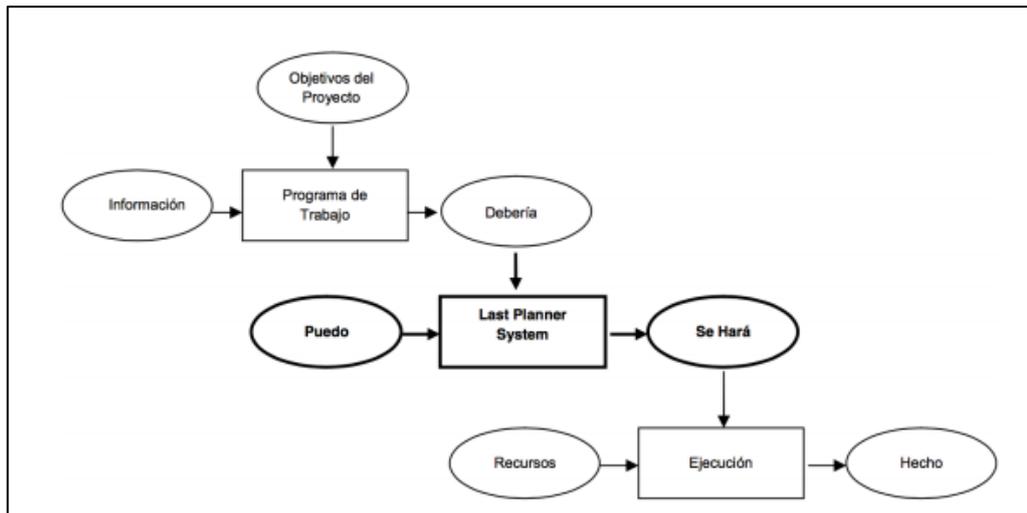


Figura N° 71: Sistema LPS

Fuente: The Last Planner System of Production Control, por Glenn Ballard (2000).

En la figura N°72 se muestra la relación entre él debe-se hará-se puede y las diferentes fases de planificación de la metodología del Last Planner System como planificación a largo plazo (programación maestra, planificación por fases), planificación intermedia(mensual), planificación semanal y aprendizaje (mejora continua).

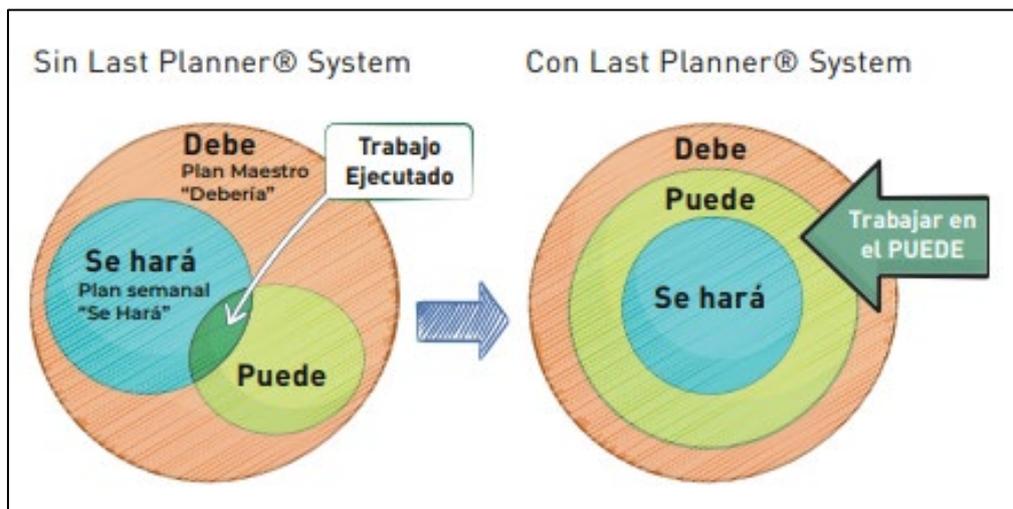


Figura N° 72: Esquema del debe – se hará – se puede

Fuente: Metodología Last Planner System por Pons & Rubio (2019)

- Planificación a Largo Plazo

En la etapa de planificación a largo plazo es cuando definimos el “debe”, es decir, qué es lo que debiera ocurrir en el proyecto. Esta etapa se subdivide a su vez en 2 subetapas, el programa maestro y la planificación por fases.

En la planificación maestra tiene como objetivo establecer el alcance, los hitos más representativos, análisis por parte de todos los interesados del proyecto, definición del EDT, definición de la estrategia a seguir, identificación de recursos críticos, programación general de la obra, costo de las actividades, etc. En esta etapa, es importante identificar las diferentes fases que tendrá el proyecto, entendiendo que para cada fase se deberá realizar lo que se conoce como Planificación de fases.

La planificación por fases, en esta etapa la ventana de tiempo a planificar tiene una duración entre 3 y 6 meses, pudiendo ser más o menos dependiendo de las características del proyecto. Al finalizar esta etapa se tendrá un plan de trabajo consensuado y comprometido por todas las partes en el que además se identificarán las restricciones más importantes o estructurales del proyecto. Para realizar la planificación de fases es frecuente utilizar Pull Planning. De manera que el equipo se centra en el final de la fase y trabaja hacia el comienzo, liberando las actividades para otros miembros del equipo. Se ajustarán los post-it, reflejando la forma en que realmente se va a llevar a cabo. El desarrollo de una Pull Session es una parte integral de la aplicación de Last Planner System para un proyecto, siendo la base para la planificación intermedia.



Figura N° 73: Fotografía de sesión de Planificación maestra.

Fuente: Metodología Last Planner System por Pons & Rubio (2019)



Figura N° 74: Fotografía de sesión de Planificación de varias fases.

Fuente: Metodología Last Planner System por Pons & Rubio (2019)

- Planificación Intermedia (Lookahead)

La planificación intermedia es cuando se define lo que se “puede” realizar, más conocido como Lookahead. En el cual, se destacan actividades que se realizaran en un futuro cercano, pudiendo variar entre 4 a 5 semanas hasta 16 a 16 semanas, dependiendo del proyecto. Para cumplir con el lookahead existen determinados procesos:



Figura N° 75: Procesos del Lookahead

Fuente: Elaboración propia.

El inventario de trabajos ejecutables (ITE) comprende los trabajos con restricciones liberadas que no pudieron ser ejecutadas en la semana en curso, actividades que pertenecen a la primera semana futura que sea desea planificar, o a la segunda semana futura, etc. El ITE facilita una mejor organización y crean valor en la planificación establecida para la continuidad de las distintas actividades.



La programación de trabajo semanal se hace basándose en el ITE, el cual facilita el reconocimiento de actividades que pueden ser ejecutadas, manteniendo un flujo de trabajo confiable, disminuyendo la incertidumbre. Asimismo, establecer el indicador de porcentaje de plan cumplido (PPC), que permite estimar el cumplimiento de lo planificado y realizar mejoras en el sistema de producción. La reunión de planificación semanal, permite analizar las causas de no cumplimiento, revisar y aprender del PPC anterior, tomar medidas correctivas y de mejora, realizar una comparativa de los objetivos alcanzados y propuestos por el proyecto, determinar las siguientes actividades en el Lookahead, determinar el ITE para la próxima semana y formular el plan de trabajo de la siguiente semana.

PLAN SEMANAL															
ID.	ACTIVIDAD	FECHAS		UD.	RESPONSABLE	META		COMPLETADA	SEMANA	Junio					
		INICIO	TERMINO			Comprometida	Alcanzada			1	4	5	6	7	
															V
										1-jun	4-jun	5-jun	6-jun	7-jun	
<b>EDIFICIO</b>															
<b>Ciclo 1 Muros</b>															
	Enferradura	31/05	02/06		JP	100%	100%	1							
	Encofrado	04/06	05/06	m2	IR	100%	95%	0							
	Hormigón	05/06	05/06	m3	MA	100%	0%	0							
	Descimbre y Limpieza	06/06	06/06		IR	100%	0%	0							
<b>Ciclo 2 Muros</b>															
	Enferradura	31/05	04/06		JP	100%	100%	1							
	Moldaje	05/06	06/06	m2	IR	100%	100%	1							
	Hormigón	06/06	06/06	m3	MA	100%	100%	1							
	Descimbre y Limpieza	07/06	07/06		IR	100%	0%	0							
<b>Ciclo 3 Muros</b>															
	Enferradura	31/05	05/06		JP	50%	30%	0							
RESUMEN: Total Cumplidas (4) / Total Actividades (8) = 50%															

Figura N° 79: Ejemplo de un plan semanal o a corto plazo.

Fuente: Metodología Last Planner System por Pons & Rubio (2019)

Tabla N° 15: Fases de planificación del LPS

Relación entre el Debe – Se hará- Se puede y las Fases de Planificación del LPS		
<b>Debería</b>	Programa Maestro	- Establecer hitos y primeros acuerdos.
	Planificación por Fases	- Especificar entregables y fechas de cada equipo/sector.
<b>Se puede</b>	Planificación Intermedia	- Preparar trabajo identificando restricciones y gestionando su liberación.
<b>Se hará</b>	Planificación semanal	- Establecer compromisos de avance para el período.
<b>Se hizo</b>	Aprendizaje	- Medir porcentaje de cumplimiento de compromisos del periodo - Actuar sobre causas de no cumplimiento.

