

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS:**

**IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA INTEGRADO  
BIM - LEAN- GREEN (BLG) EN LA FASE DE DISEÑO  
DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN**

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

**PRESENTADO POR:**

**Bachiller: Miguel Fustamante Huamán**

**ASESOR:**

*Ing. Mag. Hugo Miranda Tejada*

**Cajamarca - Perú**

**2014**

## **DEDICATORIA**

### **A Dios**

Por iluminarme y bendecirme durante toda mi vida.

### **A mis padres**

Félix Fresolina Huamán Núñez y Mario Fustamante Gálvez: Por su apoyo inagotable e incondicional a lo largo de toda mi vida, que sin su ayuda no habría logrado llegar hasta el sitio de un verdadero profesional.

### **Familiares**

Hortensia Núñez Benavides, mi incondicional abuela, por su apoyo siempre oportuno durante mis estudios superiores, a quien le debo todo cuanto ahora soy. Apreciados agradecimientos se deben también mis hermanos Adelaida, David y Denis, por su constante motivación para lograr mis metas y objetivos.

## **AGRADECIMIENTO**

### **A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

A mi alma máter la Universidad Nacional de Cajamarca.

### **AL ASESOR**

Ing. Hugo Miranda Tejada, por sus consejos, profesionalismo y su incondicional asesoramiento a lo largo del desarrollo de esta tesis, que sin su ayuda no hubiera podido culminar exitosamente este trabajo.

### **A MIS AMIGOS.**

A mis amigos, amigas, y todas las personas quienes siempre estuvieron a mi lado; mostrándome su apoyo y constante motivación para culminar estas líneas que reflejan mucho esfuerzo y meses de investigación: Nils R. Cáceres, Juan P. Bustamante, Hernán Villar, José Soto, Mayle Fernández, Rodrigo Mamani y Sebastián Zegarra, entre otros.

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b> .....	i
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	ii
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	iii
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES</b> .....	viii
<b>RESUMEN</b> .....	ix
<b>ABSTRACT</b> .....	x
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	xi
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Formulación del problema.....	5
1.3. Hipótesis y variables.....	5
1.4. Justificación de la investigación.....	6
1.5. Alcances y limitaciones.....	6
1.6. Objetivos.....	7
1.7. Estructuración de la tesis.....	8
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b> .....	9
2.1. Antecedentes teóricos.....	9
2.2. Bases teóricas.....	11
2.2.1. Proyectos de construcción.....	11
2.2.1.1. Definición de proyecto.....	11
2.2.1.2. Ciclo de vida de un proyecto de construcción.....	12
2.2.1.3. Fases de un proyecto de construcción.....	13
2.2.1.4. Procesos de un proyecto de construcción.....	16
2.2.1.5. Involucrados o stakeholders.....	16
2.2.2. Gestión de proyectos de construcción.....	17
2.2.2.1. Historia de la gestión de proyectos de construcción.....	18
2.2.2.2. Métodos de gestión de proyectos de construcción.....	20
2.2.3. Gestión de la información en la construcción.....	24
2.2.3.1. Tecnologías de la Información y la Comunicación TIC.....	25
2.2.4. Diseño y Construcción Virtual VDC.....	26
2.2.4.1. Modelos VDC de producto, organización y procesos.....	27
2.2.4.2. Relación entre VDC y BIM.....	27
2.2.5. Modelamiento de la Información de la Construcción (Building Information Modeling BIM).....	28
2.2.5.1. Definición BIM.....	29
2.2.5.2. Historia BIM.....	31
2.2.5.3. Fundamentos BIM.....	32
2.2.5.4. Aplicaciones BIM en la industria a de la construcción.....	33
2.2.5.5. Beneficios BIM durante el ciclo de vida del proyecto.....	34
2.2.5.6. Ventajas y amenazas de BIM.....	37
2.2.5.7. Niveles de implementación BIM.....	38
2.2.5.8. Modelos BIM.....	39
2.2.5.9. BIM vs CAD.....	44
2.2.5.10. Adopción BIM en el mundo, Latinoamérica y en el Perú.....	44

2.2.6.	Diseño y Construcción Sin Perdidas (Lean Design and Construction LEAN)....	46
2.2.6.1.	Definición Lean.....	46
2.2.6.2.	Orígenes de Lean.....	47
2.2.6.3.	La Teoría de producción TFV .....	48
2.2.6.4.	Principios Lean.....	49
2.2.6.5.	Productividad en la construcción .....	50
2.2.6.6.	El concepto de valor y desperdicio .....	52
2.2.6.7.	Sistema de Entrega de Proyectos Sin Perdidas (LPDS).....	53
2.2.6.8.	Sistema Último Planificador (Last Planner System LPS) .....	57
2.2.6.9.	Beneficios Lean .....	60
2.2.7.	Diseño y Construcción Sostenible (GREEN Design and Construction).....	61
2.2.7.1.	Definición Green.....	62
2.2.7.2.	Historia Green .....	63
2.2.7.3.	Impacto del entorno construido en el medio ambiente.....	64
2.2.7.4.	Rompiendo el mito que un diseño sostenible siempre es más costoso.....	65
2.2.7.5.	Decisión, obstáculos y objetivos del diseño y construcción Green.....	65
2.2.7.6.	Criterios Green .....	66
2.2.7.7.	BIM para el diseño y construcción Green .....	68
2.2.7.8.	Beneficios del diseño y construcción Green .....	69
2.2.7.9.	Necesidad de procesos integrados de diseño .....	69
2.2.7.10.	Construcción sostenible en el mundo, Sudamérica y el Perú .....	70
2.2.8.	Modelo tradicional de diseño .....	71
2.2.8.1.	Gestión tradicional de los proyectos de construcción .....	73
2.2.8.2.	Generación de la información en los proyectos convencionales .....	74
2.2.8.3.	Flujo de la información tradicional en los proyectos.....	75
2.2.8.4.	Sistema tradicional de entrega de proyectos .....	77
2.2.8.5.	Modelo Diseño-Licitación-Construcción o Design-Bid-Build (DBB).....	79
2.2.8.6.	Modelo Diseño-Construcción o Design-Build (DB).....	80
2.2.8.7.	Deficiencias, causas e impactos del modelo tradicional de diseño .....	82
2.2.8.8.	Limitaciones actuales del sistema tradicional .....	84
	<b>CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>87</b>
3.1.	Ubicación de la investigación .....	87
3.2.	Población y muestra.....	87
3.3.	Tipo de investigación .....	89
3.4.	Metodología y procedimiento de investigación .....	89
3.5.	Metodología específica del Sistema Integrado BLG .....	92
3.2.1.	La conexión entre BIM-Lean-Green.....	92
3.2.2.	Relaciones de interacción.....	94
3.2.2.1.	Diseño del sistema de producción en el Sistema Integrado BLG.....	95
3.2.2.2.	Integración en el Sistema Integrado BLG .....	97
3.2.2.3.	Colaboración en el Sistema Integrado BLG .....	98
3.2.2.4.	Diseño basado en modelos en el Sistema Integrado BLG .....	100
3.2.2.5.	Costo objetivo en el Sistema Integrado BLG .....	107
3.2.2.6.	Diseño y construcción sostenible en el Sistema Integrado BLG .....	108
3.2.2.7.	Transparencia de procesos en el Sistema Integrado BLG .....	109
3.2.2.8.	Creatividad, innovación y procesos de mejora continua en el Sistema Integrado BLG.....	110
3.2.2.9.	Constructabilidad en el Sistema Integrado BLG .....	113

3.2.2.10.	Gestión del diseño basado en competencias en el Sistema Integrado BLG	114
3.2.3.	El Sistema Integrado BLG	115
3.2.4.	El Ambiente BLG	118
3.2.5.	Equipo de diseño BLG	118
3.2.6.	Implementación del Sistema Integrado BLG en la construcción	120
3.2.7.	El Sistema Integrado BLG como nuevo enfoque de gestión	122
3.2.8.	Reconfiguración contractual para la implementación del Sistema Integrado BLG	124
3.2.9.	Cambio de cultural para la implementación del Sistema Integrado BLG	125
3.2.10.	Regulaciones e intervenciones del estado para la implementación del Sistema Integrado BLG	125
3.2.11.	Adopción de herramientas tecnologías TIC en el Sistema Integrado BLG	126
3.2.12.	Beneficios de la adopción de diseño del Sistema Integrado BLG	128
3.6.	Caso de estudio	128
3.3.1.	Alcance del proyecto	129
3.3.2.	Características del proyecto	129
3.3.3.	Gestión integral del proyecto	130
3.3.3.1.	Gestión del Diseño del proyecto	131
3.3.3.2.	BIM, Lean y Green en la fase de diseño del proyecto	134
3.3.3.3.	Gestión de la fase de construcción del proyecto	141
3.3.3.4.	Sistema del Último Planificador (LPS) y Análisis de Restricciones	141
	<b>CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	149
4.1.	Análisis y discusión de resultados	149
4.2.	Contrastación de hipótesis	152
	<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	153
5.1.	Conclusiones	153
5.2.	Recomendaciones	154
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b>	155
	<b>ANEXOS</b>	158
(i)	PROYECTO: Construcción del Skate Park- Cajabamba	158
(ii)	PROYECTO: Mejoramiento del Albergue de Niños Pampa Grande Cajabamba	159
(iii)	PROYECTO: Construcción de la Tribuna Preferencial del Estadio Municipal en el Distrito Cajabamba-Cajabamba-Cajamarca	161

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N° 1:</b> Estructuración en fases de un proyecto de construcción de los sectores público y privado en el Perú. ....	14
<b>Tabla N° 2:</b> Principales involucrados durante el ciclo de vida de un proyecto de construcción .....	17
<b>Tabla N° 3:</b> Revisión histórica del desarrollo de las metodologías de la gestión de proyectos.....	19
<b>Tabla N° 4:</b> Matriz de procesos y áreas de conocimientos para la gestión de proyectos .....	22
<b>Tabla N° 5:</b> Herramientas TIC, más resaltantes en la industria de la construcción.....	25
<b>Tabla N° 6:</b> Modelo POP, estado de la forma, función y comportamiento del producto, organización y procesos..	27
<b>Tabla N° 7:</b> Revisión histórica en el desarrollo del software permitiendo a la tecnología implementar BIM .....	32
<b>Tabla N° 8:</b> Fundamentos de la Metodología BIM.....	33
<b>Tabla N° 9:</b> Aplicaciones de BIM en la industria de la construcción.....	33
<b>Tabla N° 10:</b> Revisión histórica del desarrollo de la Filosofía Lean .....	48
<b>Tabla N° 11:</b> La teoría de producción TFV.....	49
<b>Tabla N° 12:</b> Principios básicos originales de Lean Construction en ciclo de vida de un proyecto de construcción	49
<b>Tabla N° 13:</b> Principios Lean Construction revisados por Sacks <i>et al.</i> (2010) en el ciclo de vida de un proyecto de construcción.....	50
<b>Tabla N° 14:</b> Productividad en la industria de la construcción en Sudamérica. ....	51
<b>Tabla N° 15:</b> Revisión histórica del desarrollo del Diseño y Construcción Sostenible .....	64
<b>Tabla N° 16:</b> Impactos del entorno construido en el medio ambiente .....	65
<b>Tabla N° 17:</b> Criterios y principios Green, durante el ciclo vida de un proyecto de construcción.....	67
<b>Tabla N° 18:</b> Sistemas de Entrega de Proyectos (PDS) tradicional en el sector público en el Perú.....	78
<b>Tabla N° 19:</b> Ventajas y Desventajas del Sistema Tradicional de Entrega de Proyectos DBB en el Perú. ....	80
<b>Tabla N° 20:</b> Ventajas y desventajas del Sistema Tradicional de Entrega de Proyectos DB en el Perú. ....	82
<b>Tabla N° 21:</b> Deficiencias, causas e impactos del modelo tradicional de diseño.....	83
<b>Tabla N° 22:</b> Tipo de investigación según los criterios más importantes .....	89
<b>Tabla N° 23:</b> Metodología para el desarrollo de la investigación .....	90
<b>Tabla N° 24:</b> Relación de interacción entre BIM, Lean, y Green.....	94
<b>Tabla N° 25:</b> Fundamentos del Sistema Integrado BLG .....	117
<b>Tabla N° 26:</b> Benéficos del Sistema Integrado BLG en la ciclo de vida de un proyecto de construcción. ....	128
<b>Tabla N° 27:</b> Componentes de diseño para el Proyecto Ciudad Nueva Fuerabamba. ....	132
<b>Tabla N° 28:</b> Viviendas tipo del Proyecto Ciudad Nueva Fuerabamba .....	134
<b>Tabla N° 29:</b> Lookahead del proyecto en el Área de Producción-Viviendas .....	143
<b>Tabla N° 30:</b> Análisis de restricciones del Lokahead del proyecto.....	144
<b>Tabla N° 31:</b> Análisis de las causas de incumplimiento del proyecto.....	145
<b>Tabla N° 32:</b> Indicador de productividad .....	147

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 1:</b> Sistema tradicional de entrega de proyectos en el sector construcción .....	2
<b>Figura N° 2:</b> Estructura y niveles típicos de costo y dotación de personal durante el ciclo de vida del proyecto. ....	12
<b>Figura N° 3:</b> Impacto de la variable en función del tiempo del proyecto. ....	13
<b>Figura N° 4:</b> Ciclo de Vida de un proyecto de construcción.....	14
<b>Figura N° 5:</b> Fases en el ciclo de vida de un proyecto de inversión pública en el Perú.....	15
<b>Figura N° 6:</b> Fases del proyecto en relación con el impacto de costo. ....	15
<b>Figura N° 7:</b> Relación entre Grupos de Procesos en una fase de un proyecto de construcción. ....	16
<b>Figura N° 8:</b> El Enfoque Lean Construction.....	21
<b>Figura N° 9:</b> Enfoque del PMI (E: Entradas, S: Salidas).....	21
<b>Figura N° 10:</b> Enfoque del Instituto Goldratt. ....	22
<b>Figura N° 11:</b> Modelo de Proceso PRINCE2. ....	23
<b>Figura N° 12:</b> Relación entre VDC y BIM.....	28
<b>Figura N° 13:</b> Significado de BIM para la industria de la construcción. ....	30
<b>Figura N° 14:</b> Porcentaje de constructores citando los beneficios BIM. ....	35
<b>Figura N° 15:</b> Beneficios BIM durante la fase de diseño/pre-construcción.....	36
<b>Figura N° 16:</b> Beneficios BIM durante la fase de construcción.....	36
<b>Figura N° 17:</b> Porcentaje de constructores citando niveles de implementación de BIM por país.....	45
<b>Figura N° 18:</b> Pérdidas en los procesos de producción de un producto. ....	53
<b>Figura N° 19:</b> Sistema de Entrega de Proyectos Sin Pérdidas o Lean Project Deliver System (LPDS). (Fuente: Adaptado de Ballard, 2007) .....	56
<b>Figura N° 20:</b> Representación de los 4 pasos en el Sistema Último Planificador (Last Planner System, LPS). ....	59
<b>Figura N° 21:</b> Histograma de un PPC.....	60
<b>Figura N° 22:</b> Principales actividades Green en el diseño/construcción con BIM para los usuarios Green- BIM... ..	68
<b>Figura N° 23:</b> Viviendas, según tipo de material de la pared a nivel del país, 2012.....	71
<b>Figura N° 24:</b> Evolución del Producto Bruto Interno PBI del sector construcción: 2000-2013.....	72
<b>Figura N° 25:</b> Número de viviendas construidas por año, en el Perú y Cajamarca: 2004-2012.....	72
<b>Figura N° 26:</b> Flujo de información en un proyecto tradicional. ....	76
<b>Figura N° 27:</b> Sistemas de Entrega de Proyectos-Modelo Diseño-Licitación-Construcción (DBB) en el sector público (a) y sector privado (b), adoptados en el Perú.....	79
<b>Figura N° 28:</b> Sistemas de Entrega de Proyectos (PDS)-Modelo Diseño-Construcción (DB) en el sector público (a) y sector privado (b), adoptados en el Perú. ....	81
<b>Figura N° 29:</b> Procedimiento para el desarrollo del planteamiento hipotético de esta investigación.....	91
<b>Figura N° 30:</b> Descripción de la relación entre BIM, Lean, y Green, como un sistema integrado implementado dentro de la fase de concepción y diseño de un proyecto de construcción. ....	93
<b>Figura N° 31:</b> La curva MacLeamy. La curva 1 muestra cómo los cambios pueden influir a lo largo del proceso. La curva 2 representa el efecto económico de un cambio a lo largo del proceso. La curva 3 y 4 representa, respectivamente, cuando se consolida el conocimiento sobre la factibilidad de construcción de un proyecto convencional, respectivamente, y un proyecto BIM / Lean.....	96
<b>Figura N° 32:</b> El concepto de colaboración en un ambiente de trabajo "Sala de Reuniones" (Big Room) junta todas las disciplinas y fomenta la colaboración interdisciplinaria. ....	98
<b>Figura N° 33:</b> Diseño basado en modelos. ....	100
<b>Figura N° 34:</b> Diseño arquitectónicos complejos en base a modelos 3D-BIM.....	103
<b>Figura N° 35:</b> Modelos 3D-BIM estructurales para la generación de la información. ....	103
<b>Figura N° 36:</b> Modelos 3D-BIM estructurales el análisis estructural integrado.....	103
<b>Figura N° 37:</b> Modelos 3D-BIM MEP para la generación de la información. ....	104
<b>Figura N° 38:</b> Modelos 3D-BIM MEP para la generación de la información. ....	104
<b>Figura N° 39:</b> Modelo 4D-BIM.....	105
<b>Figura N° 40:</b> Modelo 5D-BIM.....	106
<b>Figura N° 41:</b> Modelo 7D-BIM. Modelamiento y Análisis Green.....	107