Fuente: Adaptado de Metodología Last Planner System por Pons & Rubio (2019)

Se debe tener en cuenta que existen una variedad de métodos de planeamientos y herramientas Lean que permiten establecer un flujo de trabajo continuo, creando valor y disminuyendo desperdicios. Entre las herramientas Lean, se tiene a Choose by advantages (escoger por ventajas) se refiere a realizar un análisis profundo del cual permita escoger por los beneficios que brindan, Target Value Design (Diseño del valor meta) que establece un valor objetivo y de acuerdo a eso se realiza el diseño, Tack time, se refiere a crear un flujo pieza a pieza con un ritmo determinado (determinado por todos los intervinientes en el flujo) y muchos otros que son proporcionados por la metodología Lean, el cual ayuda a mantener la continuidad del flujo en todo momento.

#### 4.4.6 Factores Controlables PPM

Los factores controlables PPM son las acciones que un equipo se compromete a administrar y controlar para lograr los resultados que prometieron entregar de acuerdo con el planeamiento establecido. Son la clave para generar valor porque convierte las posibilidades de visión creativa y estrategia en acción. Las personas deciden qué deben hacer, lo hacen y luego miden lo que han logrado para que puedan aprender y mejorar. En PPM tenemos por ejemplo los siguientes factores controlables:

- Alcance y nivel de detalle de los planes prospectivos (utilizar modelo BIM LOD 400 para ejecución estructural, etc.)
- Diferentes escalas de planeación (realizar el seguimiento al avance semanal, asegurar los tiempos de diseño y construcción, etc.)
- Frecuencia de las reuniones de retroalimentación (feedback, promover la participación de todos los actores)

#### 4.4.7 Métricas PPM

Las métricas PPM permiten medir el desempeño del sistema de producción. A continuación, ejemplos de métricas.

- Porcentaje de plan completado en la etapa de diseño, construcción (Objetivo. mayor a 95%).
- Porcentaje de confiabilidad de las cantidades extraídas directamente desde un modelo 3D.
- Ratios de modelado 3D por especialidad, de acuerdo al promedio (horas hombre/m<sup>2</sup>).

- Porcentaje de cambios realizados en la planificación antes de la ejecución del proyecto.

#### 4.4.8 Mejora en la Gestión de los Procesos

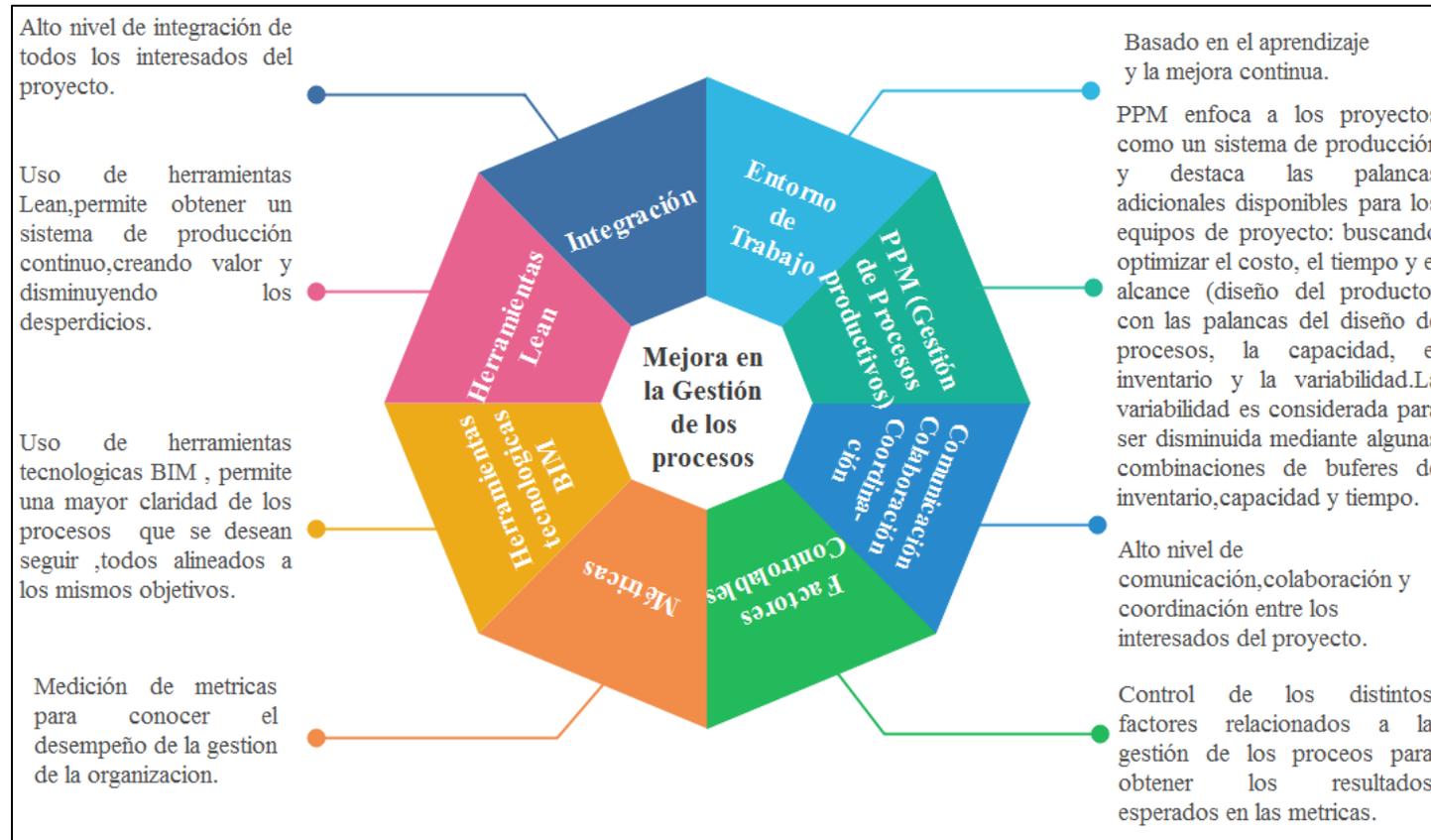


Figura N° 80: Mejora en la gestión de los procesos

Fuente: Elaboración Propia.

## 4.5 Ejemplos de Aplicación

### 4.5.1 Ejemplo VDC: Heathrow Express T5

La estación conocida como Heathrow Express T5, es un ferrocarril compartido y una estación de metro de Londres que sirve como terminal para los servicios de Heathrow Express a Paddington y para los servicios de la Línea London Underground Piccadilly.

En el 2008, para mejorar la confiabilidad de programación del vaciado de concreto en la Extensión Heathrow Express T5 se aplicó VDC. Se obtuvieron los siguientes resultados:

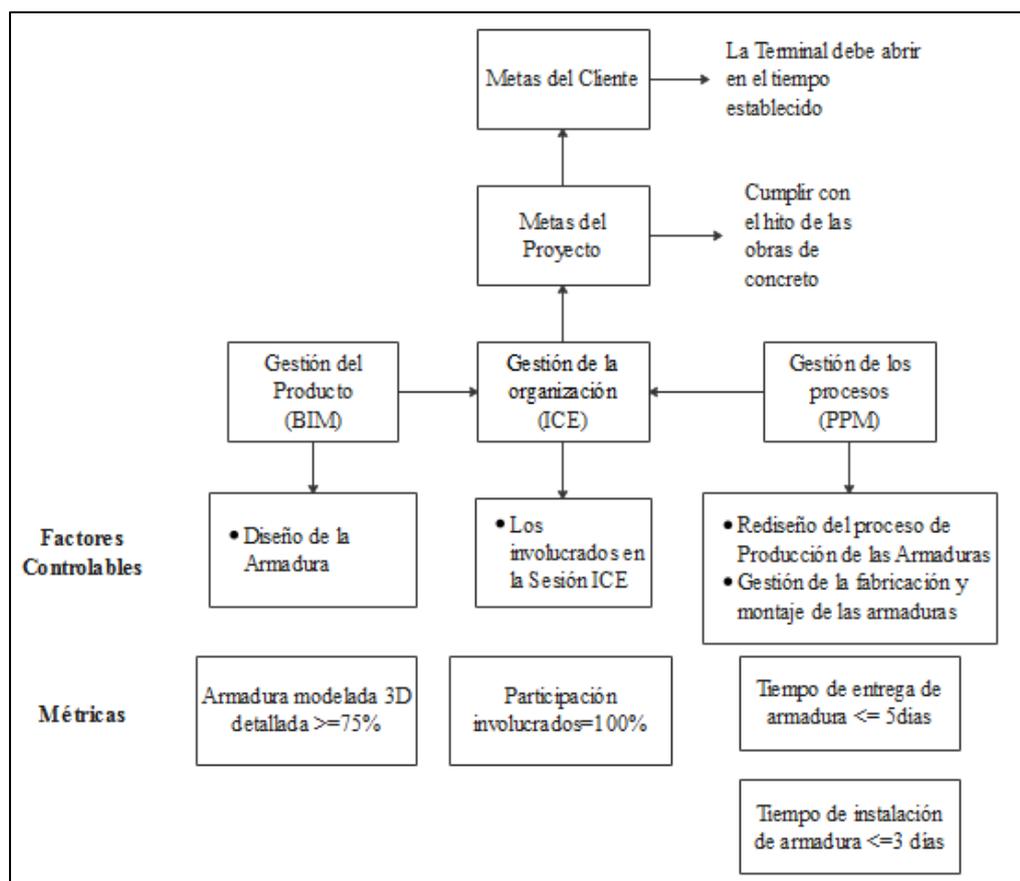


Figura N° 81: Esquema VDC usado en la Extensión Heathrow Express a T5 para mejorar la confiabilidad de programación para el vaciado de concreto.