<b>Figura N° 42:</b> Pilares del Sistema Integrado BLG.....	111
<b>Figura N° 43:</b> Ciclo de control de calidad.....	112
<b>Figura N° 44:</b> Ciclo de Deming .....	113
<b>Figura N° 45:</b> Constructabilidad como elemento de unión entre la fase de diseño y construcción. ....	113
<b>Figura N° 46:</b> Implementacion del Sitema Integrado BLG, en proyectos o fases.....	122
<b>Figura N° 47:</b> La gestión Integral BLG.....	123
<b>Figura N° 48:</b> Sistema semi-lineal de entrega de proyectos.....	124
<b>Figura N° 49:</b> Implementación BIM y Regulaciones de Estado .....	126
<b>Figura N° 50:</b> Factores más problemáticos en el Perú .....	85
<b>Figura N° 51:</b> Proyecto Nueva Fuerabamba.....	130
<b>Figura N° 52:</b> Estado natural del terreno antes de la construcción.....	132
<b>Figura N° 53:</b> Modelo 3D-BIM del Proyecto Ciudad Nueva Fuerabamba Completo. ....	133
<b>Figura N° 54:</b> Modelo 2D-BIM del Proyecto Ciudad Nueva Fuerabamba Completo .....	133
<b>Figura N° 55:</b> Proyecto Nueva Fuerabamba; Objetivo alcanzado .....	133
<b>Figura N° 56:</b> Modelo 3D-BIM-Tipo de Viviendas Tipo 2A.....	135
<b>Figura N° 57:</b> Modelo 3D-BIM-Tipo de Viviendas Tipo 2A.....	135
<b>Figura N° 58:</b> Modelo 3D-BIM-Tipo de Viviendas Tipo 2C .....	135
<b>Figura N° 59:</b> Tipo de Viviendas Tipo 3A.....	135
<b>Figura N° 60:</b> Modelo 3D-BIM-Tipo de Viviendas Tipo 3B.....	136
<b>Figura N° 61:</b> Modelo 3D-BIM-Tipo de Viviendas Tipo 1R .....	136
<b>Figura N° 62:</b> Modelo 3D-BIM-Tipo de Viviendas Tipo 2R .....	136
<b>Figura N° 63:</b> Modelo 3D-BIM-Vista interior y Servicios Higiénicos.....	136
<b>Figura N° 64:</b> Paisajismo y áreas verdes: Sector 1 .....	138
<b>Figura N° 65:</b> Paisajismo y áreas verdes: Sector 2. ....	138
<b>Figura N° 66:</b> Termas Eléctricas Solares en cada una de las viviendas .....	139
<b>Figura N° 67:</b> Necesidad de un diseño Green (aislamiento térmico, ventilación e iluminación natural).....	139
<b>Figura N° 68:</b> Runtina de programación y herramientas de programación en el proyecto Nueva Fuerabamba. ..	141
<b>Figura N° 69:</b> Histograma del PPC del Área de Producción-Viviendas del proyecto.....	142
<b>Figura N° 70:</b> Causas de Incumplimiento Acumulado .....	145
<b>Figura N° 71:</b> Histórico de Ratio Real o IP Real con relación al Ratio Meta o Previsto.....	148
<b>Figura N° 72:</b> Modelo BIM, Sakate Park-Cajabamba visualización de conjunto (día).....	158
<b>Figura N° 73:</b> Modelo BIM, Sakate Park-Cajabamba visualización de conjunto (noche).....	158
<b>Figura N° 74:</b> Corte horizontal del modelo BIM - Segundo Nivel.....	159
<b>Figura N° 75:</b> Modelo BIM Isométrico, Vista-1.....	159
<b>Figura N° 76:</b> Modelo Isométrico, Vista-2 .....	159
<b>Figura N° 77:</b> Análisis y simulación de iluminación artificial .....	160
<b>Figura N° 78:</b> Diferentes Vistas extraídas del Modelo BIM.....	160
<b>Figura N° 79:</b> Modelo BIM del proyecto completo .....	161
<b>Figura N° 80:</b> Corte horizontal del modelo - Primer Nivel.....	161
<b>Figura N° 81:</b> Corte horizontal del modelo BIM - Segundo Nivel.....	162
<b>Figura N° 82:</b> Isométrico del modelo BIM (fachada y tribunas del estadio) .....	162
<b>Figura N° 83:</b> Extracción de planos desde el modelo BIM.....	162
<b>Figura N° 84:</b> Diferentes Vistas extraídas del Modelo BIM.....	163

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación N° 1:</b> Concepto de productividad.....	50
<b>Ecuación N° 2:</b> Concepto de Valor.....	52

## RESUMEN

Esta investigación ha tenido como objetivo, integrar BIM (Modelamiento de Información de la Construcción), Lean (Diseño y Construcción Sin Pérdidas) y Green (Diseño y Construcción Sostenible) como un “*Sistema Integrado*”, e implementarlo en la fase de diseño de proyectos de construcción, con el fin de aumentar la calidad de la información, minimizando errores y deficiencias del modelo tradicional de diseño causados por la falta de innovación, creatividad, y a los principales patrones de diseño que no han cambiado por años. La integración de estos tres aspectos de la gestión de proyectos estuvo basado en el análisis de relaciones de interacción (sinergias) entre los principios de la Filosofía Lean, fundamentos de la Metodología BIM y criterios de sostenibilidad Green, obteniéndose diez relaciones de interacción (sinergias), soportadas en diez fundamentos que conforman las bases del “*Sistema Integrado BLG*” planteado. Del análisis de resultados de la investigación, se concluye que los procesos de la generación de la información del modelo tradicional deben cambiar (reconfiguración contractual) para la “*simulación procesos antes de construir*”, a través de “*modelos BLG*” virtuales, inteligentes, interoperables y multidisciplinarios que permita evaluar múltiples alternativas de diseño y planes de construcción mediante la visualización de conjunto del flujo de procesos de actividades de la fase de construcción que eran imposibles en el modelo tradicional.

**Palabras clave:** Información, Modelo Tradicional, Relaciones de Interacción (sinergias), BIM, Lean, Green, Sistema Integrado BLG y Modelos BLG.

## ABSTRACT

This research has been as objective, to integrate BIM (Building Information Modeling), Lean (Lean Design and Construction), and Green (Sustainable Design and Construction) as an *"Integrated System"*, and implement it in the design phase of construction projects, in order to increase the information quality, minimizing the design errors and deficiencies of the traditional model caused by the lack of innovation, creativity, and the main patterns which have not changed since many years ago. The integration of these three aspects of the project management was based on the interaction relations analysis (synergies) among the Lean Philosophy principles, BIM fundamentals, and Green sustainable criteria, obtaining ten interaction relations (synergies), supported by ten fundamentals that constitute the bases to the *"BLG Integrated System"* proposed. From the research results analysis, it concludes that the generation information processes of the traditional model have to change (contractual reconfiguration) to *"the processes simulation before building"*, through virtual, intelligent, interoperable, multidisciplinary *"BLG models"*, that allows to evaluate a variety of design alternatives and construction plans through the whole visualization to the processes flow of the construction activities that were impossible in the traditional model.

**Key words:** Information, Traditional Model, Interaction Relations (synergies), BIM, Lean, Green, BLG Integrated System, and BLG Models.

## LISTA DE ABREVIATURAS

- AGC:** Contratistas Generales Asociados (Associated General Contractors).
- AIA:** Instituto Americano de Arquitectos (American Institute of Architects).
- BIM:** Modelado de Información de la Construcción (Building Information Modeling).
- CIFE:** Centro para la Ingeniería de Construcción Integrada (Center for Integrated Facility Engineering).
- CPM:** Método de la Ruta Crítica (Critical Path Method).
- DGPM:** Dirección General de Programación Multianual del Sector Público.
- EDT / WBS:** Estructura de Descomposición del Trabajo (Work Breakdown structure).
- EPA:** Agencia de Protección del Medio Ambiente (Environmental Protection Agency).
- GPC:** Gerencia/Dirección/Gestión de Proyectos de construcción.
- IFC:** Formato Internacional de Datos Virtuales (Industrial Foundation Classes).
- IPMA:** Asociación Internacional de la Gerencia de Proyectos (International Project Management Association).
- IVM:** Instituto de la Gerencia del Valor (The Institute of Value Management).
- IVM:** Instituto de la Gerencia del Valor (The Institute of Value Management).
- LCI:** Instituto de la Construcción Sin Pérdidas (Lean Construction Institute).
- LEED:** Liderazgo en Diseño de Energía y Medio Ambiente (Leadership in Energy & Environmental Design).
- LPDS:** Sistema de Entrega de Proyectos Sin Pérdidas (Lean Production Delivery System).
- LPS:** Sistema Último Planificador (Last Planner System).
- MEP:** Instalaciones Mecánicas, Eléctricas y Sanitarias (Mechanical, Electrical, and Plumbing).
- OPI:** Oficina de Programación de Inversión.
- PIP:** Proyecto de Inversión Pública.
- PMI:** Instituto de la Gerencia de Proyectos (Project Management Institute).
- PRINCE:** Proyectos en Ambientes Controlados (acrónimo de "PRojects IN Controlled Environments").
- ROI:** Retorno de la Inversión (Return on Investment).
- SEP/PDS:** Sistema de Entrega de Proyectos (Project Delivery System).
- SNIP:** Sistema Nacional de Inversión Pública.
- TFV:** Transformación, Flujo, y Valor (Transformation, Flow, and Value).
- TIC:** Tecnologías de la Información y la Comunicación.
- USGBC:** Consejo de la Construcción Sostenible de los Estados Unidos (United States Green Building Council).
- VDC:** Diseño y Construcción Virtual (Virtual Design Construction).

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema

Los procesos de diseño generan información que son la base de los proyectos de construcción y en conjunto crean las instalaciones físicas fijas como viviendas, escuelas, colegios, plantas industriales, etc.; y los sistemas fijos como agua, desagüe, transporte, electricidad, gas, etc.; además establecen los factores claves de un proyecto tales como, costo, alcance, tiempo, y calidad. La gestión integral de cada uno de estos factores determina el éxito o fracaso del proyecto (PMI 2013). En general se acepta que hay aproximadamente una tercera parte de los desperdicios en los procesos y métodos de entrega; estudios demuestran que se calcula una gran pérdida anual, debido a la falta de intercambio de información y la continuidad en el proceso. Estadísticamente, la información se vuelve a crear y/o reentrar siete o más veces en el ciclo de vida de un proyecto (Eastman *et al.* 2008 y Building smart 2010). En una situación ideal, los documentos contractuales del proyecto de construcción deberían estar completos, precisos, sin conflictos ni ambigüedades, pero desafortunadamente esto es raramente encontrado y muy a menudo la contratista empieza la construcción con documentos incompatibles, erróneos e incompletos, requiriendo, por consiguiente, Solicitudes de Información (Request for Information RFI/SI), que tienen que ser respondidas por los proyectistas y/o diseñadores en pleno proceso de construcción y muchas veces como resultado se tienen ampliaciones de plazo y presupuesto contractual y como consecuencia se tienen proyectos inconclusos y/o sobrestimados (Alcántara 2013). Los procesos tienen latencia exasperantemente en el sentido de que se necesita a menudo días o incluso meses para obtener información o decisiones (Eastman *et al.* 2008, Building smart 2010 y Tjell 2010).

La productividad en la fase de construcción está estrechamente relacionada con la calidad de la información generada en la fase de diseño y con la gestión integral de los procesos de la construcción misma (PMI 2013). Pero ningún modelo de gestión será capaz de lograr una mejora en este factor, si es que primero no hay una mejora en el proceso de generación de la información en la fase de diseño. Los efectos negativos de una información deficiente son evidentes

y muchos involucrados se sienten incapaces de hacer algo para mejorarlo. Los efectos inmediatos son vistos mayormente en las fases subsecuentes como la fase de construcción donde, las aplicaciones de plazo, presupuestos adicionales, proyectos inconclusos y abandonados, y las controversias son los problemas más comunes hoy en día, así como los altos costos de operación y mantenimiento, y por ende la insatisfacción del cliente y usuarios finales (Koskela 1992 y 2000, Eastman *et al* 2008, Tejll, 2010, Izadi 2013 y Alcántara 2013).

La fragmentación en el Sistema tradicional de Entrega de Proyectos en la construcción (Diseño/Licitación/Construcción), separa marcadamente las dos fases más importantes en el ciclo de vida de un proyecto, el diseño y la construcción. Los problemas e impactos generados por la separación de estas dos fases son resaltantes: falta de comunicación, colaboración, transparencia e integración entre los especialistas (arquitectura, ingeniería y MEP), que generan deficiencias, incompatibilidades, e interferencias en los documentos contractuales (planos, especificaciones técnicas, memoria descriptiva, memoria de cálculo, etc.) (Koskela 1992 y 2000, Eastman *et al.* 2008, Tjell 2010 Izadi 2013, Alcántara 2013).



**Figura N° 1:** Sistema tradicional de entrega de proyectos en el sector construcción  
(Fuente: Alcántara 2013)

La identificación tardía de estos problemas fuera de la fase de diseño, obliga empezar la fase de construcción con problemas debido a las deficiencias de los documentos contractuales, ya que estos están incompletos, incompatibles y con interferencias entre los planos de las diferentes especialidades o planos con documentos técnicos y sin consideraciones ambientales de diseño, pues los estudios sólo se limitan a la mitigación, más no al producto en sí. Por otro lado, cuando los proyectistas tienen diferentes objetivos que el contratista, quien a su vez mayormente es una entidad independiente, surgen las controversias que hasta pueden llegar a instancias judiciales donde el contratista tiene todas las de ganar (Tjell 2010, Izadi 2013 y Alcántara 2013).

Por otro lado, la industria de la construcción tiene una estrecha relación con el cambio climático. Alrededor del 50% de los recursos materiales son usados por la construcción, la cual también produce el 50% de todos los desechos generados. Asimismo, el 40% del consumo total de energía es usado en el medio construido (Vries 2006). La construcción contribuye en gran medida a los grandes problemas ambientales del mundo actual, como son el calentamiento global, el agotamiento de los recursos naturales, la contaminación del aire, entre otros más. El diseño sostenible no ha tenido la debida importancia, limitándose sólo como un aspecto conceptual. Ante esta realidad hay una enorme necesidad de reducir todo tipo de desperdicios, maximizar y sostener todo tipo de recursos, entregando productos y servicios de la manera más eficiente y eficaz posible; así pues, esto permitirá a la industria de la construcción ir a "verde" o "Sostenible" (Vries 2006, McGraw\_Hill Construction 2010, EPA 2014, GGGC 2014 y USGBC 2014).

Estos problemas son debidos a que la industria de la construcción no ha tenido, ni la capacidad, ni la posibilidad de simular las condiciones de trabajo antes de construir como sucede en la industria manufacturera para automatizar procesos y crear flujo y valor (Koskela 1992, Izadi 2013). En otras palabras, se ha mantenido imposible para los proyectistas/consultores de los proyectos de construcción, desde hace muchos años "*simular procesos antes de construir*", debido al tamaño y complejidad de los proyectos de construcción. Por otro lado, este problema puede también estar relacionado a la sola naturaleza de la construcción, como susceptibilidad al medio ambiente y diferentes requerimientos por diferentes partes involucradas en diferentes proyectos; es decir, la variabilidad de los proyectos de construcción hacen esto extremadamente desafiante implementar algún nuevo método generalmente aceptado con el fin de mejorar los procesos. La mayoría de los proyectos de construcción son demasiado grandes, complejos, y costosos para ser modelados a una escala menor. Además, la mayoría de los proyectos de construcción son únicos en términos de presupuesto, requisitos, alcance, tamaño, etc. Esta singularidad hace que sea aún más difícil "*simular procesos antes de construir*" (Li et al. 2008 y Izadi 2013).

Por lo tanto, reingeniería debe ser la manera de pensar, una nueva cultura como identidad personal que logre identificar sus propias deficiencias, causas e

impactos a través de un análisis exhaustivo y autocritico, para plantear mejoras y cambios como parte del círculo continuo de aprendizaje impulsando la innovación y creatividad. La consideración de una reconfiguración contractual que permita la adopción de nuevos enfoques de gestión y criterios sostenibles apoyados en los últimos adelantos tecnológicos modernos, como las herramientas TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación), cuya adopción está remodelando todas las esferas de la producción, tanto en la construcción como en otras industrias (Eastman *et al.* 2008, Tjell 2010, Izadi 2013, Alcántara 2013 y Vicosoftware 2014).

Por una reconfiguración contractual, esta tesis sugiere integrar dos culturas muy diferentes pre-construcción y construcción para facilitar la adopción de los principios de la filosofía Lean, los fundamentos BIM y los criterios de diseño y construcción sostenibles Green, desde la fase de concepción de los proyectos de construcción. Esto gracias a que Green establece los criterios de sostenibilidad en el diseño del proyecto, los cuales hasta ahora han sido considerados sólo a nivel conceptual planteados como mitigaciones en lugar de un criterios de diseño; es decir, Green plantea la idea de *qué hacer* en un proyecto; Lean contribuye a crear un ambiente donde se conozca *cómo hacer* las cosas en un proyecto, tomando decisiones correctas en tiempos correctos, con el fin de realizar un mejor *diseño sin perdidas* y agregando valor al producto y *BIM* establece una plataforma de trabajo facilitando la capacidad de modelar y visualizar e integrar la información través de modelos virtuales, inteligentes, interoperables y multidisciplinarios para una correcta toma de decisiones (Tjell 2010, Izadi 2013, Alcántara 2013 y GGGC 2014).

El *Sistema Integrado BLG* (BIM-Lean-Green) es un nuevo enfoque, que intenta remodelar en la industria de la construcción, planteando principalmente mejoras en los procesos de diseño, con nuevas herramientas y métodos que pueden crear flujo y valor e impulsar la transparencia, incrementar la colaboración, comunicación, coordinación entre los involucrados, y compromiso ambiental del equipo de diseño, para evitar que estos sean defectuosos, costosos y con implicancia negativa en etapas posteriores tales como la construcción y la operación y mantenimiento (Tjell 2010, Alcántara 2013, Izadi 2013 y Porwal 2014).



## **1.2. Formulación del problema**

### **a. Pregunta general**

- ¿Cómo se puede integrar BIM, Lean y Green como un “*Sistema Integrado*” para implementarlo en la fase de diseño de proyectos de construcción?

### **b. Preguntas específicas**

- ¿Cómo BIM, Lean y Green, pueden complementarse entre ellos?
- ¿Cómo el Sistema Integrado BLG puede aumentar la calidad de la información, minimizando errores y deficiencias de diseño?
- ¿Cuáles son los beneficios de la implementación del Sistema Integrado BLG en la fase de diseño y cuál es su impacto en las fases subsecuentes?

## **1.3. Hipótesis y variables**

### **a. Hipótesis**

La implementación de BIM, Lean y Green como un *Sistema Integrado* en la fase de diseño de proyectos de construcción, aumentará la calidad de la información generada en los procesos de diseño, minimizando errores y deficiencias.

### **b. Variables**

#### **Variables dependientes**

- La información generada en la fase de diseño de los proyectos de construcción.

#### **Variables independientes**

- BIM (Modelamiento de Información de la Construcción).
- Lean (Diseño y Construcción Sin Pérdidas).
- Green (Diseño y Construcción Sostenible).

#### **Variables intervinientes**

- Innovación, creatividad y mejora continua, para facilitar la implementación de nuevos enfoques de gestión como el Sistema Integrado BLG.
- Compromisos tempranos de los involucrados de los proyectos de construcción para la implementación exitosa del Sistema Integrado BLG.

- La Educación de la Gestión de Proyectos de Construcción basada en competencias de gestión que permita a los equipos de diseño y construcción implementar el Sistema Integrado BLG.

#### **1.4. Justificación de la investigación**

Esta investigación se justifica porque busca minimizar los conflictos suscitados en la fase de diseño, empleando eficientemente los recursos que contribuyan al desarrollo del país, así como también a los siguientes aspectos:

- Proyectos de construcción cada vez más complejos y costosos, que requieren un enfoque distinto de gestión de la construcción, usando tecnologías y herramientas más eficientes y eficaces desde etapas tempranas del proyecto.
- Deficiente configuración contractual que fragmenta la continuidad del flujo de los procesos de diseño y construcción en el sistema tradicional de entrega de proyectos (Diseño-Licitación-Construcción); generando así, una deficiente colaboración, comunicación e integración entre los especialistas encargados del diseño y elaboración de la documentación contractual.
- Incompatibilidades e interferencias en los documentos contractuales de diseño, las cuales se detectan y corrigen en plena construcción de obra; en la fase menos indicada, donde todo cambio es sumamente costoso e implica tiempo y dinero, y como consecuencia se tienen proyectos inconclusos y sobrestimados.
- Ausencia de una metodología estructurada y planificada que permita mantener un control eficiente del proceso de diseño, para compatibilizar e integrar los documentos contractuales de diseño antes de llegar a la fase de construcción.
- El creciente y desenfrenado impacto ambiental causado por las actividades, materiales y procesos durante la fase de construcción y operación que se genera día a día.

#### **1.5. Alcances y limitaciones**

El ámbito de aplicación de esta investigación se limita únicamente a mejorar la información generada en los procesos de la generación de la información en la fase de diseño de proyectos de construcción. Esto no significa que el sistema BLG no pueda ser implementado en fases posteriores de un proyecto; sino que se ha limitado sólo a un enfoque específico en los procesos de diseño los cuales son

la base de los proyectos. El estudio se centra en particular, en el ambiente de trabajo en equipo y los métodos a implementar en los procesos de generación de información del diseño (arquitectura, estructuras y MEP) con el fin de aliviar los errores y deficiencias de esta fase; así como crear un ambiente con mayor comunicación, colaboración, integración, y compromiso (diseño eficiente de un proyecto).

Por los alcances de la investigación, los resultados se limitan a casos donde la implementación de los aspectos BIM, Lean y Green como un sistema integrado, son aplicados desde etapas o fases tempranas del ciclo de vida; es decir, desde la concepción y diseño, más allá su efecto no será tan eficiente como se plantea en esta investigación; así como también su efecto se verá reducido si se mantiene el Sistema tradicional de Entrega de Proyectos (Diseño-Licitación-Construcción), que fragmenta y segmenta el flujo continuo de los procesos en un proyecto.

## **1.6. Objetivos**

### **a. Objetivo General**

- Integrar BIM, Lean y Green (BLG) como un sistema integrado e implementarlo en la fase de diseño de proyectos de construcción.

### **b. Objetivos Específicos**

- Aumentar la calidad de la información generada en la fase de diseño, minimizando errores y deficiencias.
- Plantear una reconfiguración contractual en el Sistema tradicional de Entrega de Proyectos (Diseño-Licitación-Construcción y Diseño-Construcción), integrando dos culturas muy diferentes, pre-construcción y construcción.
- Realizar el diseño y construcción virtual en base a “*modelos BLG*”, para “*simular procesos antes de construir*”, que permitan evaluar múltiples alternativas de diseño y planes de construcción mediante la simulación y visualización de conjunto del flujo de procesos de actividades.
- Minimizar el tiempo y costo del ciclo de vida de un proyecto de construcción.

## **1.7. Estructuración de la tesis**

Esta tesis se ha organizado en cinco capítulos. El Capítulo II describe los aspectos BIM, Lean y Green tomadas de la literatura nacional e internacional y discute el modelo tradicional de diseño (deficiencias, causas e impactos). El Capítulo III establece la mejor metodología de investigación para el desarrollo de la hipótesis a través del tratamiento y análisis teóricos de BIM, Lean y Green, su relación para formar el "*Sistema Integrado BLG*" y su implementación en la fase de diseño, además se presenta un caso de estudio para soportar la idea de crear un sistema integrado basado en BIM, Lean y Green. El Capítulo IV. Presenta la discusión de resultados y Finalmente en el Capítulo V emergen las conclusiones y recomendaciones generales de todo lo visto en los cuatro capítulos anteriores.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes teóricos

Inicialmente, el trabajo se focalizó en la producción sobre el terreno, adaptando y desarrollando las herramientas y métodos para reducir pérdidas y mejorar la planificación y el control de producción. Koskela (1992 y 2000) propuso una filosofía influyente en la construcción, la filosofía Lean, basada en los principios de Lean Production de Toyota Company. Él lo nombró “Lean Construction” o “Construcción Sin Perdidas” que trata de agregar valor y eliminar los desperdicios en los procesos de las actividades en la construcción con el objetivo de mejorar la productividad. Desde entonces ha habido una gran preocupación por profesionales y organizaciones en enfrentar el paradigma de la mejora y automatización de la construcción. En los últimos años se ha logrado poner en práctica la filosofía Lean en los diversos ámbitos de los proyectos, promoviendo el trabajo colaborativo, concurrente, fomentando la confianza y el trabajo en equipo y la alineación de objetivos de las organizaciones participantes (Tjell 2010 y Izadi 2013).

El aspecto BIM o “Building Information Modeling” traducido al español como “Modelamiento de Información de la Construcción” desarrollado desde la época de 1970, es una metodología de trabajo el cual intenta reformular los procesos de diseño implementando una nueva forma de trabajo con el uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación TIC, pero este aspecto no fue asociado a con la filosofía Lean Construcción en absoluto (Eastman et al.2008).

El aspecto Green ha sido tema de discusión e investigación desde hace muchas décadas atrás, retomándose con más fuerza en los inicios del nuevo siglo, la preocupación mundial por el gran impacto ambiental de los proyectos de construcción toma forma y un nuevo enfoque es propuesto el cual es llamado “Green Building” (Sustainable Design and Construction) traducido al español como “Diseño y Construcción Sostenible” o simplemente “Green”, el cual intenta concientizar a personas y organizaciones, para la adopción de esta práctica como una cultura ambientalmente responsable, permitiendo a la industria de la construcción ir a “verde” o “sostenible”. Pero el concepto Green, aunque no conocido con este nombre sino con el de sostenibilidad, se remonta a mucho

tiempo antes en la historia, que surgió ante los cambios suscitados durante la época de la industrialización. Es así que en 1970 se establece la Agencia de Protección del Medio Ambiente (Environmental Protection Agency EPA) para la investigación, monitoreo, estandarizar y aplicar la práctica de actividades para asegurar la protección del medio ambiente, en los Estados Unidos, además de otras organizaciones que se formaron en el siglo pasado alrededor del mundo. Por el año 1998 se lanza por primera vez la certificación LEED (Liderazgo en Diseño de Energía y Medio Ambiente o Leadership in Energy & Environmental Design) por El Consejo de la Construcción Sostenible de los Estados Unidos (USGBC). Desde entonces muchas organizaciones están preocupadas en considerar los aspectos sostenibles en los proyectos de construcción (Bradley y Hyatt 2011, USGBC 2014 y EPA 2014).

Los aspectos BIM, Lean y Green, han sido independientemente aplicados desde sus inicios en diferentes etapas, por diferentes actores, en diferentes circunstancias y bajo diferentes enfoques, sin llegar a una integración concreta para ser aplicada desde etapas tempranas del ciclo de vida de un proyecto. Aunque no hay muchos estudios relacionados a una posible sinergia entre estos aspectos en el medio, en países como los Estado Unidos y el Reino Unido, se ha encontrado algunos cuantos casos, que muestran relaciones de interacción entre estos tres aspectos. Uno de estos estudios, por ejemplo es el del Profesor Sacks *et al.* (2010), quien planteó una matriz de impacto cruzado hallándose 56 interacciones entre los principios de la filosofía Lean y las funcionalidades BIM, demostrándose así que BIM y Lean podían complementarse entre ellos.

Aunque existen algunos obstáculos referentes a los intereses no alineados de los involucrados, la aplicación integral de estos tres aspectos en las fases de los proyectos podría ser una realidad. Hoy en día nuevos enfoques y conceptos innovadores están emergiendo para resolver el viejo paradigma de la construcción, permitiendo a los equipos de trabajo de los proyectos, comunicaciones cada vez más rápidas, computadoras y smartphones móviles más pequeñas y potentes, herramientas de modelamiento digitales complejas para el diseño y construcción, las cuales son capaces de modelar arquitecturas complejas en 3D, 4D, 5D, y mucho más, la productividad de la construcción puede incrementarse (Li et al. 2008, Sacks et al. 2010, Azhar 2011 y Porwal 2014).

En el Perú no se ha encontrado registros a la fecha estudios relacionados con estos tres conceptos integrados como un sistema e implementados a alguna fase del ciclo de vida de un proyecto en particular. Hay unos pocos estudios registrados por algunos graduados de las universidades y empresas del medio, en los cuatro últimos años, quienes muestran los beneficios de usar BIM, implementado en las fases de diseño y construcción, soportado por la filosofía Lean como es el caso de la Empresa Graña y Montero S.A., Cosapi S.A., JJC S.A., entre otras. Los proyectos como “Edificio Qubo”, “Edificio Universidad Pacifico”, “Teatro Nacional”, “Proyecto Nueva Fuerabamba”, que fueron los primeros proyectos en el país, en los últimos años donde se implementó BIM, Lean y un nivel bajo el aspecto Green. Los resultados fueron, una exitosa implementación encontrándose grandes beneficios mayormente en aspectos de detección de interferencias y constructabilidad (Alcántara 2013).

En resumen existe poca difusión de los aspectos BIM, Lean y Green; apreciándose solamente esfuerzos aislados de empresas que descubren los beneficios de cada aspecto de manera aislada. Además implementar un diseño donde se considere íntegramente los tres componentes del Sistema Integrado BLG, será un gran reto para las nuevas construcciones en el país; dado que, se requieren compromisos tempranos de todos los involucrados y el soporte de regulaciones de estado para una exitosa implementación.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Proyectos de construcción**

#### **2.2.1.1. Definición de proyecto**

Hay una variada literatura que define a un proyecto desde diferentes enfoques tales como, organizaciones, institucionales, personales, etc. Esta investigación toma la siguiente definición: *“Un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único dentro de un de tiempo, costo y calidad limitados y específicos”* (PMI 2013).

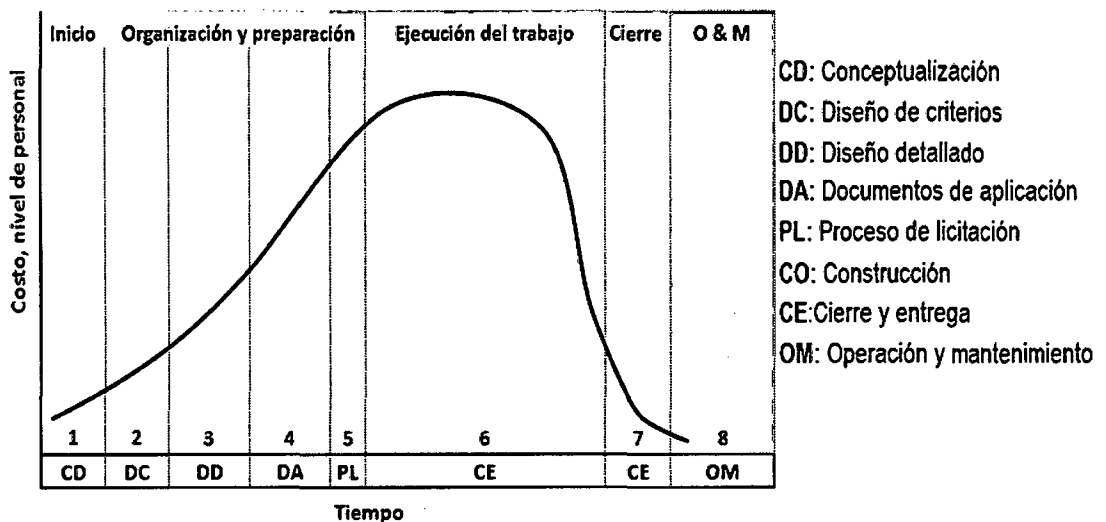
Cuyas características son:

- Es Temporal (principio y final definidos).

- Es único (en naturaleza, cada proyecto es diferente de otro pero con actividades y procesos repetitivos e idénticos).
- Tiene un fin u objetivo.
- Tiene impactos sociales, económicos y ambientales.
- Implica riesgo e incertidumbre.

### 2.2.1.2. Ciclo de vida de un proyecto de construcción

El ciclo de vida de un proyecto se define como: “el conjunto de fases del mismo, generalmente secuenciales y/o superpuestas definidas con fines de gestión y control” (PMI 2013 y SNIP 2014). El ciclo de vida de un proyecto de construcción, independientemente de su tamaño y complejidad, configura la estructura general de un proyecto con las siguientes fases: *inicio, organización y preparación, ejecución del trabajo y cierre* (PMI 2013).



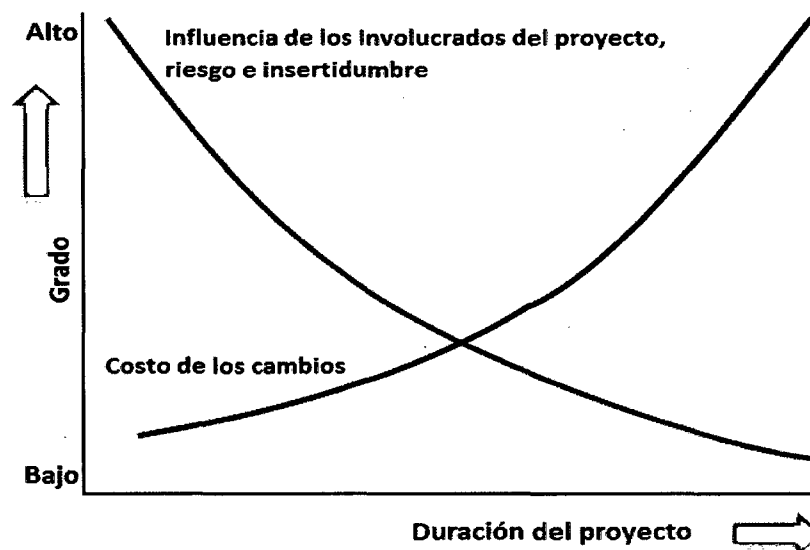
**Figura N° 2:** Estructura y niveles típicos de costo y dotación de personal durante el ciclo de vida del proyecto. (Fuente: Curva de Patrick MacLeamy AIA 2014 y PMI 2013)

Las características de la estructura genérica del ciclo de vida de un proyecto de construcción pueden resumirse como sigue:

- Los niveles de costo y dotación de personal son bajos al inicio del proyecto, alcanzan su punto máximo según se desarrolla el trabajo y caen rápidamente cuando el proyecto se acerca al cierre.
- La influencia de los involucrados, al igual que los riesgos y la incertidumbre son mayores al inicio del proyecto. Estos factores disminuyen durante la vida del proyecto (Figura N°3).



- La capacidad de influir en las características finales del producto del proyecto, sin afectar significativamente el costo, es más alta al inicio del proyecto y va disminuyendo a medida que el proyecto avanza hacia su conclusión.



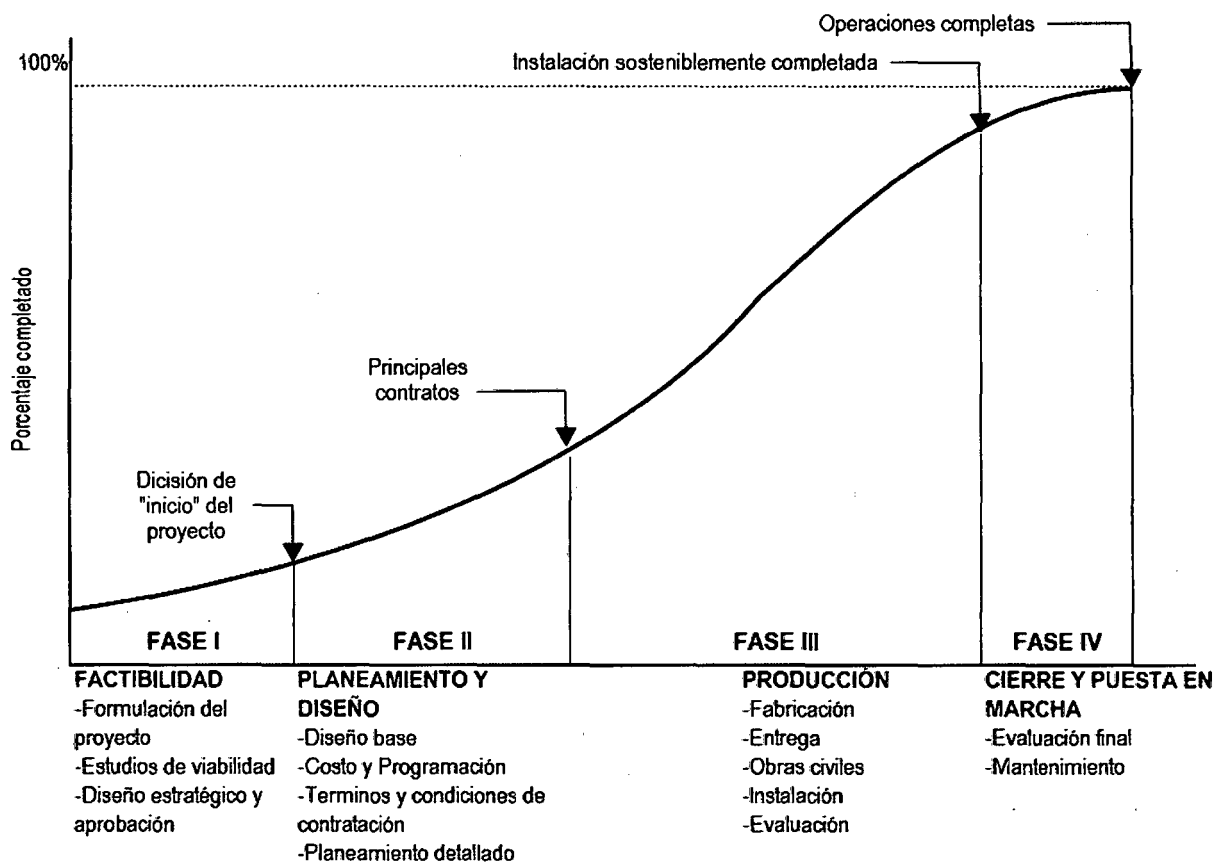
**Figura N° 3:** Impacto de la variable en función del tiempo del proyecto  
(Fuente: PMI 2013 y Curva de Patrick MacLeamy AIA 2014)

Además se debe tener en cuenta que de acuerdo a la Figura N°3 se ilustra la idea de que el costo de los cambios y de corregir errores suele aumentar sustancialmente según el proyecto se acerca a su fin.

### 2.2.1.3. Fases de un proyecto de construcción

Un proyecto es dividido en subconjuntos lógicos secuenciales y/o superpuestos llamados fases o etapas, que son divisiones dentro del mismo proyecto, con el fin de facilitar eficientemente su gestión, planeamiento y control (PMI 2013). Autores y organizaciones proponen diferentes modelos de división de fases del ciclo de vida. Esta investigación considera cuatro fases del ciclo de vida de un proyecto de construcción: concepción, diseño detallado, construcción o ejecución y la fase de operación y mantenimiento.

Morris (1994), presentó una modelización sesgada del ciclo de vida de un proyecto donde no se aprecia un cierre del ciclo, sino que considera el proyecto hasta su entrega final al cliente y su correspondiente operación y mantenimiento. Así pues las fases según esta idealización son 5: factibilidad, planeamiento y diseño, producción, y cierre y puesta en marcha del proyecto.



**Figura N° 4:** Ciclo de Vida de un proyecto de construcción  
(Fuente: Morris 1994)

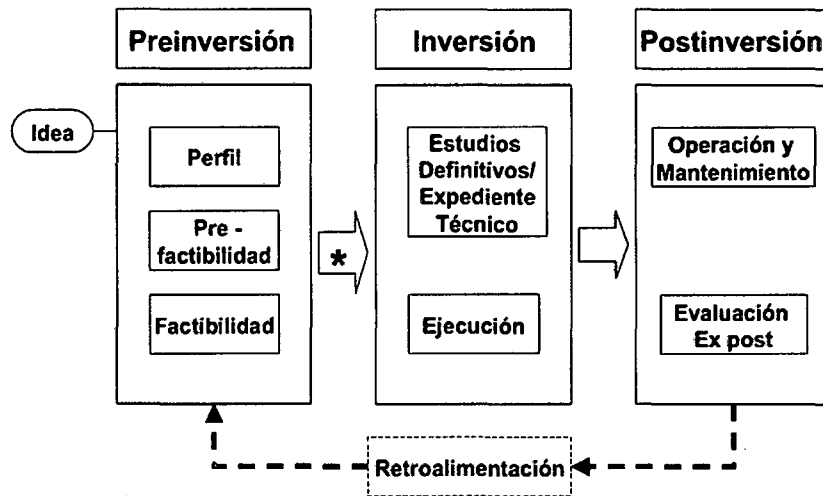
En el Perú esta división depende de la fuente de los recursos que pueden ser públicos y/o privados. En el sector público en el año 2000 se crea el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) con Ley 27293 donde establece tres grandes fases o etapas: Pre-inversión, Inversión y Post-Inversión, estas a su vez se subdividen en fases más pequeñas con el objetivo de tener un mayor control (SNIP 2000). Por su parte para sector privado la división es más específica dado su capacidad de control sobre cada fase (Neyra 2006 y Alcántara 2013).