Fuente: Adaptado de Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC) por Fisher M. (2019)

La gestión del producto (BIM), pudo controlar el uso del diseño de la armadura a un nivel de ingeniería muy detallada que permitió el pre ensamblaje fuera de

obra. La realidad virtual se utilizó para desarrollar estándares de productos y procesos como base para la ingeniería detallada.

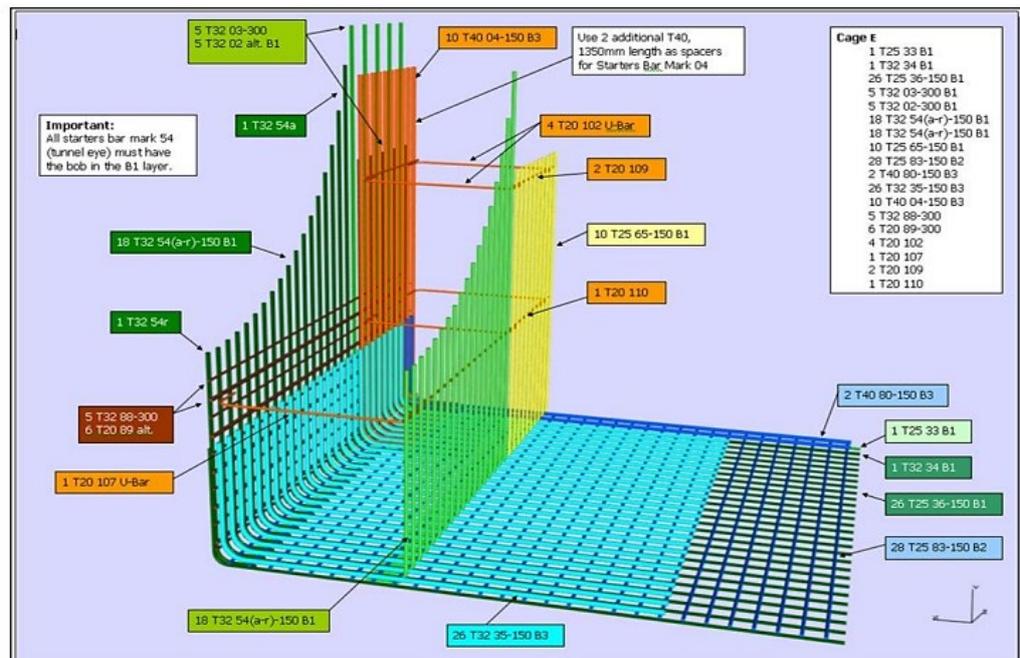


Figura N° 82: Diseño para preensablaje utilizado.

Fuente: Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC) por Fisher M. (2019)

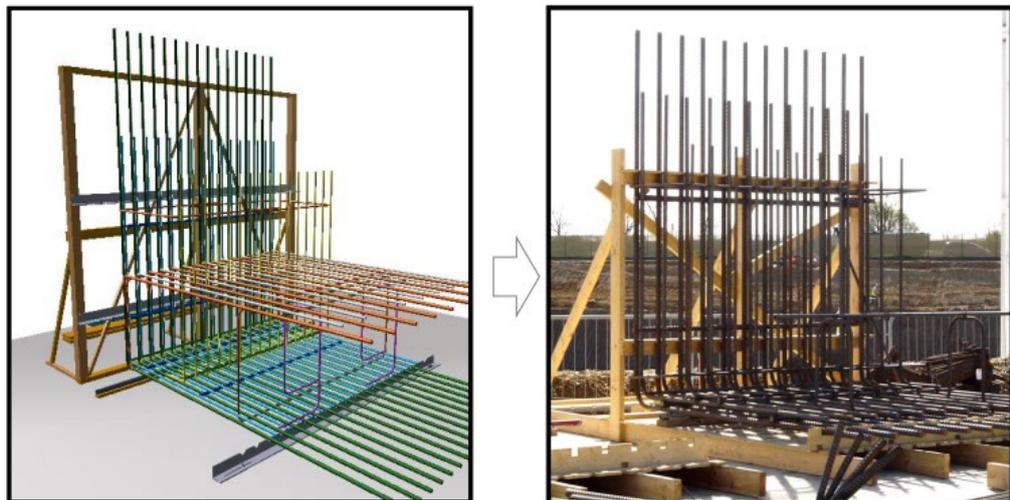


Figura N° 83: Del prototipo digital al físico

Fuente: Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC) por Fisher M. (2019)

Se usó como métricas BIM, el número de conflictos detectados semanalmente y el porcentaje de modelado realizado de las armaduras en 3D. Se obtuvo, una detección semanal de 0 conflictos y más del 75% de la armadura fue modelada en 3D

En la gestión de la organización (ICE), se realizaron sesiones ICE para la integración de todos los interesados del proyecto y para el proceso semanal de construcción digital. Se usó como métricas ICE, el porcentaje de participación de los involucrados en las sesiones ICE. Esto permitió una participación del 100% de los interesados en las sesiones ICE. Asimismo, se obtuvo una mejora en la toma de decisiones, como ejemplo la constructabilidad del diseño confirmada en 1 día por lote semanal.



Figura N° 84: Sesión ICE

Fuente: Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC) por Fisher M. (2019)

Inicialmente, el plazo promedio para los detalles de una armadura y fabricación fue de 6 semanas con más o menos 2 semanas de variabilidad. El proyecto se encontraba en riesgo de no terminar a tiempo. Con la gestión de procesos (PPM), el proceso de detalle y fabricación de armaduras rediseñada paso de un tiempo de 6 semanas a 5 días con un nuevo proceso. Básicamente esto consistió en aplicar una herramienta Lean, conocido como “pull planning” para la producción de armaduras y reducir la variabilidad.

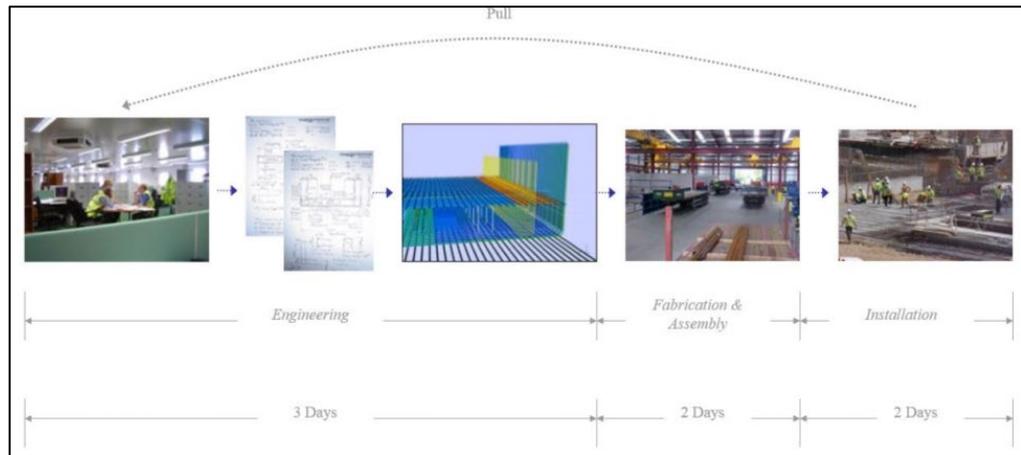


Figura N° 85:Proceso Pull Planning

Fuente: Programa Internacional Virtual Design and Construction (VDC) por Fisher M. (2019)

Se usó como métrica PPM, cantidad de días para la entrega de la armadura, cantidad de días para la instalación de la armadura, etc. Se obtuvo, por ejemplo, un tiempo de entrega de la armadura en 5 días y una instalación de 2 a 3 días. En síntesis, el uso de VDC, permitió obtener buenos resultados en los tres ámbitos de la gestión, logrando cumplir las metas del proyecto y del cliente.