**Tabla N° 1:** Estructuración en fases de un proyecto de construcción de los sectores público y privado en el Perú.

EN ESTA TESIS	SECTOR PÚBLICO		SECTOR PRIVADO
	GRANDES FASES	FASES	FASES
CONCEPCIÓN	PRE-INVERSIÓN	Perfil	Concepción
		Pre-Factibilidad	Pre-diseño
		Factibilidad	
DISEÑO	INVERSIÓN	Diseño detallado	Diseño Detallado
CONSTRUCCIÓN		Construcción o Ejecución	Construcción o Ejecución
OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	POST-INVERSIÓN	Operación y Mantenimiento	Operación y Mantenimiento

Fuente: SNIP 2000, Neyra 2006, SNIP 2011 y Alcántara 2013

Más adelante el SNIP (2011), emite y aprueba la Directiva General del SNIP con Resolución Directoral N°003-2011-EF/68.01, donde se reincide en la misma división que se contempla en la Ley 27293 del año 2000.



\* La Declaratoria de Viabilidad es un requisito obligatorio para pasar de la Fase de Preinversión a la Fase de Inversión

Figura N° 5: Fases en el ciclo de vida de un proyecto de inversión pública en el Perú (Fuente:SNIP 2000 y SNIP 2011)

Este modelo representado en la Figura N°5 es por lo tanto, la división del ciclo de vida de un proyecto de construcción actual en el sector público en el Perú.

Finalmente, se puede acotar que a medida que las fases se desarrollan en el ciclo de vida del proyecto, se pueden encontrar que los componentes más influyentes son el costo y el tiempo, por lo que su control es vital para lograr los objetivos del proyecto como se indica en la Figura N°06 (PMI 2013).

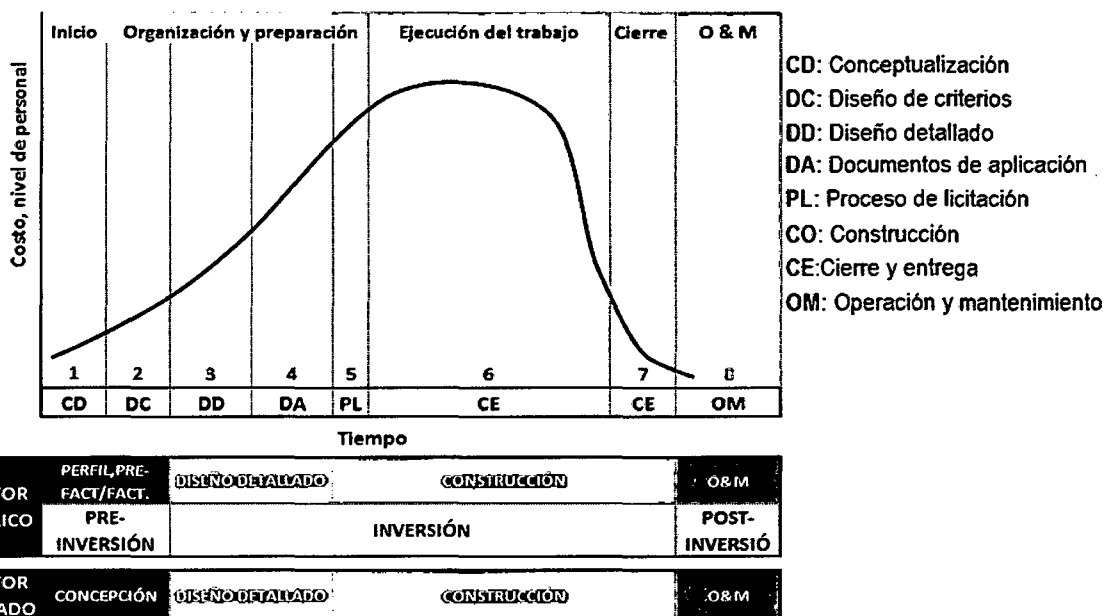
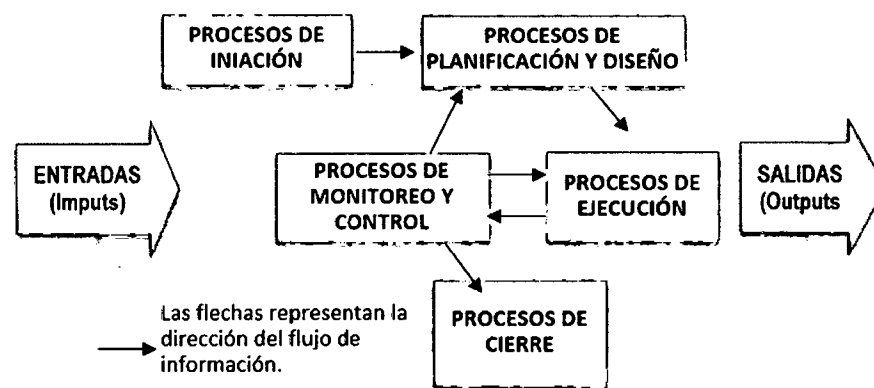


Figura N° 6: Fases del proyecto en relación con el impacto de costo. (Fuente: SNIP 2011, PMI 2013 y Curva de Patrick MacLeamy AIA 2014)

#### 2.2.1.4. Procesos de un proyecto de construcción

Un proceso es un conjunto de acciones y actividades interrelacionadas realizadas para obtener un producto, resultado o servicio predefinido. Cada proceso se caracteriza por sus entradas, por las herramientas y técnicas que puedan aplicarse y por las salidas que se obtienen (PMI 2013).

La gestión eficiente de los procesos de un proyecto asegura que este avance de manera eficaz durante todo el ciclo de vida. Por ejemplo el PMI (2013), define y agrupa cinco grupos de procesos: iniciación, planificación y diseño, ejecución, seguimiento y control, y procesos de cierre. Estos procesos incluyen las herramientas y técnicas involucradas en la aplicación de las habilidades y capacidades para lograr los objetivos del proyecto.



**Figura N° 7:** Relación entre Grupos de Procesos en una fase de un proyecto de construcción. (Fuente: PMI 2013)

Cabe señalar que una fase de un proyecto no es un grupo de procesos de un proyecto de construcción, sino que estos son un medio para lograr la entrada, desarrollo y finalización de una fase o etapa, estos procesos son dependientes e interactúan entre ellos dentro de la misma fase y tienen efecto en las demás fases del ciclo de vida del proyecto de construcción, de allí su importancia de asegurar la continuidad de los procesos (Koskela 1992 y 2000, Tjell 2010 y PMI 2013).

#### 2.2.1.5. Involucrados o stakeholders

Los “involucrados” o “stakeholders” son aquellos grupos o individuos que pueden afectar o verse afectados positiva o negativamente por un proyecto. Existe una gran cantidad de involucrados a lo largo el ciclo de vida de un proyecto, quienes se ven directa o indirectamente afectados (beneficios o pérdidas) como resultado

del éxito o fracaso del proyecto durante las distintas fases. Cada agente involucrado en el proyecto tienen un rol y actividades definidas de las cuales dependen los roles y actividades de otros agentes involucrados, de allí la importancia de la comunicación, colaboración y transparencia entre estos (Tjell 2010 y Izadi 2013).

Los involucrados del proyecto según la Tabla N°2 pueden ser clasificados según intereses y funciones durante las fases de un proyecto. Los involucrados internos son aquellos que tienen un contrato legal con el cliente, y los externos son aquellos que tienen un interés directo en el proyecto. Además los clientes internos pueden ser divididos según la oferta o demanda, y los externos en grupos privados y públicos.

**Tabla N° 2:** Principales involucrados durante el ciclo de vida de un proyecto de construcción

FASE CICLO DE VIDA DEL PROYECTO	INTERNOS		EXTERNOS	
	Clientes /Propietarios /Usuarios	Proveedores	Privados	Públicos
	-Financistas -Usuarios finales (población beneficiaria)	-Consultores o Proyectistas (Arquitectos, Ingenieros, etc.) -Especialistas de estudios complementarios -Proveedores de insumos y servicios	-Usuarios finales (población beneficiaria) -Ambientalistas -Conservadores -Arqueólogos -Sociólogos	-Agentes reguladoras (UF, OPI, OP, DGPM, GL, GR, GN, Sectores Productivos) -Gobiernos Locales (GL) -Gobiernos Regionales (GR) -Gobierno Nacional (GN)

Fuente: (Neyra 2006 y SNIP 2011)

### 2.2.2. Gestión de proyectos de construcción

La gestión de proyectos de construcción como disciplina tiene una variada literatura que define a la Gestión de Proyectos de Construcción (GPC) desde diferentes perspectivas como el campo de aplicación, propósito dentro las instituciones u organizaciones, etc. Una definición típica es la del Instituto de la Gerencia de Proyectos (Project Management Institute, PMI) lo define como:

*“La gestión de proyectos es la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas, técnicas y procesos de gestión a las actividades del proyecto para cumplir con los requisitos del mismo de manera exitosa” (PMI 2013).*

Los componentes de la Gestión de Proyectos son:

- *Conocimientos*: para lograr la comprensión total y específica de los aspectos de un proyecto, esto es adquirido a través de la experiencia e investigación constante y especializada.
- *Habilidades*: para reducir el nivel de riesgo e incertidumbre dentro de un proyecto y por lo tanto mejorar su probabilidad de éxito, esto es adquirido a través de la experiencia.
- *Herramientas*: para mejorar la oportunidad de tener éxito. Estas pueden ser softwares de modelación, softwares de planeamiento, planillas, registros, checklists, etc.
- *Técnicas y Procesos*: para monitorear y controlar el tiempo costo, calidad y alcance en un proyecto. Ejemplos incluyen gestión del tiempo, gestión de costos, gestión de calidad, gestión de riesgo e incertidumbre, etc.

La gestión de un proyecto por lo general implica:

- Identificar requisitos, necesidades, inquietudes y expectativas de los involucrados durante la concepción, diseño y construcción del proyecto.
- Equilibrar las restricciones contrapuestas del proyecto que se relacionan, entre otros aspectos, con: el alcance, la calidad, el cronograma, el presupuesto, los recursos y el riesgo.

La relación entre estos factores es tal que si alguno de ellos cambia, es probable que al menos otro se vea afectado. Por ejemplo, un adelanto en el cronograma a menudo implica aumentar el presupuesto, a fin de añadir recursos adicionales para completar la misma cantidad de trabajo en menos tiempo. Si no es posible aumentar el presupuesto, se puede reducir el alcance o la calidad, para entregar un proyecto en menos tiempo por el mismo presupuesto. Los involucrados en el proyecto pueden tener opiniones diferentes sobre cuáles son los factores más importantes, lo que crea un desafío aún mayor (PMI 2013).

#### **2.2.2.1. Historia de la gestión de proyectos de construcción**

La Gestión de Proyectos puede situarse a comienzos del siglo XX, considerándose la aparición de los primeros métodos, con la aparición del Diagrama de Gantt, en 1917. Por ejemplo, el método PERT (“Evaluación del

Programa y Técnica de Revisión” o “Program Evaluation and Review Technique”) y CPM (“Método de la Ruta Crítica” o “Critical Path Method”) llegan a mediados de la década de 1950. Fue en esta década de 1950, cuando las organizaciones comenzaron a aplicar sistemáticamente las herramientas y técnicas de gestión de proyectos.

**Tabla N° 3: Revisión histórica del desarrollo de las metodologías de la gestión de proyectos**

<b>AÑO</b>	<b>HECHOS IMPORTANTES</b>
1917	Henry Gantt desarrolló el diagrama Gantt.
1956	Se forma la American Association of Cost Engineers (AACE) los primeros profesionales de la gestión de proyectos (planificación, programación y costos).
1957	Se desarrolló el Método de la Ruta Crítica (Critical Path Method, CPM) por la Dupont Corporation.
1958	La Oficina de Proyectos Especiales de la Armada norteamericana, inventó la técnica PERT (Program Evaluation Review Technique).
1962	El Departamento de Defensa de los US creó el concepto de Estructura de Descomposición de Trabajo, EDT (Work Breakdown Structure, WBS).
1969	Cinco voluntarios fundan el PMI (Project Management Institute) en los US., como una organización profesional sin fines de lucro dedicada a promover la práctica, la ciencia y la profesión de gestión de proyectos.
1975-1979	La empresa Simfact Systems Limited crea el método PROMPTII. En 1979 la Agencia Nacional de Computación y Telecomunicaciones (CCTA) y UK adopta este método para todos los sistemas de información de los proyectos.
1984	El Dr. Eliyahu.M. Goldratt, introduce la Teoría de las Restricciones en su novela “The Goal” (La meta).
1986	Se crea la metodología para la Gestión de Proyectos SCRUM1.
1987	El PMI publica la Guía PMBOK como un libro blanco para documentar y estandarizar la información y prácticas aceptadas para la gestión de proyectos.
1989	La Subsecretaría de Defensa para Adquisiciones de US incorpora la Gestión del Valor Ganado (Earned Value Management, EVM).
1989	Se desarrolla el Método de Desarrollo PRINCE (PROjects IN Controlled Environments) a partir de PROMPTII y es publicado por La Agencia Central de Información y Telecomunicaciones del Gobierno Británico.
1992	Koskela: Lean construction, basado en la Filosofía Lean Production.
1993	El primer Grupo Internacional de Lean Construction hizo su primera conferencia anual.
1997	Se funda el Lean Construction Institute (LCI), en los US.
1997	Se establece la Dirección de Proyectos con Cadena Crítica (Critical Chain Project Management CCPM) desarrollado por el Dr. Eliyahu M. Goldratt en contraste con la Teoría de las Restricciones.
1998	El American National Standards Institute (ANSI) reconoce el PMBOK como un estándar.
2000	Koskela y Ballard publicaron sus respectivas tesis llamada “An Exploration Towards a Production Theory and its Application to Construction” y “The Last Planner System of Production Control”
2006	El AACE Internacional lanza “El Marco Gestión de Costo Total (Total Cost Management Framework). Aplicación de habilidades y conocimientos de la ingeniería de costos.
2008	Se publica la cuarta edición del PMBOK
2009	El Office of Government Commerce (OGC) del Reino Unido realiza una revisión profunda de la metodología PRINCE2, conocida como PRINCE2.
2012	Se establece la certificación PRINCE2 profesional.
2013	Se publica la quinta y actual edición de la Guía del PMBOK por el PMI.

Fuente: Projectsmart 2014

El mundo está cambiando a medida que la tecnología avanza, por lo tanto la gestión de la construcción debe avanzar al mismo ritmo que esta (Koskela 2000 y Ballard 2000).

#### **2.2.2.2. Métodos de gestión de proyectos de construcción**

La variedad de metodologías para la GPC son bastantes y es materia de investigación, por lo que esta tesis se limita a explicar brevemente cuatro principales enfoques diferentes; sin embargo, no se debe considerar que una u otra es la mejor, sino más bien tratar de entender el enfoque de cada una, estudiar sus técnicas y herramientas y decidir cuál se adapta mejor a los proyectos.

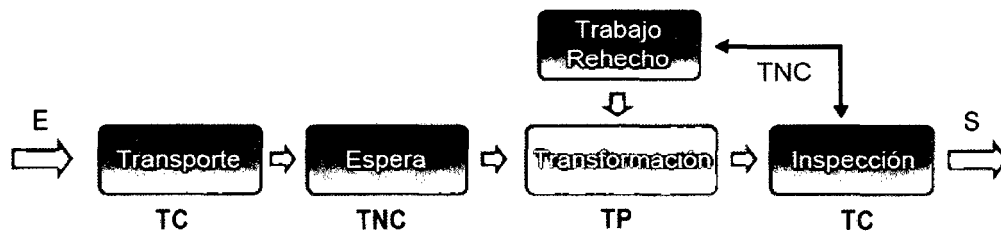
##### **a) Enfoque Lean Construcción (LC)**

Koskela (1992), en su tesis doctoral publicada por el CIFE en el Reporte Técnico N°72 titulado "*Application of the New Production Philosophy to Construction*", argumentó que Gestión de la Construcción es una filosofía basada en la transformación (conversión), donde la atención se centra en la transformación de las entradas a las salidas con lo general hay un manejo del proceso de transformación en sí. Además, afirmó que la incongruencia entre los modelos conceptuales de la gestión de la construcción y la realidad observada en los proyectos resalta la falta de solidez en las construcciones existentes de la Gestión de la Construcción y señaló la necesidad de una teoría global de la gestión de la producción en la construcción.

Koskela (1992), concibió un paradigma de gestión de la producción más general para los sistemas de producción basados en los proyectos y presentó la teoría de la producción de la TFV (Transformación, Flujo y Valor) en la que la producción se conceptualiza en tres formas complementarias, a saber, como una transformación (T) de las materias primas en las estructuras permanentes, como un flujo (F) de la materia prima y la información a través de diversos procesos de producción, y como valor (V) la generación y creación para los propietarios a través de la eliminación de la pérdida de valor (objetivo realizado versus lo mejor posible).



Por lo tanto, en contraste con Koskela y el Instituto de la Construcción Sin Pérdidas LCI (Lean Construction Intitute), se considera que luego de una entrada, el proceso no es tan directo como una simple transformación que entrega un resultado, sino que existen muchas otras actividades inherentes denominadas flujos, que generan desperdicios como: transporte, esperas y trabajos rehechos, que no agregan valor al cliente.

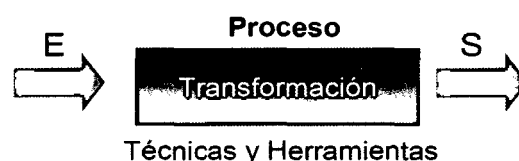


**Figura N° 8:** El Enfoque Lean Construction.  
(Fuente: Adaptado de Koskela 1992)

La filosofía de gestión propuesta, se basa en maximizar el valor para el cliente, minimizando lo más que se pueda las pérdidas de recursos; para ello, recomienda diferentes técnicas y herramientas que se enfocan en la información extraída del Sistema Último Planificador LPS (Last Planner System) (ver sección 2.2.6.8), de manera tal que aquello que realmente se llega a hacer es un resultado optimizado de lo que se debe hacer contra lo que se puede hacer (Ballard 2000 y Koskela 2000).

### **b) Enfoque del Instituto de Gerencia de Proyectos (Project Management Institute PMI)**

El Instituto de Gerencia de Proyectos, PMI (Project Management Institute), afirma que un proyecto se puede descomponer en pequeñas partes, cada una de las cuales tiene unas entradas, un proceso y unas salidas. Entonces, según este enfoque, descompone un proyecto en una red de procesos, cuyas entradas, salidas, técnicas y herramientas están plenamente identificadas y conectadas, de tal manera que se hace una gerencia sobre una cadena planificada y controlada de procesos (PMI 2013).



**Figura N° 9:** Enfoque del PMI (E: Entradas, S: Salidas)  
(Fuente: Adaptado de PMI 2013)

Estos procesos se ubican dentro de una matriz de cinco grupos de procesos: Inicio, Planificación, Ejecución, Control y Cierre, que para ser gestionados requieren de diversos conocimientos que se agrupan en diez áreas del conocimiento como se muestra en la Tabla N°4:

**Tabla N° 4:** Matriz de procesos y áreas de conocimientos para la gestión de proyectos

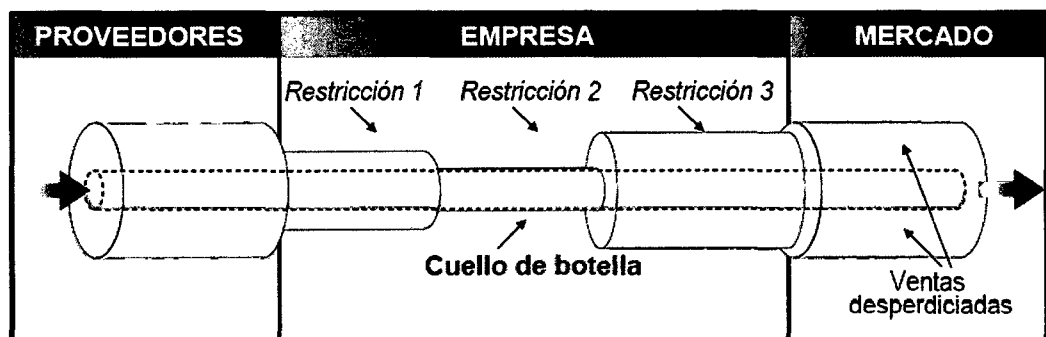
ÁREAS DE CONOCIMIENTO	GRUPO DE PROCESOS				
	Inicio	Planificación	Ejecución	Control	Cierre
1. Integración					
2. Alcance					
3. Tiempo					
4. Costos					
5. Calidad					
6. Recursos Humanos					
7. Comunicaciones					
8. Riesgos					
9. Procura (Adquisiciones)					
10. Involucrados o Stakeholders					

*Herramientas, técnicas y mecanismos aplicados a las entradas para crear las salidas.*

Fuente: PMI 2013

### c) Enfoque del Instituto Goldratt

El Instituto Goldratt, AGI (Avraham Goldratt Institute), propone su Teoría de Restricciones, considerando que la gestión de una compañía es un flujo de actividades que corren como por diferentes tuberías ubicadas ya sea en los proveedores, dentro de la compañía o en el mercado. Cada una de estas actividades tiene un “caudal” diferente; entonces, si en algún lugar este caudal se estrecha, todo el flujo de la gestión queda restringido a esta actividad denominada “Cuello de Botella” (AGI 2009).



**Figura N° 10:** Enfoque del Instituto Goldratt.  
(Fuente: Adaptado AGI, 2009)

Este instituto propone que para realizar una gestión exitosa en una empresa, primero se debe considerar cinco pasos: (i) Identificar la restricción, (ii) Mejorar la

restricción, (iii) Subordinar el sistema a esta restricción (iv) Elevar la restricción y (v) Volver al paso (i).

#### d) Enfoque PRINCE2

PRINCE2 es un enfoque estructurado para la gestión de proyectos. Se combina la metodología original PROMPT (que se convirtió en la metodología PRINCE) con la metodología MITP (“Gestión de la Implementación del Total del Proyecto” o “Managing the Implementation of the Total Project”). PRINCE2 (un acrónimo de “**PR**ojects **IN** **C**ontrolled **E**nvironments” o “Proyectos en ambientes Controlados”) es un método basado en procesos para la gestión eficaz de los proyectos. Utilizado ampliamente por el Gobierno del Reino Unido. Las principales características de PRINCE2 son:

- Se centran en la justificación de negocio.
- Estructura de la organización está definida para el equipo de gestión de proyectos.
- Enfoque de planificación basado en el producto.
- Énfasis en la división del proyecto en fases manejables y controlables.
- La flexibilidad que se puede aplicar a un nivel apropiado para el proyecto.

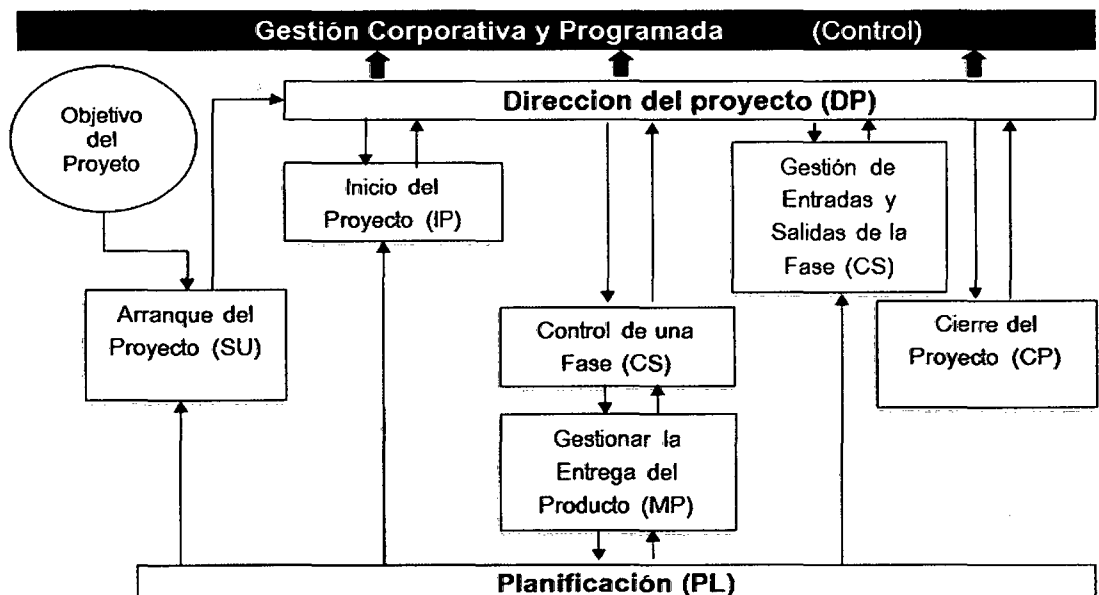


Figura N° 11: Modelo de Proceso PRINCE2.  
(Fuente: Price2.com 2014)

El PRINCE2 se centra en la definición y la entrega de productos, en particular, en los requerimientos de calidad. Como tal, se define un proyecto exitoso como

salida orientada a través de la creación de un conjunto establecido de productos que definen el alcance del proyecto y proporciona la base para la planificación y el control, es decir, ¿cómo coordinar personas y actividades, cómo diseñar y supervisar la entrega del producto, y qué hacer si los productos y, por tanto, el alcance del proyecto tiene que ser ajustado si no se desarrolla según lo previsto? En el procedimiento, se especifica cada proceso con sus entradas y salidas principales y con los objetivos y actividades específicas que deben llevarse a cabo para entregar los resultados de un proyecto tal como se define por su caso de negocio. Esto permite la evaluación y ajuste continuo cuando se requiere desviación del caso de negocio (Price2.com 2014).

### **2.2.3. Gestión de la información en la construcción**

La Gestión de la Información, es la recopilación y gestión de la información de una o más fuentes y la distribución de esa información a una o más destinatarios. Esto implica algunas veces a aquellos quienes tienen un interés o un derecho a esa información. Gestión significa la organización y el control sobre la planificación, estructura y organización, control, procesamiento, evaluación y presentación de informes de las actividades de información con el fin de cumplir con los objetivos del cliente y permitir funciones corporativas en la entrega de la información. Con las últimas herramientas disponibles las tareas se tornan cada vez más complejas, hardware y software, convirtiendo así a la gestión de la información en un recurso poderoso, costoso así como riesgoso para muchas organizaciones. El desafío de la gestión de la información está básicamente enfocado ahora a (i) la reducción de las necesidades de procesamiento de información y (ii) al aumento de la capacidad de procesamiento de información de la organización

La gestión de la información además de los elementos tradicionales, involucra ahora las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), en la organización, almacenamiento, y recuperación de información. En este contexto, los profesionales deberán, además de poseer la competencias de archivistas, tener competencias en áreas relacionadas con las TIC tales como, redes de computadores, administración de sistemas operativos y servidores, etc.

### 2.2.3.1. Tecnologías de la Información y la Comunicación TIC

Las TIC son el conjunto de tecnologías, desarrolladas a partir de los avances científicos producidos en los ámbitos de la informática y las telecomunicaciones, que permiten el acceso, producción, tratamiento y comunicación de información presentada en diferentes códigos (texto, imagen, sonido, etc.) El elemento más representativo de las nuevas tecnologías es sin duda el ordenador y más específicamente, el internet. En líneas generales podríamos decir que las nuevas tecnologías de la información y la comunicación son las que giran en torno a tres medios básicos: la informática, la microelectrónica y las telecomunicaciones; pero giran, no sólo de forma aislada, sino lo que es más significativo de manera interactiva e interconexiónadas, lo que permite conseguir nuevas realidades comunicativas (Cabero 1998).

En la construcción se puede distinguir un sin número de herramientas TIC, usadas diariamente por los responsables del diseño, construcción, operación y mantenimiento, las cuales han resultado en una mejora significativa en los procesos tradicionales de diseño, construcción y operación de los proyectos (Tabla N°5).

**Tabla N° 5:** Herramientas TIC, más resaltantes en la industria de la construcción

<b>Finalidad</b>	<b>Telemáticas</b>
Diseño, construcción y operación & mantenimiento	Softwares de modelamiento BIM "XD" (2D, 3D, 4D, 5D, 6D, etc.)
	Para el planeamiento y programación
	Softwares de diseño sostenible
Computación Móvil, acceso, obtención y almacenamiento de la información y recursos	Computadoras, Tablets, Smartphones, dispositivos de almacenamiento, etc.
Comunicación asíncrona	Correo electrónico (e-mail, gmail, yahoo, etc.)
Acceso, obtención y utilización de información y/o recursos	La internet a través de páginas web (World Wide Web -www)
Comunicación síncrona	Audiokonferencia y Videokonferencia

**Fuente:** (Adaptado de Alcántara 2013).

Hoy en día la aplicación de las herramientas TIC es crucial e influyen en gran manera en lograr el éxito de los proyectos de construcción, ya que reducen el tiempo de trabajo y los errores humanos.

#### 2.2.4. Diseño y Construcción Virtual VDC

El término Diseño y Construcción Virtual (Virtual Design and Construction VDC) fue introducido por El Centro para la Ingeniería de la Construcción Integrada (Center for Integrated Facility Engineering CIFE) de la Universidad Stanford en el año 2001. Según Kunz y Fischer (2012) definen a VDC como: “*El uso de modelos virtuales integrados, funcionales y multidisciplinarios de producto, organización y procesos de diseño y construcción para apoyar explícita y públicamente objetivos de negocios*”.

Los modelos de VDC son *virtuales* porque muestran descripciones del proyecto en el computador. El modelo de proyecto VDC enfatiza los aspectos del proyecto que pueden ser diseñados y gestionados, los cuales incluyen: el *producto* (infraestructura), la *organización* que va a definir, diseñar, construir, y operar este producto y los *procesos* que los equipos de las organizaciones van a seguir. Estos modelos son lógicamente *integrados* en el sentido de que todos pueden acceder a una información compartida de datos y si un usuario resalta o cambia un aspecto de uno de estos modelos, los demás modelos cambian también. Los modelos son *multidisciplinarios* en el sentido que representan la Arquitectura, Ingeniería, Construcción (AEC) y Cliente/Propietario del proyecto. Los modelos son *funcionales* en el sentido que predicen algunos aspectos del funcionamiento del proyecto y pueden mostrar rendimientos predictivos y cuantificados para lograr los objetivos del proyecto. Las aplicaciones de VDC abarcan todo el ciclo de vida de los proyectos, desde etapas muy tempranas de estudios a nivel de diseño conceptual, pasando por diseño detallado, construcción y, finalmente, operación y mantenimiento de la infraestructura.

Los modelos VDC representan la integración funcional, opciones diseñadas, y comportamientos predictivos y cuantificados del producto, procesos y organización. Con su enfoque en el diseño del producto. Building Information Modeling BIM es un subconjunto o componente de VDC para representar la geometría e información del proyecto en un modelo 3D virtual e inteligente (Kunz y Fischer 2012).

### 2.2.4.1. Modelos VDC de producto, organización y procesos

El objetivo de crear los modelos son para tener un mayor control sobre el alcance total del proyecto en tres aspectos: Diseño del *producto* para ser construido, el diseño de la *organización* que hará el diseño y la construcción, y los *procesos* de diseño y construcción que la organización seguirá. Esto es llamado modelo de proyecto Producto-Organización-Proceso o Modelo POP (Kunz y Fischer 2012).

Un alto nivel de los modelos POP representa la función, diseño de la forma o alcance y el comportamiento de producto del proyecto, organización y proceso. Tabla N°6: Los modelos POP de VDC representa la intención funcional (columna 2), la forma diseñada o alcance, que es especificado por el equipo de proyecto, diseñar y construir en respuesta a la intención funcional (columna 3), y los comportamientos predecidos y cuantificados de los elementos críticos del proyecto (Columna 4). Los elementos del proyecto incluyen el producto (fila 2), la organización que diseña y construye y opera el producto (fila 3) y los procesos que la organización sigue para realizar las actividades del proyecto (fila 4).

**Tabla N° 6:** Modelo POP, estado de la forma, función y comportamiento del producto, organización y procesos

<b>Modelo</b>	<b>Función: Objetivos</b>	<b>Forma/Alcance: Elección del diseño</b>	<b>Comportamiento: Predicciones</b>
<b>Producto</b>	Espacios, elementos de infraestructura y sistemas	Espacios, elementos y sistemas diseñados	Predecir costos (S/.)
	Objetivos medibles	Valores	Predicciones, análisis de valores
<b>Organización</b>	Actores (equipos del diseño, construcción, y O&M del proyecto)	Seleccionar actores	Costo predecido (HH, S/.)
	Objetivos medibles	Valores	Predicciones, análisis de valores
<b>Procesos</b>	Actividades	Actividades diseñadas	Costo predecido (días, S/.)
	Objetivos medibles	Valores	Predicciones, análisis de valores

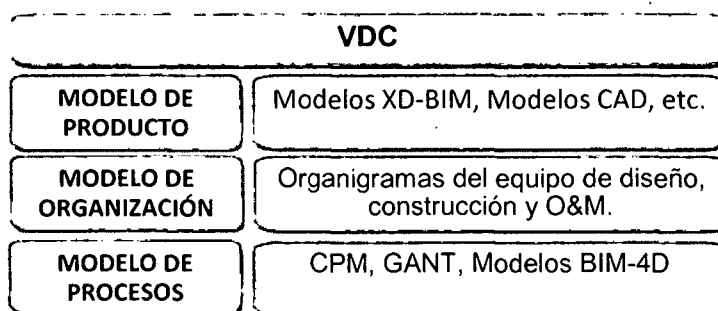
Fuente: Kunz y Fischer 2012

### 2.2.4.2. Relación entre VDC y BIM

La relación entre VDC y BIM radica en que BIM es considerado como un componente de VDC el cual representa la forma/alcance del producto, que es crucial pero en menor proporción en relación al concepto VDC (Kunz y Fischer 2012). Esta afirmación puede ser entendida dado que BIM como componente de

VDC es el uso de modelos de producto (representados mediante planos y modelos “XD”-BIM).

Así pues, VDC en resumen es el uso integral de *modelos de producto* (modelos “XD”-BIM), *modelos de organización* (representados mediante organigramas) y *modelos de procesos* (representados mediante programaciones CPM, GANT, 4D-BIM) como se indica en la Figura N°12.



**Figura N° 12:** Relación entre VDC y BIM  
(Fuente: Kunz y Fischer 2012).

### 2.2.5. Modelamiento de la Información de la Construcción (*Building Information Modeling BIM*)

*BIM* o “*Building Information Model(ing)*” traducido al español como “*Modelamiento de la Información de la Construcción*” representa un nuevo paradigma de diseño en la industria de la construcción, una metodología apoyada en herramientas sofisticadas del computador. *BIM* es visto como un manejo de la industria de la construcción hacia procesos basados en “*modelos de producto*” y gradualmente mueve a la industria lejos de procesos basado en “*modelos 2D*”. Estos procesos basados en “*modelos*”, donde los proyectos van hacer construidos virtualmente antes de ser construidos, es un subconjunto o componente del VDC (Diseño y Construcción Virtual) (AGC 2006 y Vicosoftware 2014).

Esta investigación explica por qué *BIM* no puede automáticamente ser implementado en el “*modelo convencional*”, y como *BIM* sería implementado en un proyecto convencional más probablemente sería reducido a una herramienta de modelo 3D, lo cual claramente no es *BIM* según esta investigación.



### **2.2.5.1. Definición BIM**

Hay diferentes definiciones para BIM en la literatura académica, definiciones que dependen de los puntos de vista de los usuarios, tipo de organización y su énfasis particular de trabajo. Diferentes organizaciones, investigaciones e instituciones definen BIM en varias maneras, así por ejemplo se tienen las siguientes:

*“Building Information Modeling BIM, es el desarrollo y uso de un modelo de software de computadora para simular la construcción y operación de una instalación. El modelo resultante, un Building Information Model, es una amplia información de datos, objetos orientados, representación digital inteligente y paramétrica de una instalación, del cual vistas y apropiada información de datos para varios usuarios quienes necesiten o pueden ser extraídos y analizados para generar información que pueda ser usada para hacer decisiones y mejorar los procesos de entrega de una instalación” (AGC 2006).*

*“Building Information Modeling (BIM) representa el proceso de desarrollo y el uso de un modelo generado por ordenador para simular la planificación, diseño, construcción y operación de una instalación” (Azhar 2011).*

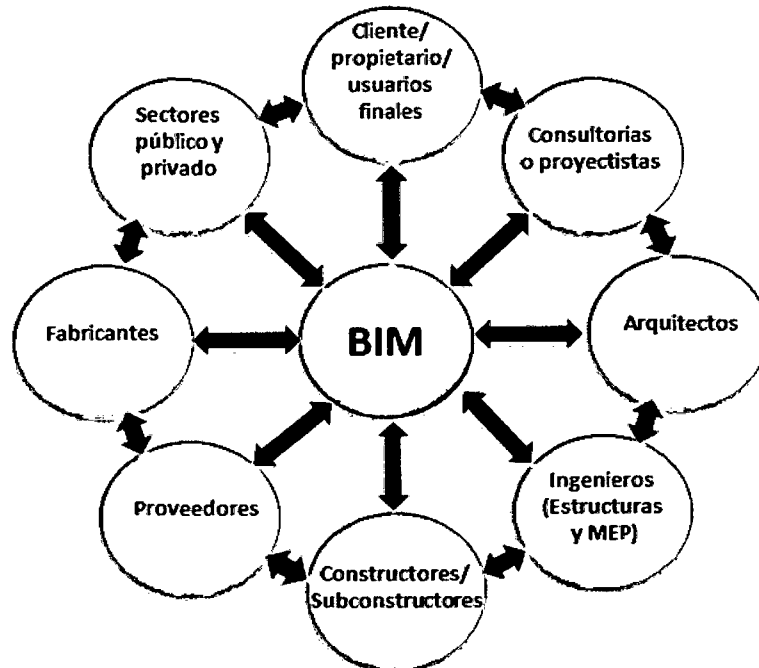
*“BIM es un método para describir una instalación, su espacio, estructuras, componentes y materiales con información esencial y propiedades. El modelo es un contenedor de información. BIM puede también ser descrito como un enfoque colaborativo para asegurar que correctas personas tengan la correcta información del proyecto a su debido tiempo” (Jeffrey 2012).*

*“BIM es una representación digital de las características físicas y funcionales de una instalación. La cual sirve como una fuente de conocimiento compartida para información acerca de una instalación y conformar bases confiables para la toma de decisiones durante el ciclo de vida del proyecto desde su concepción. BIM refiere también ampliamente para la creación y uso de modelos digitales referido a los procesos colaborativos entre los involucrados del proyecto con el fin de logra agregar valor a los modelos” (McGraw\_Hill Construction 2014).*

La definición que el autor utiliza en esta tesis para describir BIM se basa en las definiciones anteriores: *“BIM es una metodología para la representación de un modelo digital inteligente de las características físicas y funcionales de una*

*instalación y reúne toda la información en una sola base de datos (modelo de información), completamente integrada e interoperable, que es utilizada para la toma confiable de decisiones por los involucrados (stakeholders) durante el ciclo de vida del proyecto”.*

EL objetivo de BIM es compartir información de las diferentes disciplinas del proyecto, con la finalidad de facilitar el diseño, la construcción, operación y los procesos de gerencia de la construcción. Por información nos referimos a todos los insumos que intervienen en el diseño de las instalaciones de una construcción, análisis cuantitativo; metrados, los costos de los materiales, los tipos de equipamientos, el consumo de energía, las formas y así sucesivamente. Toda esta información se almacena en una base de datos única “*modelo de información*” de la cual se generan los reportes gráficos (planos) como son las plantas, cortes o elevaciones, los cuales siempre estarán totalmente compatibilizados, también se pueden generar reportes para efectos de contabilizar, cotizar, y para la gestión eficiente todo el proyecto.