#### 4.5.2 Ejemplo de VDC e IPD: Remodelación de la Villa Deportiva Nacional

Otro proyecto muy reconocido en nuestro país es la “Remodelación de la Villa Deportiva Nacional” de los Juegos Panamericanos 2019. Esto incluía un estadio atlético, velódromo, centro acuático, edificio administrativo, obras exteriores, bowling y pista de calentamiento. Cosapi S.A. gana la buena pro el 05 de diciembre del 2017. El principal problema fue que se tenía era un tiempo límite de 18 meses para que el proyecto estuviera listo antes del inicio de este evento. Esto fomentó la aplicación de la modalidad fast track, VDC, IPD y contratos NEC3. Se debe tener en cuenta que Cosapi S.A en aquel entonces no tenía experiencia nacional en este tipo de estructuras. A continuación, los resultados obtenidos con VDC:

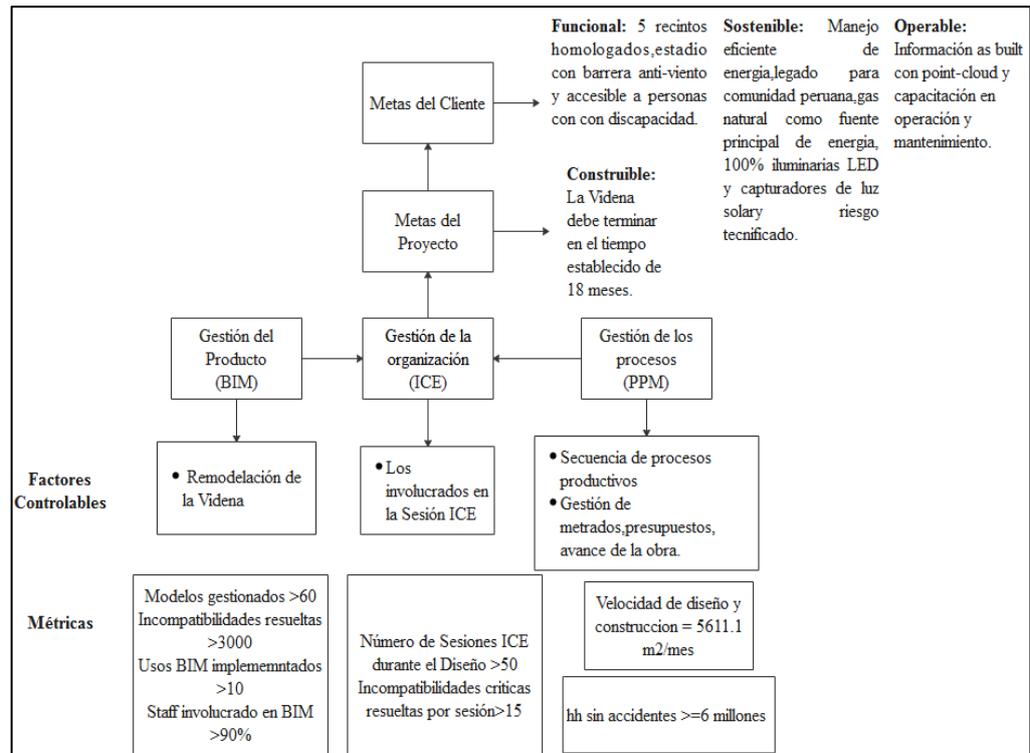


Figura N° 86: Implementación VDC en la VIDENA.

Fuente: Conferencia. IPD/VDC/BIM Para el diseño y construcción de la Videna en los Juegos Panamericanos 2019

Para la remodelación de la Videna, la gestión del producto, BIM proporciono modelos 3D de todos los recintos que estaban vinculados entre sí como estructuras, arquitectura e instalaciones. BIM, permitió una integración de especialidades, información siempre actualizada en tiempo real, trabajo colaborativo, integrado y comunicación efectiva a través de distintas plataformas. Asimismo, el uso de drones y escáner laser facilito realizar el levantamiento de información de la zona y conocer sus condiciones de una manera rápida. Esto permitió obtener un diseño adecuado. El uso de realidad virtual permitió el entendimiento íntegro del proyecto. Las métricas BIM utilizadas permitieron medir su desempeño, mostrando más de 60 modelos gestionados, más de 300 incompatibilidades resueltas, más de 10 usos BIM implementados, más del 90% del staff involucrado en BIM, etc.

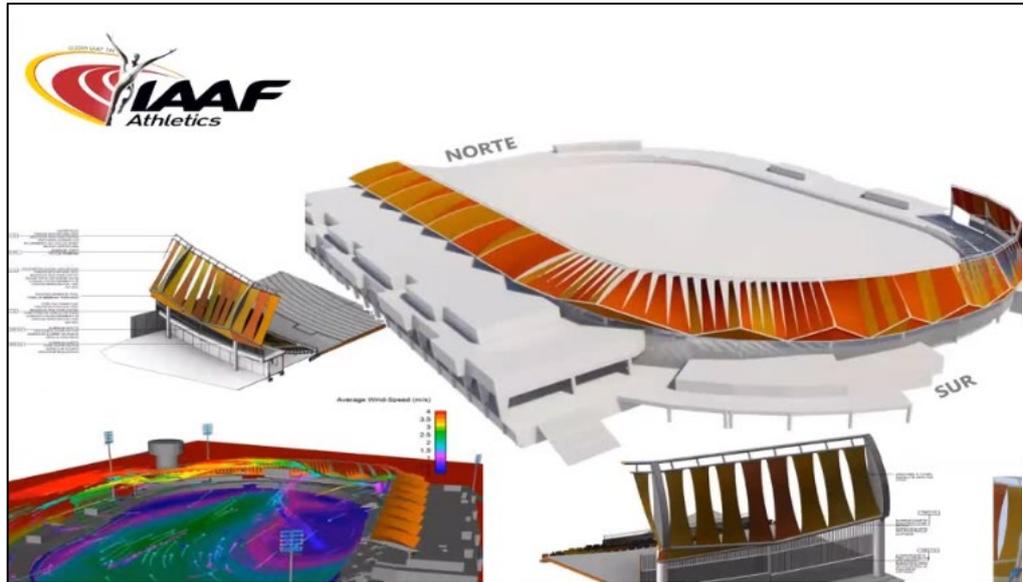


Figura N° 87: Diseño de la barrera de viento en el estadio atlético

Fuente: I Congreso Internacional de VDC

En la gestión de la organización, ICE permitió una integración de todos los interesados para la búsqueda de soluciones frente a problemas en el mismo lugar. Asimismo, interactuar con BIM y con PPM, menor latencia de respuesta, comunicación efectiva y compartimiento rápido de la información. Como métricas ICE, se obtuvieron como resultado más de 50 sesiones ICE en la etapa de diseño, más de 15 incompatibilidades críticas resueltas por sesión, etc.



Figura N° 88: Sesión ICE en la etapa de diseño

Fuente: I Congreso Internacional de VDC

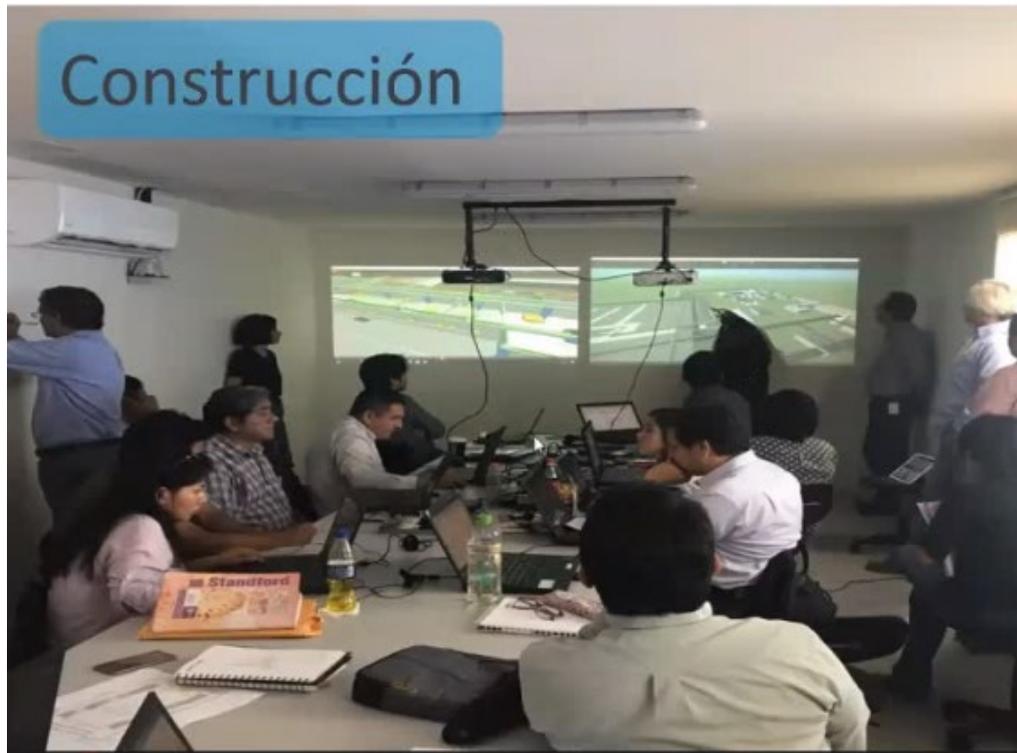


Figura N° 89: Sesión ICE en la etapa de construcción

Fuente: I Congreso Internacional de VDC

En la gestión de los procesos, PPM permitió utilizar herramientas Lean como Kan Ban, pull planning, last planner system con BIM, y otros. Para la elaboración de flujos de procesos bien elaborados, fue necesario la participación de todos los interesados del proyecto. En seguimiento y control implementaron un control de avance real diario denominado como CARD, que se basó en un modelado BIM que contenía el avance del proyecto, el cual permitía comparar lo planificado, ejecutado, acumulado y no ejecutado. Se aplicó una estrategia de prefabricación como vigas pretensadas en bowling, vigas menores en pista de calentamiento, prelosas aligeradas en el estadio, que fue fomentado por el libro IPD. Como métricas PPM, podemos resaltar que la velocidad de diseño y construcción fue de 5611.m2/mes, una velocidad muy rápida que permitió completar la ejecución del proyecto.