**Figura N° 13:** Significado de BIM para la industria de la construcción.  
(Fuente: Adaptado de McGraw\_Hill Construction 2014)

BIM, es prácticamente una plataforma digital para la creación de un modelo virtual. Si BIM es aplicado a un modelo este debería ser capaz de contener toda la información requerida para colaborar, predecir, y hacer decisiones referentes al diseño, construcción, operación, y mantenimiento de las instalaciones de una

construcción. BIM facilita procesos y análisis complejos que fueron previamente demasiado laboriosos o costosos de realizar. BIM no puede ser incorporado automáticamente e independientemente en el “modelo convencional”, y como BIM puede ayudar a la industria de la construcción si sólo la filosofía y la percepción de como diseñar y construir cambian. Ningún proyecto tiene aún realizado completamente el alcance total de BIM (McGraw\_Hill Construction 2014).

*“BIM representa un paradigma de cambio que va a tener gran repercusión en cuanto a beneficios, no solamente por la industria de la construcción sino para la sociedad en general, como mejores proyectos son construidos lo cuales consumen menos energía y requiere menos trabajo y recursos” (Eastman et al.2008).*

De acuerdo con Eastman *et al* (2008), el uso efectivo de BIM puede traer varias consecuencias notables sobre el resultado del proyecto a través de la mejora del diseño, la mejora de la factibilidad de construcción, y la terminación del proyecto más rápido, ahorrando tiempo y dinero tanto para el propietario y para el equipo del proyecto. BIM también se perfila como la solución para reducir el desperdicio y la ineficiencia en el diseño.

Hoy BIM es considerado más que solamente una herramienta o una tecnología, esto representa una completa y nueva forma de enfrentar los procesos constructivos (metodología). Con estas características la mayoría de los usuarios de BIM apuntan a lograr ahorros en los costos y tratar de incluir en última instancia, la modelización de costos integrados, la secuenciación de la construcción y administración de la infraestructura (modelos “XD”).

#### **2.2.5.2. Historia BIM**

Eastman (1975), introdujo un nuevo concepto a la industria de la construcción describiendo un sistema donde *“Cualquier cambio de disposición habría de ser hecha una sola vez en los diseños futuros para ser actualizados. Todos los diseños derivados de la misma disposición de elementos serán automáticamente coherentes”*. En ese entonces, llamó a este concepto *“Sistema de descripción del diseño”* y que éste fue el fundamento de lo que hoy es conocido como BIM. Esta y otras definiciones creadas por los desarrolladores de software para explicar el

concepto están todas centradas en los aspectos de la "información contenida" en los objetos y cómo esto puede reducir el desperdicio en términos de actualizaciones automáticas, etc.

BIM es considerado por muchos como una nueva "tecnología" basada en software, la cual ha dirigido a la mayoría de investigaciones relacionadas con BIM desde que fue definido hacia el desarrollo del software. La Tabla N°7 muestra el desarrollo de software de la época. El software ya era capaz de diseñar objetos 3D en 1973, por lo cual Eastman (1975), pone en palabras y predice cómo esta nueva tecnología será capaz de hacer que la industria de la construcción mucho más eficiente y eficaz.

**Tabla N° 7:** Revisión histórica en el desarrollo del software permitiendo a la tecnología implementar BIM

AÑO	HECHOS IMPORTANTES
1957	Dr. Patrick J. Hanratty es conocido como "El padre de CADD/CAM" por su contribución pionera en el campo del diseño y manufactura asistido por computadora.
1968	Donal Welbourn, vio la posibilidad en usar computadoras para asistir a los creadores de patrones resolver los problemas difíciles con formas de los modelos 3D.
1973	La fácil creación y edición de arbitrarias formas solidas 3D fue desarrollada.
1979	Mike and Tom Lazer desarrollaron el primer software CAD para PC.
1982	Autocad fue fundado en California. El objetivo fue para crear un programa CAD para PC's por menos de 1000 USD.
1984	Un físico de Hungría, Gabor Bajor, usando Pascal, él y un adolescente, Tamas Hajas trabajaron para escribir un programa 3D CAD que fue el inicio de Graphsoft Company.
1985	Keith Bentley funda Bentley System, Inc. Microstation provee un avanzado diseño asistido por computadora para PC's.
1986	El primer uso documentado uso del concepto Building Information Modeling.
1987	Se lanzó ArchiCAD, primer programa BIM, que permite crear dibujos 2D y 3D.
1990–1995	Paso al intercambio universal de información, la IAI (International Alliance for Interoperability), desarrolla el formato IFC.
1997	Bentley lanza su primer programa BIM.
2007	Autodesk lanza su primer programa BIM, REVIT.
2008–2014	Los programa BIM, mejoran su visualización, bi-direccionalidad y análisis.

Fuente: Tjell 2010

### 2.2.5.3. Fundamentos BIM

La metodología BIM tiene sus fundamentos en su naturaleza intrínseca, como la automatización y la visualización a través de modelos inteligentes, interoperables y multidisciplinarios basados en modelos. Estos fundamentos son dados en la siguiente Tabla N°8.

Tabla N° 8: Fundamentos de la Metodología BIM

FASE	ÁREA FUNCIONAL Y FUNCIÓN
DISEÑO	Visualización de modelo.
	Generación y evaluación rápida de múltiples alternativas de diseño.
	Mantenimiento de la información y modelo de diseño integral.
	Generación automatizada de la información (planos y documentos)
DISEÑO DETALLADO	Colaboración entre las fases de diseño, construcción, O&M
PRO-CONSTRUCCIÓN Y CONSTRUCCIÓN	Generación y evaluación rápida de múltiples alternativas del plan de construcción
	Online/comunicación electrónica de modelos

Fuente: Sacks *et al.* 2014

#### 2.2.5.4. Aplicaciones BIM en la industria a de la construcción

Las aplicaciones de BIM son muchas, y muchos más están siendo descubiertos conforme las organizaciones, empresas e investigadores aplican BIM en los proyectos de construcción. Jeffrey (2012), especialista BIM de la compañía internacional de construcción Skanska reportó, 12 áreas remarcables de aplicación de BIM a lo largo del ciclo de vida de un proyecto (Tabla N°9).

Tabla N° 9: Aplicaciones de BIM en la industria de la construcción.

FASE	APLICACIÓN	DESCRIPCIÓN
O&M - CONSTRUCCION - DISEÑO	Diseño	Modelos de diseño inteligente y múltiples alternativas
	Visualización	Visualización caminatas, virtuales, videos, etc., a través de modelos 3D-BIM, 4D-BIM, 5D-BIM, 6D-BIM, y 7D-BIM
	Simulación y análisis	Modelos que permiten un análisis cuantitativo y cualitativo de manera integral.
	Diseño Green	Para el diseño sostenible empleando herramientas que permitan un análisis y simulación Green.
	Estimación de materiales y costos	Información automatizada, con generación de cuadros de metrados, costos y especificaciones, estimación de costos con modelos 5D-BIM.
	Detección de Interferencias	Análisis automatizado de chequeo para evitar posibles conflictos entre elementos de diseño.
	Procura y logística	Generación de especificaciones y requerimientos acorde con los modelos, actualización periódica.
	Planificación de la producción	Constructabilidad mediante modelos planificación del flujo de trabajo con modelos 4D-BIM y estimación y planificación de costos con modelos 5D-BIM.
	Administración de la cadena de suministro	Coordinación entre construcción virtual y construcción real, visualización del flujo de materiales y procesos.
	Registro y reportes de gerencia	Información confiable y concisa de la productividad acorde con el plan.
	Administración de la operación y mantenimiento	Modelos virtuales a escala, interoperables que hacen fácil la operación y mantenimiento de las instalaciones.
	Negocios	Incremento de la competitividad y confianza con el cliente-proyectista-constructor

Fuente: Jeffrey 2012

### **2.2.5.5. Beneficios BIM durante el ciclo de vida del proyecto**

Los beneficios frecuentes citados con el uso de BIM son numerosos y están incrementándose a medida que más personas usan BIM en sus proyectos. Hay muchos beneficios y diferentes ventajas mencionados para BIM por muchos estudiosos. Por ejemplo, CIFE (2007) en uno de sus informes reportó los siguientes beneficios de acuerdo con 32 grandes proyectos donde se usó BIM (Tjell 2010):

- Reducción de tiempo de entrega del proyecto hasta un 7%.
- Ahorro de hasta un 10% del valor del contrato por detecciones de interferencias.
- El aumento de la estimación de costos con una presión de 3%
- Reducción de hasta un 80% en el tiempo utilizado para la preparación de las estimaciones de costos.
- Hasta el 40% de reducción de cambios no presupuestados.

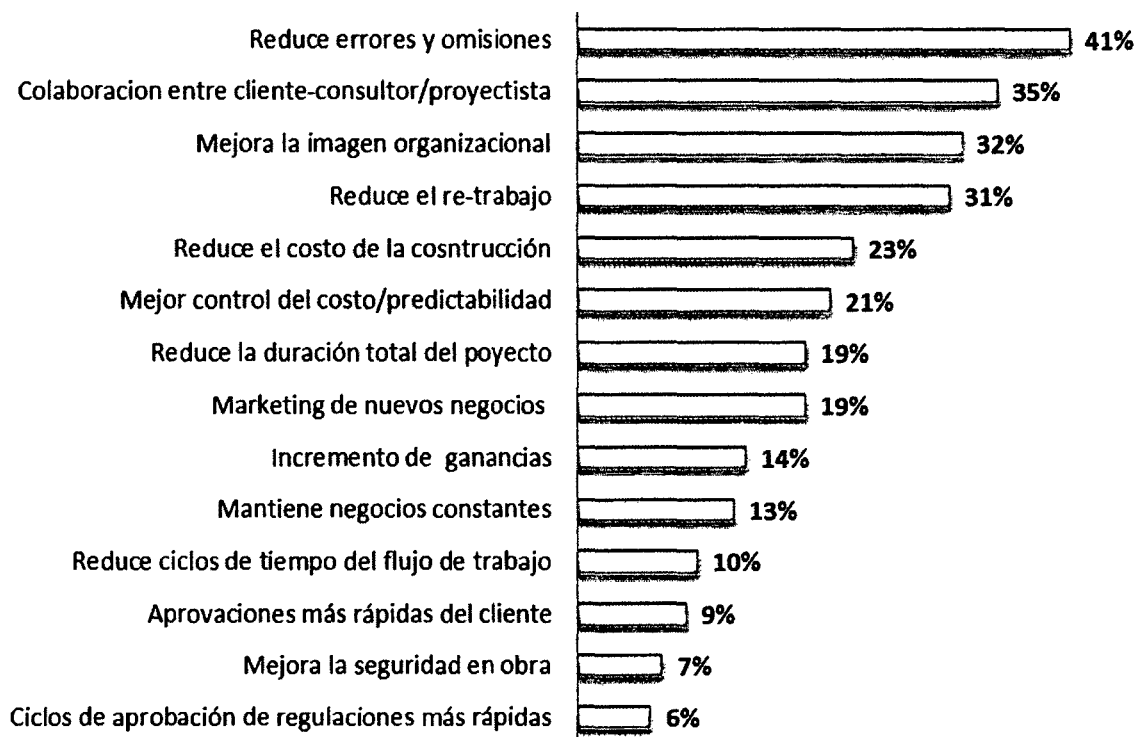
Otros beneficios son mencionados por Azhar (2011):

- *La representación exacta de los elementos de construcción.*
- *Los procesos efectivos:* dado que la información es fácil de compartir y reutilizar.
- *El diseño eficiente:* BIM da la oportunidad de arquitectos y gerentes para analizar las propuestas de diseño y elegir el mejor diseño en términos de costos, tiempo, alcance, y calidad.
- *Un mejor control de los datos de toda la vida del proyecto:* es aliviar los puntos de referencia de rendimiento, una mejor comprensión de los costos del ciclo de vida, un mejor acceso a los detalles de los objetivos diseñados y desempeño ambiental más predecible.
- *Aumentar la calidad de la producción:* La flexibilidad en la producción de documentación y aumento de la automatización en la construcción.
- *Montaje Automatizado:* ayuda a la normalización de los objetos de construcción por lo que aumenta la producción de sistemas estructurales.
- *Mejor servicio al cliente:* visualización que BIM aporta a la construcción ayudan a los clientes a entender mejor las diferentes propuestas en la fase de diseño.
- *Mejor gestión de la unidad:* la información del ciclo de vida que se almacenan en los modelos BIM, como los requisitos y el diseño, la información de la

construcción, ayuda a los administradores de instalaciones para reutilizar con facilidad por lo que no hay necesidad de recuperar esa información otra vez.

Un estudio realizado por McGraw\_Hill Construction, (2014) y publicado en la revista "The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets" para demostrar la tendencia global de la adopción BIM en Norteamérica, Europa y Corea del Sur, a través de información de compañías de construcción en 10 países como: Australia, Brazil, Canada, Francia, Germany, Japan, Nueva Zelanda, Corea del Sur, U.K. y US., menciona numerosos beneficios de BIM en términos de Valor para constructores y el cliente.

#### Beneficios BIM para los constructores



**Figura N° 14:** Porcentaje de constructores citando los beneficios BIM.  
(Fuente: McGraw\_Hills Construction 2014)

Los mayores beneficios de BIM para los constructores que están adoptando BIM en sus proyectos, según *McGraw\_Hills Construction (2014)* son: reducción de errores y omisiones y reducción del retrabajo, ambos de los cuales tienen impactos positivos inmediatos y contribuyen a soportar el Retorno de la Inversión (Return on Investment ROI); reducir el costo de la construcción, reduce la duración del proyecto y mejora la seguridad completa los 5 mayores beneficios de BIM en los proyectos en la industria de la construcción. Además este estudio hace

hincapié en que compromiso y colaboración son el manejo clave para obtener los mejores beneficios BIM (McGraw\_Hill Construction 2014).

Los beneficios citados por constructores durante las fases de diseño y construcción son mostrados en la Figuras N°15 y N°16 respectivamente.

### Beneficios BIM en la fase de diseño/pre-construcción

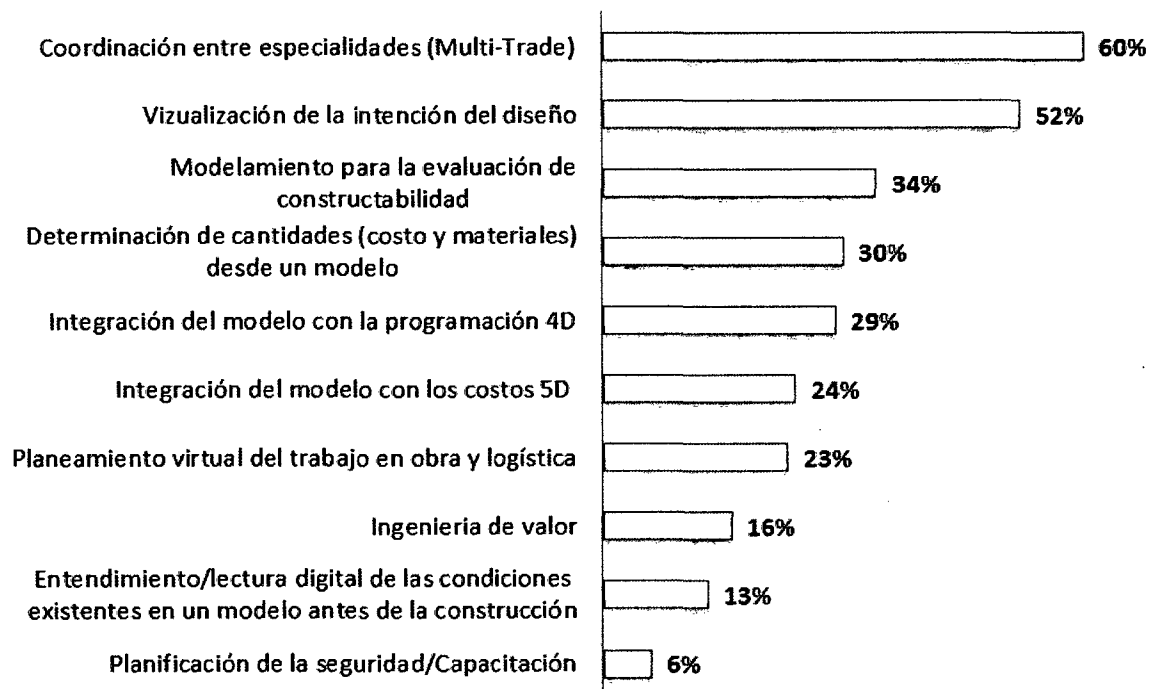


Figura N° 15: Beneficios BIM durante la fase de diseño/pre-construcción (Fuente: McGraw\_Hills Construction 2014)

### Beneficios BIM en la fase de construcción

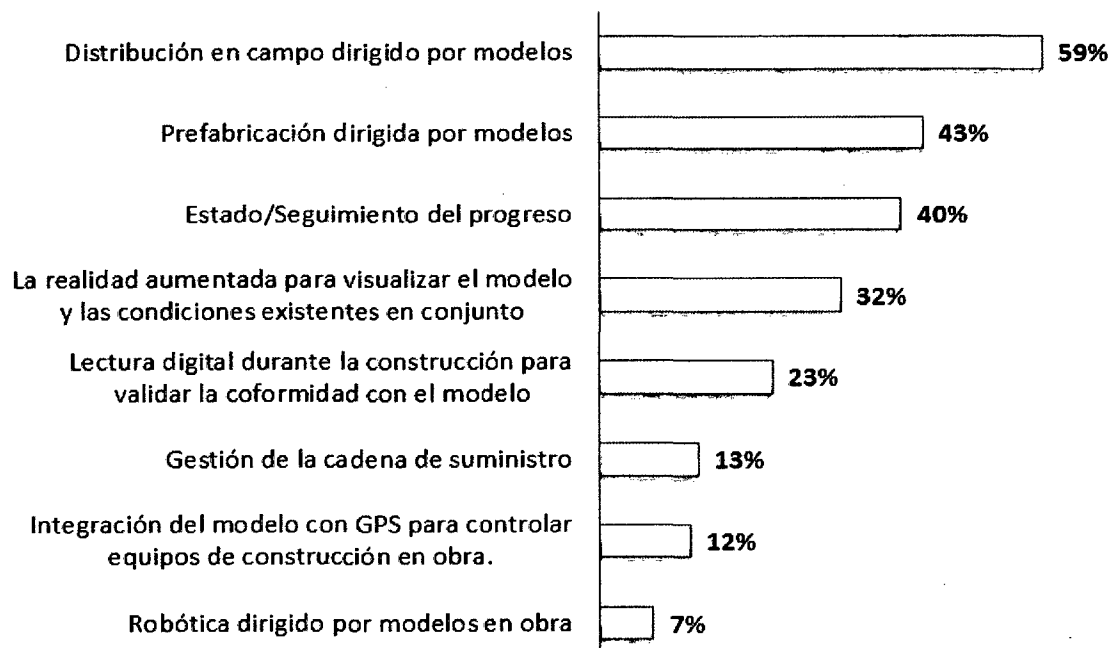


Figura N° 16: Beneficios BIM durante la fase de construcción (Fuente: McGraw\_Hills Construction 2014)



En resumen los beneficios a nivel global de BIM se pueden mencionar:

- Mejora la calidad de los proyectos.
- Incremento de la productividad (toda la información relevante está conectada y disponible en un solo lugar).
- Reducción tiempo y costos.
- Comunicación y colaboración eficaz con los clientes-consultores/proyectistas-constructores (información y participación anticipada y más influyente).