Figura N° 90: Interacción Last Planner System con BIM

Fuente: I Congreso Internacional de VDC

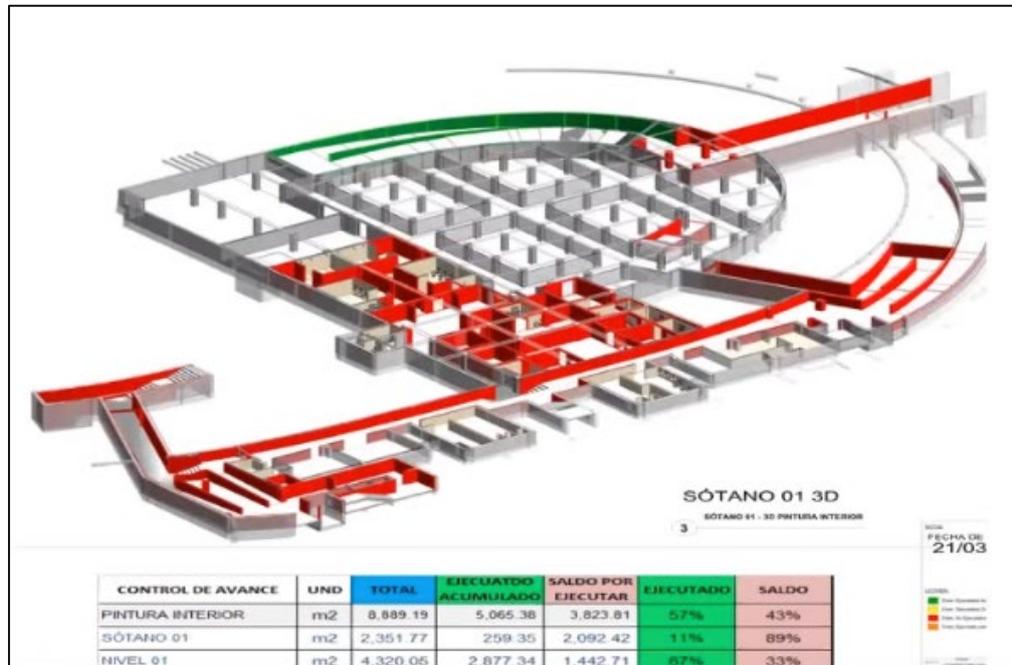


Figura N° 91: Control de avance

Fuente: I Congreso Internacional de VDC

En síntesis, la remodelación de la Videna se realizó en un tiempo de 18 meses, cumpliendo con las metas del proyecto y a su vez con los metas del cliente, siendo funcional, sostenible y operable.

# CAPÍTULO V: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

## 5.1 Resultados de la investigación

1) VDC funciona de la siguiente manera en la gestión del producto:

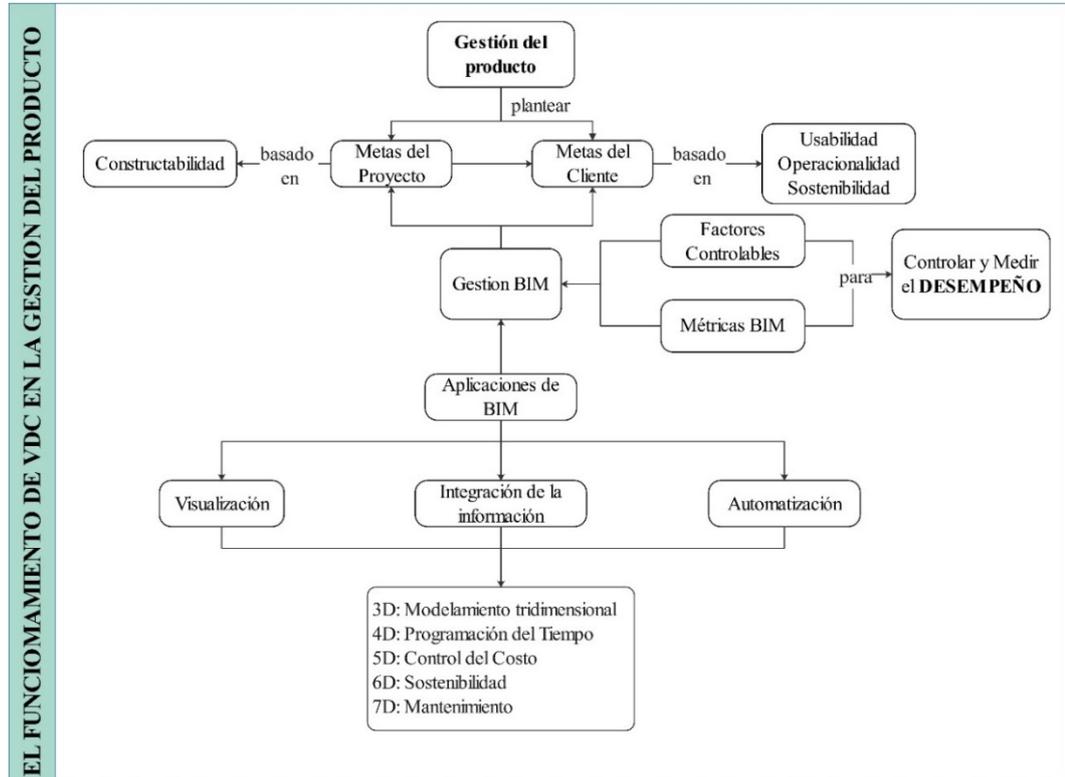


Figura N° 92:VDC en el funcionamiento de Gestión del producto

Fuente: Elaboración propia

2) VDC funciona de la siguiente manera en la gestión de la organización:

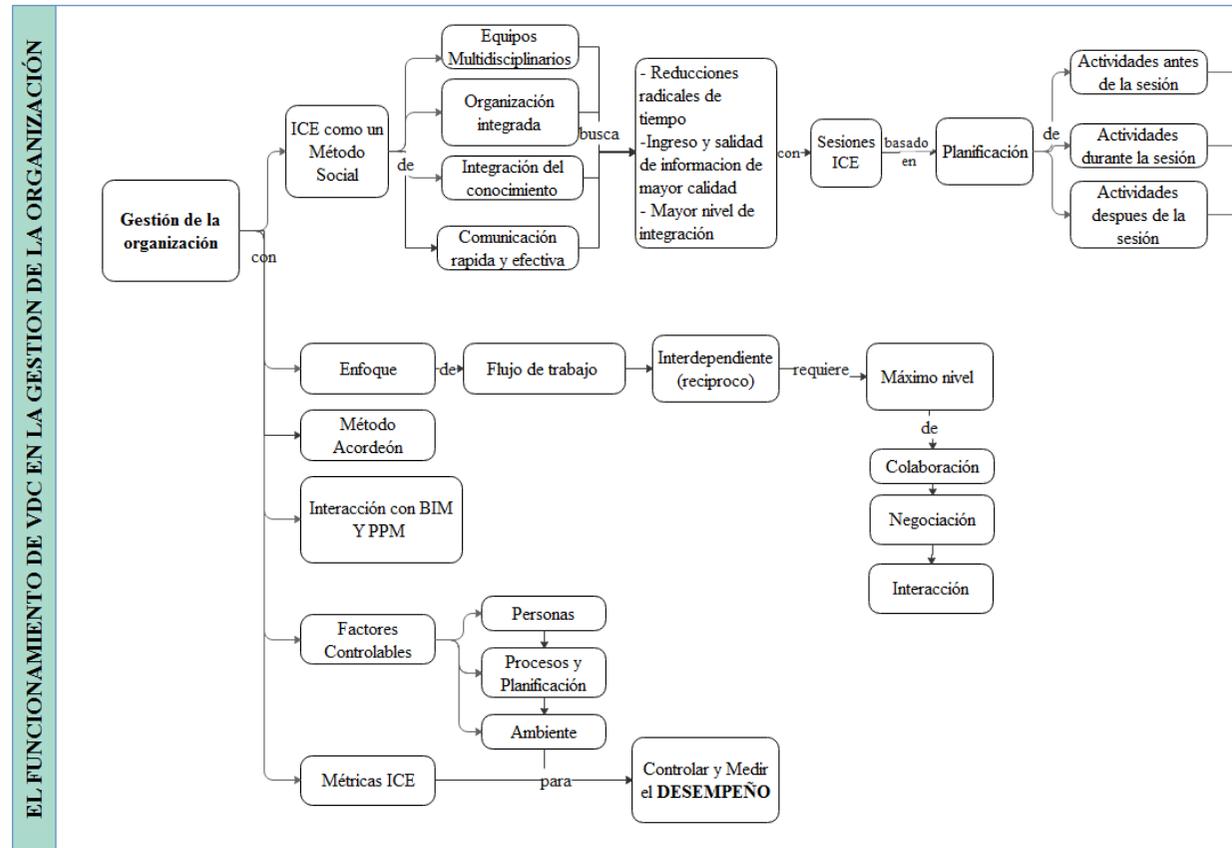


Figura N° 93:VDC en el funcionamiento de Gestión de la organización.