#### **2.2.5.6. Ventajas y amenazas de BIM**

*"Tal vez el más importante beneficio controlador para los sistemas BIM y su adopción será el valor intrínseco que la calidad de la información proporcionará a los clientes de construcción. Mejora de la calidad de la información, productos de construcción, herramientas de visualización, estimaciones de costos y análisis dará lugar a una mejor toma de decisiones durante el diseño. El valor de la construcción de modelos para el mantenimiento y las operaciones es todo probabilidades de iniciar un efecto de bola de nieve, donde los clientes demanden el uso de BIM en sus proyectos" (Eastman et al. 2008).*

No hay duda de que el incentivo en términos monetarios, está controlando el sistema de ejecución de los proyectos y, en general, la industria de la construcción, y que la demanda de BIM desde el lado del cliente es esencial y ventajosa. Sin embargo, una pregunta interesante es cómo BIM se convierte en una ventaja para los involucrados que participan en la propia industria, para crear también una demanda del propio sector de la construcción para aplicar BIM. Según Eastman et al (2008), se hace evidente que las ventajas de BIM se pueden describir en seis categorías principales, que son los siguientes: el tiempo, la economía, la calidad, la fiabilidad, la seguridad y la confianza de todos los involucrados.

La aplicación de BIM es sin embargo todavía limitada hoy que posiblemente puede tener algo que ver con el hecho de que no todos los involucrados en la industria de la construcción entienden el concepto. Otros podrían sentirse amenazados que van a perder su trabajo o responsabilidades. Por ejemplo los arquitectos que, posiblemente, perciban a BIM como una amenaza, ya que este nuevo proceso de imponer que tienen que compartir su modelo con los socios

comerciales, y no proveer al cliente con un modelo exclusivamente de ellos, como en los proyectos convencionales.

BIM es una herramienta para almacenar y compartir la información necesaria para el diseño y la construcción de una instalación. Esto significa que "esta herramienta" necesita ser alimentada con la información para ser capaz de proporcionar a otros con la información que necesitan. Para BIM a ser una ventaja es necesario que haya concordancia entre la información que los diseñadores ofrecen y lo que los contratistas y los clientes necesitan. Si eso ocurre, y la precisión que BIM promete entonces la prefabricación puede llegar a ser una parte más integral de la industria de la construcción. La prefabricación es un concepto que por sobre todo los contratistas y subcontratistas pueden proporcionar una gran cantidad de ventajas que hasta ahora la industria de la construcción no ha considerado (Tjell 2010).

Un cambio de paradigma en este contexto significa cambiar radicalmente la percepción de la forma de diseñar y construir los proyectos. Este cambio de percepción tiene que venir de las personas involucradas, ya que son los que tienen que hacer el cambio. Una herramienta por sí sola no puede cambiar nada como la salida de una herramienta nunca se pone mejor que los datos de los que se alimenta, el medio por el cual se pone en práctica (Tjell 2010 y Alcántara 2013).

*"La adopción de BIM por sí sola no va a implicar necesariamente el éxito del proyecto. BIM es un conjunto de tecnologías y procesos de trabajo en evolución que debe ser apoyado por el equipo, la gestión, y un cliente cooperativo. BIM no sustituirá a una excelente gestión, un buen equipo de trabajo, o a una respetuosa cultura de trabajo" (Eastman et al. 2008).*

#### **2.2.5.7. Niveles de implementación BIM**

BIM está siendo utilizado en un número de diferentes niveles de madurez. Como el primer nivel, que se utiliza como CAD no administrado en 2D, con papel o el intercambio de datos de papel electrónico (formatos DWG, PDF, etc.). En el siguiente nivel puede ser utilizado como CAD gestionado en formato 2D o 3D con una herramienta de colaboración que proporciona un entorno de datos común con

un enfoque estandarizado para la estructura y formato de los datos. En este caso, los datos comerciales serán gestionados por las finanzas y la gestión de costos paquetes independientes sin integración.

En la próxima etapa de BIM se utiliza como un entorno 3D celebrada en un contrato con las disciplinas y herramientas "BIM" separados con datos adjuntos. Datos contractuales que serán gestionados por los proyectistas o consultores quienes planificación de recursos e integran las interfaces. Este nivel de BIM puede utilizar la secuencia de construcción 4D y/o información de costos 5D.

En el más alto nivel de BIM se considera como procesos totalmente integrados y de colaboración habilitados por "servicios web" y cumple con los estándares del formato internacional IFC. Este nivel de BIM utilizará secuencia de construcción 4D, 5D, 6D, y XD (Tjell 2010)

#### **2.2.5.8. Modelos BIM**

Un modelo BIM es la representación digital inteligente (paramétrico) de las características físicas y funcionales de las instalaciones de un proyecto (arquitectura, estructuras, MEP, costos, alcance, tiempo etc.), que reúne toda la información en una sola base de datos integrada e interoperable, esto se logra a través de herramientas BIM (softwares), su objetivo principal es la modelación de la información antes de la construcción. Un modelo BIM contiene las equivalencias virtuales de las partes y piezas reales de una instalación usadas para la construcción de ésta. Cada uno de estos elementos tiene todas las características físicas y lógicas de sus equivalentes reales. Estos elementos inteligentes son el prototipo digital de los elementos de la instalación real, tales como muros, columnas, ventanas, puertas, escaleras, etc., que nos permiten simular un por ejemplo un edificio y entender su comportamiento desde un modo computarizado antes que la construcción real empiece es decir, "*simular antes de construir*".

En un modelo BIM los modelos 2D-BIM son una consecuencia de los modelos 3D-BIM, es decir, la a partir de modelos 3D-BIM se obtienen planos 2D que son las bases fundamentales en el proceso de licitación. El uso extendido de diseño inteligente 3D (Modelos) han llevado a referencias para los términos "XD". Donde

3D es el modelo digital paramétrico, 4D es la secuencia y la programación de materiales, personal, espacio de actividades, tiempo, etc., 5D incluye el listado de las partes y estimación de los costos, 6D considera la administración de las instalaciones en el ciclo de vida, y 7D abarca el análisis y modelamiento de sostenibilidad del proyecto, e interminablemente más allá (estos conceptos son completamente dependientes de un software tecnológico con el fin de ser implementados), por eso, más que continuar con esta numeración (8D, etc.) hay un creciente tendencia a referirse a todas las aplicaciones extendidas del uso de la herramienta 3D como "XD" (AGC 2006).

#### **a. Modelo 2D-BIM**

Es todo acerca de los planos y las especificaciones. Tradicionalmente y en la actualidad, la documentación de construcción es y han sido base de papel, contando con representación en 2D (Eastman *et al.* 2008).

#### **b. Modelo 3D-BIM**

La diferencia fundamental entre las representaciones geométricas en 3D y modelos 3D-BIM es este último consiste en objetos inteligentes (modelo paramétrico) que son capaces de mantener la información que de forma automática se puede actualizar y modificar con el progreso de un proyecto.

BIM utiliza el modelado paramétrico para transformar "el diseño geométrico" en un objeto basado en conocimiento incrustado dentro de una herramienta. Esto significa que *"representa objetos por los parámetros y reglas que determinan la geometría, así como algunas propiedades y características no geométricas. Los parámetros y las reglas permiten que los objetos se actualicen automáticamente de acuerdo con el control del usuario o cambio de entorno"* (Eastman *et al.* 2008). Esto significa que los objetos que se verán afectados por un cambio en particular y se actualizarán automáticamente para facilitar ese cambio en particular. Un ejemplo de ello podría ser el movimiento de un muro, donde los objetos conectados, tales como puertas, otros objetos en el muro, otros muros, se ajustarán a ese cambio. De esa manera, un modelo es incrementadamente refinado durante todo el proceso.

Una manera en que el modelo BIM es capaz de hacer eso es porque todos los "objetos se definen mediante parámetros que implican distancias, ángulos y reglas como "adjunto a", "paralela a" y "distancias de". Estas relaciones permiten a cada instancia de una clase de elemento para variar de acuerdo con su propia configuración de los parámetros y de las relaciones contextuales (Eastman *et al.* 2008).

Las capacidades relativas a la posibilidad de ajustarse y actualizarse son, sin duda un gran cambio desde el enfoque convencional de BIM, pero el cambio más fundamental que implica BIM es la capacidad de incorporar información en el objeto individual, la inteligencia que se está incorporando en el modelo. Cada objeto en un modelo puede contener información sobre el peso, el costo, la factibilidad de construcción, y todo lo que se necesita en el campo de la construcción física del proyecto. Esto significa que la comprensión de lo que necesitan los contratistas, es esencial porque BIM no es una varita mágica: "*No se puede inventar información que nunca se le dio.*" Por tanto, el aspecto interesante respecto a esta forma de diseñar es cómo conseguir la información correcta que se necesita para construir el proyecto en el programa. Esto es lo que distingue a BIM de anteriores procesos de documentación de la construcción, tales como dibujos 2D y 3D simples (Eastman *et al.* 2008).

### **c. Modelo 4D-BIM**

El Modelo 4D es la cuarta dimensión, que conecta lugar y tiempo. En 3D, un objeto puede ser determinada por el lugar, el tamaño y la forma (x, y, z), pero no puede decir nada acerca de cuándo un objeto va a estar en un lugar en particular. Por lo tanto se añade el tiempo, la cuarta dimensión, para ser capaz de determinar cuándo un objeto estará en un lugar en particular (x, y, z, t).

Modelos 4D permitirán a los contratistas o subcontratistas determinar dónde las personas, los trabajadores, los materiales, el equipo, los requisitos de espacio, etc. estarán en diferentes momentos y por cuánto tiempo. Modelado 4D implica la coordinación de la construcción en el diseño. En un proyecto convencional, la coordinación de las personas, los trabajadores, materiales, equipos, etc. se hace por el director del proyecto "in situ" que no es necesario tener la plena

comprensión de las diferentes tareas de los contratistas en un proyecto en particular: Esto a menudo lleva a los materiales pobres, los trabajadores y las asignaciones de espacio la evaluación manual de la conexión de los dibujos y los programaciones para un proyecto de todo la construcción y la secuencia del flujo de trabajo en el lugar es casi imposible sin causar retrasos en algunas áreas (Vicosoftware 2014).

“En primer lugar la interpretación de la programación a veces puede ser complicado ya que los horarios típicos tienen cientos o miles de actividades, así como los supuestos de las relaciones anteriores no están representados en la programación CPM (Critical Path Method), esto puede hacer que la identificación de errores en el programa CPM sea difícil y engorrosa. En segundo lugar, los diferentes miembros del proyecto pueden desarrollar interpretaciones inconsistentes de la programación durante la visualización de la programación CPM. Esto a su vez hace complicada la comunicación efectiva entre los equipos del proyecto”. Por lo tanto, si la coordinación de la construcción se podría hacer prácticamente durante la etapa de diseño, muchos de los aspectos que causan retrasos en la construcción se pueden detectar y evitar (Vicosoftware 2014). Cuando cada objeto está conectado a una tarea de instalación, la coordinación se vuelve más fiable, debido a que menos sorpresas posiblemente pueden ocurrir.

Un modelo 4D-BIM no sólo puede simular el proceso de construcción, sino que también puede, en gran medida evitar que más personas estarán trabajando en el mismo lugar ya través de que las zonas de crear peligro durante la construcción. Además un modelo 4D-BIM permite también que el gerente del proyecto pueda documentar visualmente la cantidad de trabajo realizado y por esa explicar y entender las próximas tareas (Vicosoftware 2014).

El reto respecto a la programación de obra hecha en la fase de diseño es que las personas que tienen conocimientos sobre la manera de resolver los problemas de la fase de construcción deben participar activamente en la fase de diseño. Para participar los contratistas y subcontratistas en la etapa de diseño será como ya se ha señalado, tanto requiere otra configuración contractual, un nuevo enfoque de gestión y crear una cultura sostenible. Una posible alternativa de este manejo se describe más adelante en el Capítulo III (ver sección 3.2.7.).

#### **d. Modelo 5D-BIM**

El modelo 5D es la quinta dimensión, lo que significa que conecta el lugar, tiempo y costo (total). En 4D, un objeto puede ser determinada por la forma, el tamaño, el lugar y la hora (x, y, z, t), pero esto no nos dice nada acerca de cuánto le cuesta obtener un determinado objeto de estar en un lugar determinado en un tiempo determinado. Por lo tanto, se añade el costo, la quinta dimensión, para poder determinar el costo (total) de conseguir un determinado objeto de estar presente en un lugar determinado en un momento determinado (x, y, z, t, \$).

El beneficio de la quinta dimensión es que el costo total de un proyecto puede ser determinado con base en el precio de materiales, costos laborales, costos de transporte, etc.; toda la información que se puede incrustar en los objetos. Si toda esa información se adjunta a los objetos de los que sería fácil de extraer los números y en base a ellos, hacer un cálculo final del costo de todo el proyecto (Vicosoftware 2014).

#### **e. Modelo 6D-BIM**

Se refiere a la vinculación inteligente de componentes 3D-BIM o 3D-CAD y conjuntos individuales con todos los aspectos de la información de gestión del ciclo de vida del proyecto. El modelo 6D-BIM suele entregarse al propietario, cuando un proyecto de construcción está listo para ser entregado al cliente y/o usuarios finales. El modelo BIM "As-Built" se conforma con toda la información relevante de los componente de la construcción, tales como datos de productos y detalles, manuales de operación y mantenimiento, especificaciones, datos de garantía, enlaces webs de las fuentes de productos en línea, la información del fabricante y contactos, etc. Esta base de datos centrada en la información se hace accesible a nivel mundial para los usuarios/propietarios a través de un entorno web seguro de propiedad personalizada. La precisión de 6D-BIM ayuda a los administradores de instalaciones en la operación y mantenimiento de las instalaciones durante todo su ciclo de vida.

#### **f. Modelo 7D-BIM**

La séptima dimensión está relacionada al análisis de sostenibilidad de la construcción; es decir, el análisis de diseño y construcción Green. Los modelos

7D-BIM relaciona aquellos aspectos que tienen un impacto la construcción así como el impacto de ésta en el entorno. Así pues se puede realizar el modelamiento y análisis conceptual detallado de energía, análisis iluminación diurna, calidad del aire interior, desarrollo sostenible del lugar, emplear y diseñar con materiales y elementos prefabricados y sostenibles, conservación y cosecha del agua de lluvia, energías renovables, calefacción pasiva, dinámica de fluidos computarizada. Este análisis ayuda a perseguir el cumplimiento de los requisitos de la certificación LEED, si es que ese es el objetivo del proyecto.

#### **2.2.5.9. BIM vs CAD**

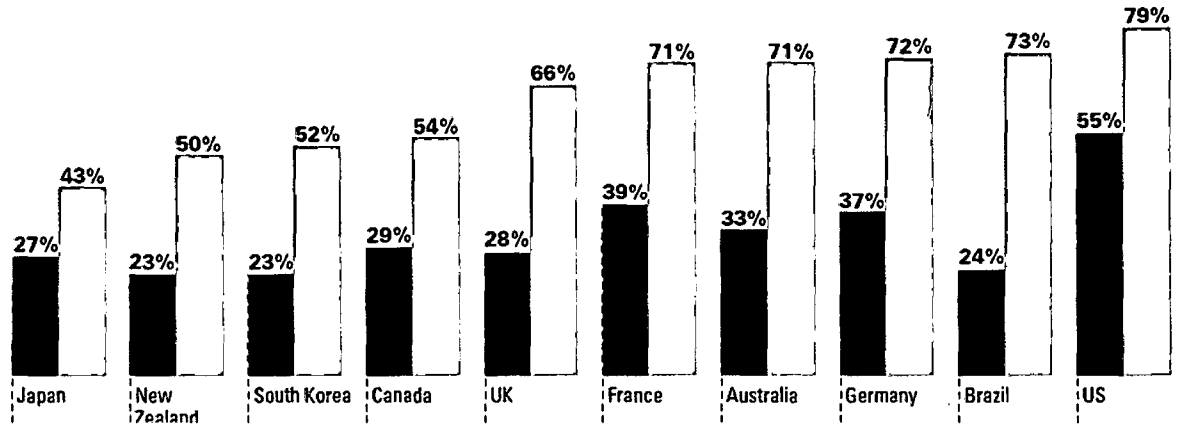
Hoy en día después de muchas discusiones entre aquellos que consideran BIM como diseño asistido por ordenador avanzado (CAD), ha quedado sentado las diferencias obvias entre BIM y CAD, dado que el CAD representa los elementos de construcción con las líneas que definen la geometría de una estructura; Sin embargo, BIM crea cada elemento de la estructura como un objeto "inteligente" debido a que es un modelo paramétrico, que contiene una amplia variedad de información, además de sus dimensiones físicas. Cada elemento en el modelo BIM se relaciona bien con otros objetos y al diseño en general. Además BIM es considerado como todo el proceso de intercambio, reutilización, y el control de la información del proyecto que se generen durante el ciclo de vida de una construcción, creando un repositorio único de información sobre la construcción que permite la generación de comunicación y colaboración entre los involucrados en el proceso (AGC 2006, Eastman *et al.* 2008, Tjell 2010 y Jeffrey 2012).

#### **2.2.5.10. Adopción BIM en el mundo, Latinoamérica y en el Perú**

La tendencia global de la adopción BIM está incrementándose a medida que más empresas y organizaciones implementa y experimentan resultados positivos en sus proyectos alrededor de todo el mundo, una investigación de la implementación BIM a nivel mundial realizada por McGraw\_Hills Construction en el año 2014 por ejemplo reporta una amplia implementación en Australia, Brazil, Canada, Francia, Germany, Japan, Nueva Zelanda, Corea del Sur, U.K. y US. Mencionan numerosos beneficios de BIM en términos de Valor para constructores y el cliente.



■ 2013 □ 2015



**Figura N° 17:** Porcentaje de constructores citando niveles de implementación de BIM por país. (Fuente: McGraw\_Hills Construction 2014)

En el Perú, debido a una falta de la información necesaria e involucramiento de políticas en las empresas públicas, privadas y entidades gubernamentales, la adopción del BIM no es una realidad concreta. Si bien es cierto existen algunas empresas grandes y pequeñas que los vienen usando, sólo se enfocan en algunas de sus áreas de aplicación de manera aislada, dependiendo de sus necesidades y de las utilidades que desean aprovechar. Por otro lado, muchas empresas desconocen sus potenciales ventajas. Esto se debe a que el BIM como panorama general no es en sí aprovechar los beneficios de utilizar un software, sino un cambio en la manera de pensar en la forma de cómo gestionar los proyectos (Alcántara 2013).