Fuente: Elaboración propia

3) VDC funciona de la siguiente manera en la gestión de los procesos

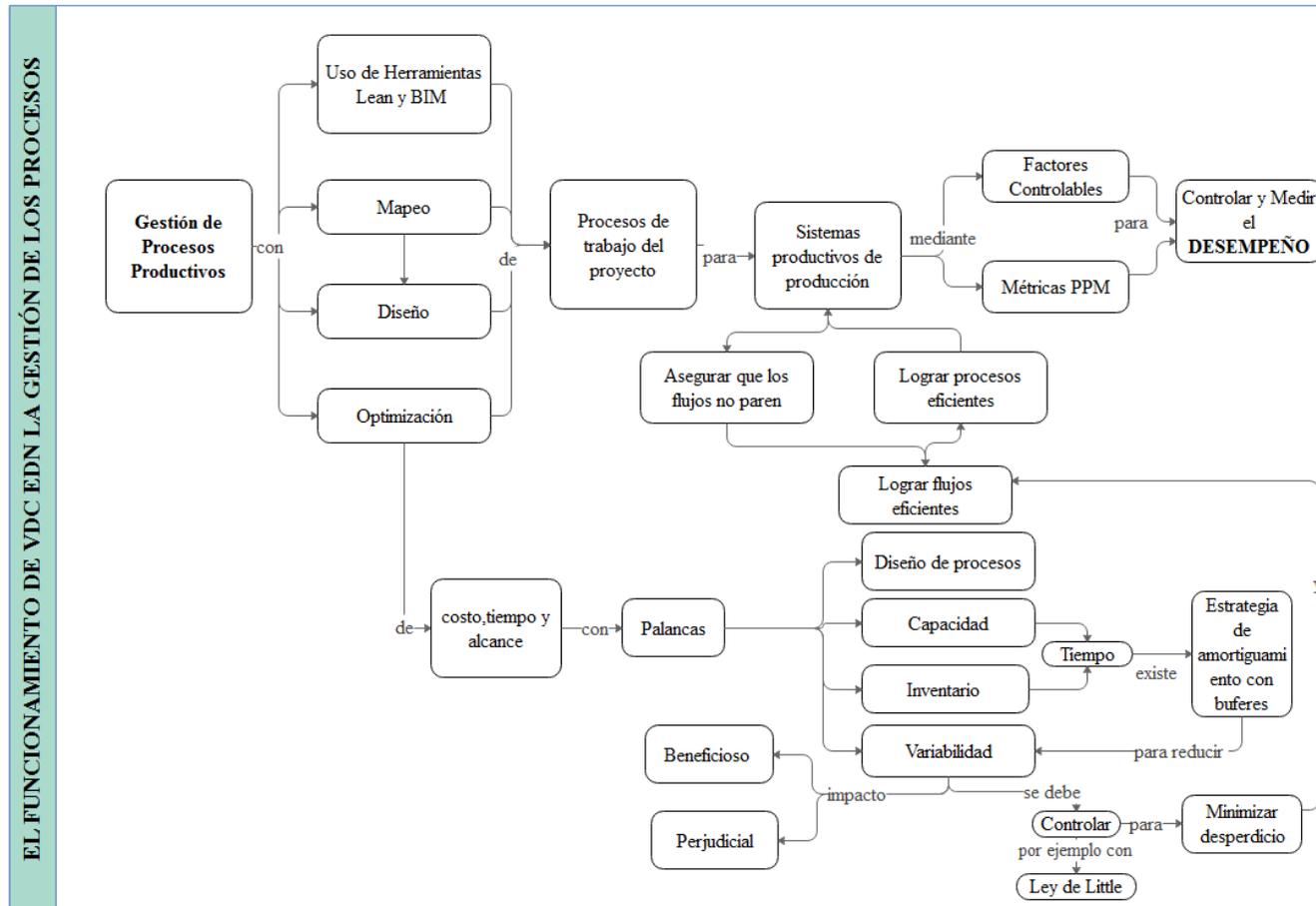


Figura N° 94:VDC en el funcionamiento de Gestión de los Procesos

Fuente: Elaboración propia

## 5.2 Análisis e interpretación de resultados

Se debe enfatizar que VDC, es un marco de trabajo que tiene tres enfoques principales que son el producto, la organización y los procesos. VDC tiene el siguiente funcionamiento en la gestión de proyectos:

El marco VDC mejora la gestión del producto con ayuda de una buena orientación de los objetivos del cliente y del producto, y con el uso de BIM. Las metas del cliente y el proyecto responden a criterios de constructabilidad, uso, operación y sostenibilidad. Estos criterios ayudan al equipo del proyecto a diseñar-construir una edificación de alto desempeño. Por otra parte, el uso de BIM tiene tres aplicaciones importantes en el desarrollo del producto: la visualización, integración de la información y la automatización. Con la visualización podemos ver todos los elementos del proyecto y por ende podemos tener una concepción espacial a como se vería el producto ya finalizado, esto ayuda al equipo del proyecto a alinear de una mejora manera las metas propuestas ya que lo que se ve se construirá. Con la Integración de la Información que puede hacerse con BIM, decimos que toda información que contenga el modelo 3D podrá ser compartida con todos los involucrados del proyecto a su vez si existiera alguna modificación esta se actualizará para todos, y mucho más importante esta información solo necesita ingresarse una sola vez. Para conseguir esto se requiere que antes de poder usar la información, esta debe estar bien estructurada para que pueda cumplir su función de una forma adecuada. Con la Automatización BIM permite al equipo del proyecto lograr ahorra grandes cantidades de tiempo en la generación del modelo 3D, a su vez esta idea de automatizar puede usarse en la programación visual 4D, en la cuantificación 5D, etc. La automatización puede generar mucha información en poco tiempo, que el equipo de proyecto usara para obtener un producto de calidad. Finalmente, con la identificación de los factores controlables y la implementación de métricas VDC controla las decisiones para la mejora de la gestión del producto.

La gestión de la organización con ICE, funciona como un método social de equipos multidisciplinarios, organización integrada, integración del conocimiento y comunicación rápida y efectiva busca reducciones radicales de tiempo (latencia), ingreso y salida de información de mayor calidad y mayor nivel de integración. Asimismo, un punto clave son las sesiones ICE, las cuales reúnen a todos los interesados del proyecto para buscar soluciones de manera rápida, intercambio de

información y toma de decisiones. Se realiza una planificación de manera previa a la sesión, que plantea las actividades a realizar antes, durante y después de la sesión, permitiendo lograr una organización estable, coordinada, preparada y productiva en la sesión. ICE tiene un enfoque de trabajo interdependiente, es decir recíproco que facilita la comunicación con la otra persona de una manera directa sin obstáculos, en la cual se requiere una máxima colaboración, negociación e integración. Las sesiones ICE deben seguir un modelo acordeón, donde se puede dividir al grupo de trabajo para abordar subtemas y luego volver a unirlos para crear la base para otro conjunto posible de estas sesiones grupales. Se puede trabajar en paralelo, ser mucho más rápidos en la resolución de problemas, siempre y cuando se esté trabajando bajo coordinación y colaboración. ICE interacciona con BIM y PPM en las sesiones ICE, con el uso de herramientas BIM, pull planning, mapeo de procesos, y otros, con la finalidad de obtener flujos de trabajo productivos con la mayor claridad y entendimiento posible. Los factores controlables ICE son divididos en personas, procesos y planificación y ambiente. Las personas son controladas mediante sus roles respectivos en el proyecto y sesión ICE, es vital que cada interesado del proyecto conozca su rol en totalidad. Los procesos y planificación permiten crear el espectro de co-ubicación del equipo, la agenda y el cronograma semanal. El ambiente debe estar distribuido y orientado para una interacción rápida entre personas, con equipos tecnológicos, espacios específicos para dinámicas como mapeo de procesos, etc.

La gestión de los procesos con PPM funciona con el uso de herramientas de Lean y BIM, mapeo, diseño y optimización de procesos de trabajo del proyecto con la finalidad de desarrollar sistemas de producción efectivos. Un sistema de producción efectivo debe cumplir con tres objetivos, asegurar que los flujos no paren, lograr flujos eficientes, lograr procesos eficientes. La gestión de proyectos convencional incluye áreas funcionales como el alcance, tiempo, costos, calidad, riesgo y compras. Estas funciones son esenciales para administrar proyectos grandes y complejos, pero no son las únicas actividades requeridas para lograr resultados exitosos. PPM al enfocar la gestión de proyectos como sistemas de producción, busca optimizar el costo, el tiempo y el alcance con las palancas de diseño de procesos, capacidad, inventario y variabilidad. Asimismo, el uso de búferes de capacidad, inventario y tiempo permiten reducir la variabilidad, según la técnica empleada. En la gestión tradicional la variabilidad no es considerada en los trabajos, se asume que todas las

actividades agregan valor, y que el costo del proceso se reduce si se minimizan los costos de todos los subprocesos. Con PPM, los flujos de procesos están compuestos con actividades que sí agregan valor y que no agregan valor (desperdicios). Se enfoca en la minimización y/o eliminación de las pérdidas de un proceso y es dirigido a controlar y minimizar la variabilidad mediante la evaluación de los flujos en su conjunto, como por ejemplo el uso de la ley de Little, que busca reducir el WIP (trabajo en proceso), aumentar el rendimiento y tener ciclos de tiempo reducidos que brinden una variabilidad baja y el flujo de trabajo sea estable. La variabilidad puede tener un impacto perjudicial, como mayor tiempo de entrega, mayores usos de recursos y beneficioso, como el uso de nuevas tecnologías y prácticas.

### 5.3 Discusión

La situación actual del covid-19 en nuestro país ha generado la paralización de muchos proyectos y diversos conflictos en el sector de la construcción como pérdidas económicas, retrasos, retrabajos, etc. Si el país no estuviera atravesando este tipo de situación, se hubiera optado por una tesis de diseño experimental, enfocada en aplicar Virtual Design and Construction en un proyecto específico. Esto hubiera permitido que ambos tesisistas hubieran participado de un proyecto de edificación, para realizar la aplicación de VDC en la gestión de proyectos. Asimismo, mostrar su funcionamiento, aplicación y los resultados obtenidos, generando un valor agregado de entendimiento a la tesis.

A pesar de dicha limitación, se optó por colocar ejemplos de aplicación mostrando sus resultados de una forma general, debido a que se ha logrado recolectar información de distintas fuentes. Los resultados de estos ejemplos de aplicación son limitativos en información debido a la confidencialidad que tienen las empresas que ejecutaron estas obras. Se obtuvo información general, que es brindada al público, más no en detalle. Asimismo, se espera de esta tesis que sirva como base para otro trabajo de investigación, en el cual se realice la aplicación de VDC en un proyecto específico, permitiendo mostrar de forma detallada sus resultados en relación con los tres enfoques.

Por otra parte, como se ha mencionado el conocimiento de VDC en nuestro país es poco, debido a la escasa información que se tiene y fuentes bibliográficas en otro idioma. Es por ello, que se optó por difundir el funcionamiento de VDC en la gestión de proyectos, para buscar un impacto futuro en la adopción de este. Una gran

iniciativa es la implementación de BIM en el sector público, pero se espera que esto mejore de manera gradual cada vez más y se opte por un marco de trabajo más completo para la obtención de mejores resultados. Asimismo, se considera que es ideal el ingreso de profesionales jóvenes que permitan transmitir sus conocimientos en nuevas tecnologías, metodologías, etc. y puedan trabajar de la mano con especialistas experimentados, logrando formar un equipo y aprender mutuamente. Es importante que en esta época de la digitalización se empiece a optar por nuevas opciones de trabajo y veamos de una manera detallada los resultados que podemos obtener, beneficiando no solo a la empresa sino también al cliente.

## CONCLUSIONES

1. El marco de trabajo VDC mejora la gestión del producto en proyectos de edificaciones, como se puede observar en la figura N°29. VDC con el uso de BIM, logra brindar con la visualización, integración de la información y la automatización un producto adecuado con las metas del proyecto y del cliente que son planteados inicialmente. Esto se consigue con el uso de factores controlables y métricas BIM para medir el desempeño de continuamente. Asimismo, se puede revisar el ítem 4.5 ejemplos de aplicación que muestran los resultados exitosos que se han obtenido con la aplicación de VDC en la gestión del producto con BIM.
2. El marco de trabajo VDC mejora la gestión de la organización en proyectos de edificaciones, se puede observar en la figura N°51. VDC con la aplicación de ICE logra brindar mejor colaboración, coordinación, integración temprana, interacción entre BIM y PPM, alineando a todos los interesados del proyecto hacia los mismos objetivos, brindando una organización competente para cumplir con las metas del proyecto y del cliente. Esto se logra únicamente con el uso de factores controlables y métricas ICE para medir el desempeño de manera continua. Asimismo, se puede revisar el ítem 4.5 ejemplos de aplicación que muestran los resultados exitosos que se han obtenido con la aplicación de VDC en la gestión de la organización con ICE
3. El marco de trabajo VDC mejora la gestión de los procesos en proyectos de edificaciones, se puede observar en la figura N°80. VDC con la aplicación de PPM brinda un entorno de trabajo basado en la mejora continua, una integración temprana por parte de los interesados del proyecto, uso de herramientas Lean y BIM, enfoca la gestión de proyectos como sistemas de producción buscando optimizar el costo, el tiempo y el alcance con las palancas de diseño de procesos, capacidad, inventario y variabilidad. Asimismo, el uso de búferes de capacidad, inventario y tiempo permiten reducir la variabilidad, según la técnica empleada. De igual manera, el uso de la ley de Little, que busca reducir el WIP (trabajo en proceso), aumentar el rendimiento y tener ciclos de tiempo reducidos que brinden una variabilidad baja y el flujo de trabajo sea estable. Se debe tener en cuenta que esto se logra únicamente con el uso de factores controlables y métricas PPM para medir el desempeño de manera continua. Por otro lado, se puede revisar el ítem 4.5 ejemplos de aplicación que muestran los resultados exitosos que se han obtenido con la aplicación de VDC en la gestión de los procesos con PPM.

## RECOMENDACIONES

1. Es una gran iniciativa que el estado este introduciendo BIM en sus proyectos, pero se recomienda el uso de VDC porque permite usar BIM de la mejor manera, con sus tres enfoques en producto, procesos y organización (BIM+, PPM e ICE). Un ejemplo claro es el caso de la Villa Deportiva Nacional de los Juegos Panamericanos 2019 con resultados exitosos. Se necesita que las personas empiecen a trabajar de una forma distinta, colaborativa, integrada, alineados por los mismos objetivos, compartiendo riesgos y beneficios, con un uso correcto de herramientas tecnológicas y flujos de trabajo productivos.
2. Para la gestión del producto con BIM es recomendable contar con el equipamiento adecuado de software y hardware de gran potencia para que los trabajos puedan tener una fluidez y ejecución adecuada, recomendable para trabajos de ingeniería usar tarjetas gráficas y equipos Workstation.
3. Para poder entender de forma más profunda PPM y la gestión de los procesos hay que remontarnos a la historia y leer acerca del sistema de producción Toyota y la ciencia de las operaciones. Este es el punto de partida para entender los pensamientos derivados de Lean.
4. Se recomienda tener que adecuar las reuniones ICE con los equipos necesarios como proyectores o pizarras inteligentes que permitan al equipo del proyecto visualizar de manera conjunta el producto que se está generando.
5. Se recomienda que las universidades de pregrado puedan actualizar de manera continua las mallas curriculares, ya que nos encontramos en una época de cambio exponencial donde las herramientas y formas de trabajar están cambiando de manera constante, esto permitirá a los nuevos profesionales salir de la universidad con las mejores capacidades que exige el mercado laboral.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CB Chng, I. L., & Eddie, N. (2017). *Singapore VDC Guide*. 52 Jurong Gateway Road, #11-01, Singapore.
- César Ignacio, O. J. (2011). *Una metodología de análisis para entender el impacto de las estrategias de implementación del diseño y construcción virtual y su interacción con los principios Lean*. (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Católica de Chile. Repositorio Institucional, Santiago de Chile, Chile.
- Cosapi. (4 de Julio de 2019). *El Cosapino*. Obtenido de <https://intranet.cosapi.com.pe/elcosapino/NoticiasDetalle?IDNoticia=27>
- Fisher, M. (2019). *Programa Virtual Design and Construction*. (Universidad de Standford). California, EE.UU.
- Fisher, M., W. Ashcraft, H., Reed, D., & Khanzode, A. (2017). *Integrated Project Delivery*. New Jersey, EE.UU.
- Franco de Souza Ferreyra, P. E., Galán Tirapo, D. J., & García Linares, J. J. (2017). *Aplicación de la metodología VDC a la construcción de edificios multifamiliares de baja densidad, Caso de Estudio: Edificio San Fernando 263 En Miraflores, Lima - Perú*. (Tesis de Pregrado). Universidad de Ciencias Aplicadas. Repositorio Institucional, Lima, Perú.
- Glenn Ballard, H. (2000). *The last planner system of production control. Tesis para el grado de Doctor. Facultad de Ingeniería de la Universidad Birmingham*. Birmingham, Reino Unido.
- Guzman Marquina, C. (2020). Entornos Colaborativos en Proyectos de Construcción.
- Hijar, R. (2016). *Aplicación de VDC*. Conferencia. 1º Misión Tecnológica BIM - VDC, Lima, Perú.
- Khanzode, A. (2020). *Mejorando la habitación grande. Usar flujos de información para mostrar quién importa cuándo y que hacer para que la colaboración sea más eficiente*. DPR Redwood City, California, EE.UU.
- Kunz, J., & Fisher, M. (2009). *Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions*. (Paper). Stanford University, California, EEUU.
- Martínez Ayala, S. J. (2019). *Propuesta de una metodología para implementar las tecnologías VDC/BIM en la etapa de diseño de los proyectos de eficiencia*.

- (Tesis de Pregrado).Universidad Nacional de Piura.Repositorio Institucional, Piura, Perú.
- Matos Vejarano, G. (2016). *Aplicación VDC*. Conferencia.1º Misión Tecnológica BIM - VDC, Lima, Perú.
- Murgía, D. (2017). *Primer Estudio de Adopción BIM en proyectos de edificación en Lima y Callao 2017*. Departamento de Ingeniería.Pontificia Universidad Católica del Perú., Lima, Perú.
- Murguía, D. (2019). *Estudio de Macro Adopción BIM en Perú*. Departamento de Ingeniería.Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Ocaña, J. A. (2013). *Gestión de proyectos con mapas mentales.Vol 1*. España: Club Universitario.
- Padilla Saavedra, N. E., & Quispe Rodriguez, K. E. (2017). *Implementación del VDC (Virtual Design and Construction) en la etapa de planeamiento del proyecto Aloft, para minimizar la cantidad de Solicitudes de Información (SI) y No conformidad(NC), en la etapa de ejecución*. (Tesis de Pregrado).Universidad de Ciencias Aplicadas.Repositorio Institucional, Lima, Perú.
- Paliacho Jácome, M. J. (2014). *Identificar los impactos en los indicadores clave de desempeño(KPI) dentro de la industria AEC por la aplicación de VDC*. (Tesis de Pregrado).Universidad Nacional de Chimborazo.Repositorio Institucional, Riobamba, Ecuador.
- Pons, J., & Rubio, I. (2019). *Colección de Guías Prácticas de Lean Construcción.Lean Construction y la planificación colaborativa.Metología Lat Planner System*. Madrid, España.
- Project Management Institut. (2017). *La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)*. Pennsylvania , EE.UU. : Sexta Edición.
- Project Production Institute. (2016). *Manifiesto*. Obtenido de Project Production Institute.
- Rischmoller, L. (2014). *Ingeniería y Gestión de la Construcción a través de Virtual Design and Construction.III Seminario Internacional Ingeniería Civil - UPC*. Lima, Perú.
- The American Institute of Architects, C. C. (2006). *Integrated Project Delivery : An Updated Working Definition*. Sacramento,California., EE.UU.

Van Rijsbergen, M. (2013). *The application of Virtual Design and Construction in civil engineering projects*. EE.UU.

## ANEXOS

Anexo 1: Lista de profesionales peruanos certificados en VDC

Nº	Fecha	Graduados	Empresa Actual
1	Oct-2020	Alberto Ogata Marcelo	TSC Innovation
2	Oct-2020	Alejandro Palpán Flores	TSC Innovation
3	Oct-2020	Cesar Lazo Castro	CEMA BIM
4	Oct-2020	Gino Veramendi Ramos	TSC Innovation
5	Oct-2020	Guillermo Prado Lujan	Ministerio del Interior del Perú
6	Oct-2020	Jessica De la Cruz Valdez	Poder Judicial del Perú
7	Oct-2020	Liz Patricia Sucasaca	
8	Oct-2020	Manual Manrique Valderrama	TSC Innovation
9	Oct-2020	Ivan Infanzón Gutierrez	Autoridad Nacional de Servicio Civil
10	Oct-2020	Ana Luna Torres	Universidad de Lima
11	Jun-2018	Parcemon Franco Riofrio	Constructora Titan S.A.
12	Ago-2016	Julio Akamine Yanagusuku	
13	Ago-2016	Justo Cabrera Villa	Macrodin
14	Ago-2016	Cristhian Fermín Caña Ramos	C&V Inversiones Inmobiliarias S.A.
16	Ago-2016	Raul Eyzaguirre Vela	Cosapi S.A.
17	Ago-2016	Rolando Hajar Portella	Prometheus Ingenieros SAC
18	Ago-2016	Carlos Jurado Guerra	SUMA
19	Ago-2016	Gerardo Matos	J.E. Contratistas Generales
20	Ago-2016	Javier Otiniano Cabrera	Proyec Contratistas Generales
21	Ago-2016	Jorge Otiniano Cabrera	Proyec Contratistas Generales
22	Ago-2016	Luis Felipe Quiroz Mory	TSC Innovation
23	Ago-2016	Jose Daniel Uehara Yagi	Constructora Arcadia SAC
24	Ago-2016	Erika Pamela Valle Benites	TSC Innovation
25	Ago-2016	Sergio Villanueva-Meyer	Cosapi S.A.
26	Dic-2013	Omar Alfaro Félix	Graña y Montero
27	Dic-2013	Carlos Delgado Barrio de Mendoza	MEGACENTRO
28	Dic-2013	Walter Meléndez Bernardo	Constructora Arte Limitada
29	Dic-2013	Jorge Miranda Gamarra	MCP Consultores
30	Dic-2013	Danny Murguia Sanchez	PUCP
31	Dic-2013	Marco Fabio Pineda Romero	Urbanova Inmobiliaria
32	Dic-2013	José Antonio Taboada García	Graña y Montero

## Anexo 2: Guías de documentación

<b>Ítems</b>	Definición
<b>Título</b>	Integrated Project Delivery
<b>Autor</b>	Fischer Martin, Khanzode Atul; Reed Dean P, Ashcraft Howard
<b>Año</b>	2017
<b>Idioma</b>	Ingles
<b>Tipo de información</b>	Libro
<b>Importancia del contenido</b>	Alto: Libro escrito por los fundadores del CIFE de la universidad de Stanford, creadores del marco VDC, que explican sobre como VDC es el habilitador del marco IPD.

<b>Ítems</b>	Definición
<b>Título</b>	Transforming Design and Construction
<b>Autor</b>	Seed William
<b>Año</b>	2010
<b>Idioma</b>	Ingles
<b>Tipo de información</b>	Libro
<b>Importancia del contenido</b>	Medio: Libro que ofrece una perspectiva más amplia del pensamiento Lean para poder definir términos en el uso de PPM en la gestión de los procesos.

<b>Ítems</b>	Definición
<b>Título</b>	Curso Internacional de Virtual Design and Construction
<b>Autor</b>	CIFE Universidad de Stanford
<b>Año</b>	2019
<b>Idioma</b>	Ingles
<b>Tipo de información</b>	Clases Virtuales
<b>Importancia del contenido</b>	Alto: Contenido que abarca VDC de manera profunda por ser impartido de los mismos creadores.

<b>Ítems</b>	Definición
<b>Título</b>	UNE-ISO 19650 1, 2
<b>Autor</b>	UNE Normatividad española
<b>Año</b>	2019
<b>Idioma</b>	Español
<b>Tipo de información</b>	Norma
<b>Importancia del contenido</b>	Medio: Contenido que sirve para la definición de términos y de los requisitos en la organización de la información con BIM.

<b>Ítems</b>	Definición
<b>Título</b>	Integration Enabled by Virtual Design & Construction as a Lean Implementation Strategy
<b>Autor</b>	Rischmoller Leonardo, Reed Dean, Khanzode Atul, Fischer Martin
<b>Año</b>	2018
<b>Idioma</b>	Ingles
<b>Tipo de información</b>	Artículo de investigación
<b>Importancia del contenido</b>	Alta: Explicación general resumida de VDC y sus componentes en la habilitación de IPD

Anexo 3: Matriz de Consistencia

<b>Problemas</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variable</b>	<b>Tipo, Nivel</b>
<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>		
¿De qué manera el marco de trabajo Virtual Design and Construction (VDC) mejora la Gestión en Proyectos de Edificaciones?	Difundir el marco de trabajo Virtual Design and Construction (VDC) con la finalidad de mejorar la Gestión en los Proyectos de Edificaciones a través de una recopilación documental	-	Gestión	La investigación es de tipo y nivel exploratorio, orientación aplicada, enfoque Cualitativo Documental.
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Especifica</b>	<b>Dimensiones</b>	
¿De qué manera el marco de trabajo VDC mejora la Gestión del Producto en Proyectos de Edificaciones?	Describir el funcionamiento de VDC en la mejora de la Gestión del Producto en Proyectos de Edificaciones	-	Gestión del Producto	
¿De qué manera el marco de trabajo VDC mejora la Gestión de la Organización en Proyectos de Edificaciones?	Describir el funcionamiento de VDC en la mejora de Gestión de la Organización en Proyectos de Edificaciones	-	Gestión de la Organización	
¿De qué manera el marco de trabajo VDC mejora la Gestión de los Procesos en Proyectos de Edificaciones?	Describir el funcionamiento de VDC en la mejora de la Gestión de los Procesos en Proyectos de Edificaciones	-	Gestión de los Procesos	