Para que el uso del BIM alcance el éxito ideal, según los términos que la definen, tanto los arquitectos, proyectistas, contratistas y demás partes involucradas en el proyecto deben gestionar su información y canalizarla al resto de los involucrados usando herramientas BIM. Esto pone en agenda política el liderazgo que debería asumir el estado en buscar difundir el uso de estas tecnologías, similarmente como viene sucediendo en países como Brasil. De todas formas queda claro que el uso del BIM, aplicado a los proyectos de construcción, está en pleno desarrollo y es una oportunidad para mejorar los procesos tradicionales de gerencia del diseño y/o construcción de los proyectos y cuyos beneficios podrían ser percibidos en cualquiera de las etapas del proyecto.

## **2.2.6. Diseño y Construcción Sin Perdidas (Lean Design and Construction LEAN)**

Esta investigación analiza los principios fundadores de Lean Construction. Este es un gran tema de discusión y necesita más espacio que el asignado aquí. Por lo tanto, el papel se limita a la discusión de los conceptos y beneficios de Lean, apoyados en ejemplos de la industria de la construcción, tanto para el propietario y para el contratista.

Lean Construction es una nueva filosofía de producción para la construcción basada en Lean Production (Koskela 2000 y Ballard 2000). Uno de los elementos centrales de Lean es la reinterpretación de la forma en que se entiende la producción en construcción, modificando el conocido "modelo de conversión". "El modelo de conversión" básicamente representa un proceso de producción donde los insumos o entradas son transformados en productos o salidas, donde el cambio de substancias de las entradas en salidas es tratado como una "caja negra". Koskela (1992), sugiere las siguientes limitaciones para el modelo de conversión: (i) No diferencia entre las actividades de proceso (actividades que agregan valor) y las actividades de flujo (actividades que no agregan valor). Este modelo considera que todas las actividades agregan valor; (ii) Una de las premisas fundamentales del modelo, estima que el costo total del proceso puede reducirse minimizando los costos de cada subproceso, ignorando los efectos producidos por la interdependencia entre subprocesos, la variabilidad de los resultados y los trabajos rehechos; y (iii) No existe preocupación por el impacto que produce en el producto final, la mala calidad de los recursos, la variabilidad y la incertidumbre. Koskela (1992), propone el modelo de flujos como pilar fundamental de Lean Construction, donde se distinguen explícitamente los flujos (o actividades que no agregan valor) y las conversiones (actividades que agregan valor).

### **2.2.6.1. Definición Lean**

"Lean" en la industria de la construcción puede ser entendido como "Lean Design and Construction" (Diseño y Construcción Sin Perdidas) es *"un enfoque basado en la gestión de producción hasta la entrega del proyecto, una nueva manera de diseñar y construir la infraestructura de un proyecto. Aplicado al diseño y entrega,*

*cambios de Lean la forma de trabajo se realiza durante todo el proceso de entrega del proyecto. Lean Construction se extiende desde los objetivos del sistema de Lean Production a maximizar el valor y minimizar los desperdicios, mediante técnicas específicas, y los aplica en un nuevo proceso de entrega del proyecto”* (LCI, 2014). Esta es la definición más acertada, la cual está investigación acoge.

Es fundamental tener en cuenta que mientras que Lean Construction es idéntico a Lean Production en esencia, la diferencia está en cómo es concebido y cómo es practicado. Implementar Lean Construction tiene sus beneficios no sólo para el contratista (creencia popular), sino también para el arquitecto y propietario, quienes pueden obtener los beneficios con esta práctica.

#### **2.2.6.2. Orígenes de Lean**

“*Lean*” es un término del inglés traducido como “*sin perdidas*” fue originalmente empleado por James P. Womack, Daniel T. Jones and Daniel Roos que además consiguieron hacer llegar la Filosofía Lean a través de dos libros: “*The Machine That Change the World*” y “*Lean Thinking*”. Posteriormente en 1992, el profesor Koskela del Centro de Investigación Técnica de Finlandia, en su tesis doctoral, propuso una nueva filosofía de gestión, Lean Construction, que fue inspirado en los pensamientos “Lean Production” de la compañía de fabricación de automóviles Toyota en Japón en el año 1948 (LCI, 2014).

En 1992, Koskela en el Reporte Técnico N°72 publicado por el CIFE, estudió la filosofía de gestión de la producción Lean, así como otros tipos de gestión de la producción que discuten la aplicación de Lean en la construcción. Este informe es uno de los primeros informes que conecta la Filosofía Lean con la industria de la construcción y creó el principio del concepto del “Sistema de Entrega de Producción Lean” o “Lean Production System Deliver” (LPDS), que también fue el comienzo de “Diseño Sin Perdidas” o “Lean Design” y “Construcción Sin Perdidas” o “Lean Construction”

En el año 2000, tanto Koskela y Ballard, publicaron sus respectivas tesis llamada “An Exploration Towards a Production Theory and its Application to Construction” (Koskela 2000) y “The Last Planner System of Production Control”, que tanto

describe y documenta cómo la filosofía Lean se puede aplicar en el sector de la construcción. El título de la disertación de Ballard "The Last Planner System" (LPS) en cierta medida se ha convertido en un sinónimo de Lean Construction en la industria de la construcción hoy en día a nivel internacional.

**Tabla N° 10: Revisión histórica del desarrollo de la Filosofía Lean**

<b>AÑO</b>	<b>HECHOS IMPORTANTES</b>
1948-1975	Taiichi Ohno desarrolla un sistema de producción sin pérdidas en la Compañía de Automóviles Toyota en Japón.
1988	Ohno publica su libro "Toyota Production System Beyond Large – Scale Production"
1990	James P. Womack, Daniel T. Jones and Daniel Roos publican sus libros "The Machine That Change the World" y "Lean Thinking". Estos libros fueron lo que realmente marcó el inicio del termino y Filosofía de Lean tanto en los US como en Europa.
1992	Koskela: Lean construction, basado en la Filosofía Lean Production.
1993	El primer Grupo Internacional de Lean Construction hizo su primera conferencia anual.
1997	Se funda el Lean Construction Institute (LCI), en los US.
2000	Koskela y Ballard publicaron sus respectivas tesis llamada "An Exploration Towards a Production Theory and its Application to Construction" y "The Last Planner System of Production Control"

**Fuente:** (Tjell 2010 y Izadi 2013)

### **2.2.6.3. La Teoría de producción TFV**

Un enfoque nuevo e integrado fue propuesto por Koskela (1992), llamado la Teoría de la producción TFV (Transformación, Flujo y Valor) basadas en nuevos enfoques integrado de los aspectos claves de la producción, transformación, flujo y valor, los cuales como sus nombre sugiere mirar a (i) la producción como una *transformación* de la materia prima en producto final lo que significa centrarse en hacer eficiente las tareas individuales, (ii) la producción como un *flujo* de material desde su estado inicial hasta el producto final pasando a través de etapas de inspección, movimiento, espera, transformación, y por lo tanto centrarse en minimizar el desperdicio (actividades que no agregan valor), y (iii) la producción como una forma de generación del *valor* donde el centro está solamente en si las demandas del cliente han sido conocidas como por sus requerimientos. La Tabla N°11 indica esta discusión.

Tabla N° 11: La teoría de producción TFV.

	<b>Enfoque de la transformación</b>	<b>Enfoque del flujo</b>	<b>Enfoque de la generación del valor</b>
<b>Conceptualización de la producción</b>	Como una transformación de entradas en salidas	Como un flujo de material, compuesto por transformación, inspección, movimiento y espera.	Como un proceso donde el valor para el cliente es creado a través del cumplimiento total de sus requerimientos
<b>Principal principio</b>	Obtener la producción eficientemente realizada	Eliminación del desperdicio (actividades que no agregan valor)	eliminación de la pérdida de valor (obtener valor en relación con el mejor valor posible)
<b>Métodos y prácticas</b>	Estructura de Descomposición del Trabajo (WBS), Tablas de responsabilidades de la organización	Flujo continuo, control de producción pull, mejora continua	Métodos para la captura de los requerimientos, implementación de la función de calidad
<b>Contribución practica</b>	Cuidar de lo que se tiene que hacer	Cuidar de que lo que es innecesario se hacer lo menos posible	Cuidar de que los requerimientos del cliente estén conocidos en la mejor manera posible
<b>Nombre sugerido</b>	<b>Gestión de tareas</b>	<b>Gestión del Flujo</b>	<b>Gestión del valor</b>

Fuente: Koskela 2000

#### 2.2.6.4. Principios Lean

Los diferentes principios fueron establecidos inicialmente por Koskela (1992 y 2000). Estos principios permiten sistematizar las aplicaciones de Lean Construction en diversas dimensiones de gestión en los proyectos de construcción. La Tabla N°12 muestra los principios Lean durante el ciclo de vida.

Tabla N° 12: Principios básicos originales de Lean Construction en ciclo de vida de un proyecto de construcción

<b>FASE</b>	<b>CRITERIO</b>	<b>PRINCIPIOS ORIGINALES</b>
<b>DISEÑO-PLANIFICACION-CONSTRUCCION</b>	Mejorar los procesos	Incrementar la eficiencia de las actividades que agregan valor
		Enfocar el control de los procesos al proceso completo
		Introducir el mejoramiento continuo de los procesos
		Referenciar permanentemente los procesos para realizar una evolución por comparación (Benchmarking)
	Reducir perdidas	Reducir la participación de actividades que no agregan valor
		Reducir la variabilidad
		Incrementar la flexibilidad de las salidas
		Reducir los tiempos de ciclo
		Minimizar los pasos de manera de simplificar el proceso
		Incrementar la transparencia de los procesos
Valor-cliente	Aumentar el valor del producto considerando los requerimientos del cliente	

Fuente: Koskela 1992

Esto principios fueron posteriormente revisados por el Profesor Rafael Sacks *et al.* (2010), cuando desarrollo una matriz para analizar la sinergia entre BIM y Lean, incluyendo 4 principios adicionales que se muestran en la Tabla N°13.

**Tabla N° 13:** Principios Lean Construction revisados por Sacks *et al.* (2010) en el ciclo de vida de un proyecto de construcción.

FASE	CRITERIO	PRINCIPIOS
DISEÑO-PLANIFICACION-CONSTRUCCION	Flujo de procesos	Reducir la variabilidad
		Reducir los tiempo de ciclo
		Reducir el tamaño de los lotes (procurar el flujo de una sola pieza)
		Incrementar la flexibilidad
		Seleccionar un enfoque apropiado del control de la producción.
		Estandarizar
		Instituir la mejora continua
		Usar la gestión la visual
		Diseñar el sistema de producción por flujo y valor
		Asegurar la captura completa de los requerimientos
Proceso de generación del valor	Centrarse en la selección de concepto	
	Asegurar el requerimiento a medida que desarrolla el procesos de producción	
	Verificar y validar	
Solución de problemas	Ir y ver por uno mismo	
	Decidir por unanimidad y considerar todas las opciones	
Desarrollo de la confianza	Cultivar una amplia la red de colaboradores	

Fuente: Sacks *et al.* 2010

### 2.2.6.5. Productividad en la construcción

La productividad es la eficiencia en el uso de recursos, es decir la relación entre los recursos empleados y el trabajo producido (Ecuación N°1). Este puede ser expresado en unidades de mano de obra (hh/kg, hh/m<sup>3</sup>, etc.), materiales (kg/cm<sup>3</sup>, etc.) y equipos (\$ /ml, etc.)

$$Productividad = \frac{Recursos}{Trabajo}$$

**Ecuación N° 1:** Concepto de productividad.

El mayor enemigo de la productividad en la construcción es la variabilidad, lo cual se debe a varios factores como; información deficiente, rotación de personal, deficiente planificación, relaciones de corto plazo con proveedores, falta de competencias del personal (IPMA 2006 y 2011), disposición inadecuada de las instalaciones de faena, etc., que llevan a incurrir en gastos no planificados,

disminuyendo la rentabilidad esperada. La productividad en obra se puede medir fácilmente en función de las actividades o trabajos que realizan, pudiendo ser estas de tres tipos:

- a. **Trabajo Productivo (TP).**- Definimos trabajo productivo al que aporta de forma directa a la producción. Por ejemplo en la actividades para levantar un muro de albañilería, la colocación de cada bloque.
- b. **Trabajo contributorio (TC).**- El trabajo contributorio lo definimos como el trabajo de apoyo, que debe ser realizado para que pueda ejecutarse el trabajo productivo. Actividad necesaria, pero que no aporta valor. En el mismo ejemplo del muro de albañilería el TC sería, la preparación del mortero y traslado de material.
- c. **Trabajo no contributorio (TNC).**- Trabajo que no genera valor y no contribuye a otra actividad; por lo tanto, se considera como actividad de pérdida. Análogamente, como trabajo no contributorio se considera los son inevitables en la obra pero pueden ser reducidas para mejorar las productividad en la fase de diseño del proyecto. En el mismo ejemplo, el TNC, es las esperas, viajes, etc.

Un cambio en el enfoque de gestión significa minimizar o tratar de eliminar las perdidas dado que los niveles de desperdicio en la industria de la construcción son elevados. Estudios realizados en Chile, Perú y Colombia muestran que una tercera parte de la producción en las obras de construcción está compuesta por desperdicios

Tabla N° 14: Productividad en la industria de la construcción en Sudamérica.

PRODUCTIVIDAD DESEADA	TP= 60%	TC= 25%	TNC= 15%
CHILE, Serpell, 2002	TP= 38%	TC= 36%	TNC= 26%
CHILE, Serpell 1995	TP= 47%	TC= 28%	TNC= 25%
COLOMBIA, Botero, 2002	TP= 49%	TC= 28%	TNC= 23%
PERU, Ghio, 2000	TP= 28%	TC= 36%	TNC= 36%
PERÚ, Morales y Galeas, 2005	TP= 30%	TC= 44%	TNC= 25%

Fuente: Orihuella 2011.

### 2.2.6.6. El concepto de valor y desperdicio

Lean es crear valor para el cliente y eliminar desperdicio. Según la filosofía Lean, todo lo que no es valor para el cliente es desperdicio que puede ser eliminado o minimizado.

- a. **Valor:** El concepto de valor es basado en la relación entre la satisfacción de las necesidades y expectativas del cliente y los recursos requeridos para ello. Buscar un mejor balance entre la satisfacción de las necesidades y los recursos (IVM, 2014).

$$\text{Valor} = \frac{\text{Satisfacción de necesidades y expectativas}}{\text{Uso de recursos}}$$

**Ecuación N° 2:** Concepto de Valor.

(Fuente: IVM 2014)

Valor en la construcción es igual que el valor de cualquier negocio: se trata de un retorno de su inversión (ROI). Adoptar los principios Lean es una inversión en el futuro del proyecto, que va a cosechar los beneficios y dar un sólido retorno de inversión (ROI).

- b. **Desperdicio:** Desperdicio o pérdidas en construcción es, toda aquella actividad humana que absorbe recursos pero no crea valor, por lo tanto no suma a la producción por ejemplo; retrabajos, esperas, movimientos, transportes, bienes y servicios que no satisfacen las necesidades del cliente, esperas de información, retrabajos, procesos de diseño redundantes, realizar trabajos paralelos (planeamiento y programación basadas en planos 2D para asegurar que nada falte), no compartir información relevante entre el equipo del diseño del proyecto, etc. (Koskela 1992 y Vicosoftware 2014). Según el enfoque Lean los desperdicios o pérdidas producidas a lo largo de la producción son:

- *Pérdidas por flujo:* procesos que se detienen por falta de información, recursos o directivas.
- *Pérdidas en los procesos:* Exceso de la cantidad de recursos, mano de obra, equipos en el proceso, etc.



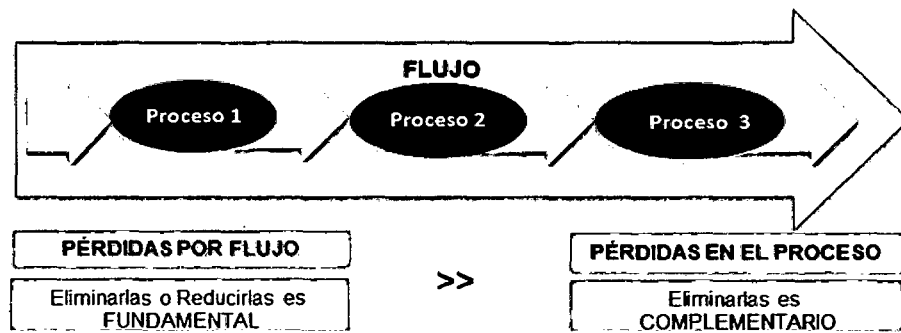


Figura N° 18: Pérdidas en los procesos de producción de un producto.  
(Fuente: Adaptado de Koskela 1992 y 2000 y Ballard 2000)

### 2.2.6.7. Sistema de Entrega de Proyectos Sin Perdidas (LPDS)

El Sistema de Entrega de Proyectos Sin Perdidas (Lean Project Delivery System LPDS) desarrollado por Ballard (2000) y mejorado luego (2007) está orientado a la implementación Lean a los sistemas de producción de proyectos de construcción. El LPDS está estructurado, controlado, y mejorado que busque maximizar el valor para el cliente y la confiabilidad del flujo de trabajo en obras de construcción, además ofrecen una visión global de conjunto de todas las fases del proyecto, desde el enfoque Lean. El LPDS se define como un marco conceptual colaborativo para la gestión integral del proyecto, a lo largo de todo el ciclo de vida de éste; alienando objetivos, recursos y restricciones, control de la producción, estructuración del trabajo y el aprendizaje (que ocurre continuamente a lo largo de todo proyecto).

El LPDS fue desarrollado como un conjunto de funciones interdependientes (el nivel de sistemas), las reglas para la toma de decisiones, los procedimientos para la ejecución de las funciones, y como ayudas y herramientas de implementación, incluyendo softwares cuando sea apropiado. La Figura N°19 ilustra el LPDS como una serie de tríadas que se solapan, y dentro de cada tríada hay diferentes procesos para ser realizados. Las tríadas y los procesos contenidos dentro de ellos son interconectados mediante fases que se extienden desde la definición del proyecto (concepción), diseño (diseño detallado), abastecimiento y ensamble (construcción) y uso (Operación y Mantenimiento) además incluye otros dos módulos de control de la producción y el módulo de estructuración del trabajo, ambos se extienden a través de todas las fases del proyecto, y el módulo de evaluación post-ocupación, el cual vincula el final y el inicio de un proyecto (ciclo de mejora continua). Las fases y proceso son:

- **Definición del Proyecto (The Project definition):** consta de los módulos: aquí se definen Necesidades y Valores de Determinación, Objetivos, Criterios de Diseño, y Diseño Conceptual. El equipo de diseño, compuesto por arquitectos, ingenieros, constructores, y propietarios se reúnen juntos en un ambiente colaborativo para definir el propósito y traducirlo a requisitos específicos. En esta fase se define en base al costo disponible del cliente (máxima cantidad de inversión), costo esperado (lo que se espera que el proyecto cueste) y costo objetivo (logrado a través de objetivos adicionales, factibilidad, ejecución, flexibilidad, sostenibilidad, duración, calidad, etc.)

$$\text{Costo disponible} \geq \text{Costo esperado} \geq \text{Costo objetivo}$$

Los involucrados es de todas las fases del ciclo de vida deben estar involucrados en esta fase inicial, incluidos los miembros del equipo de construcción, consultores y proyectistas y el cliente para la alineación de valores, conceptos y criterios.

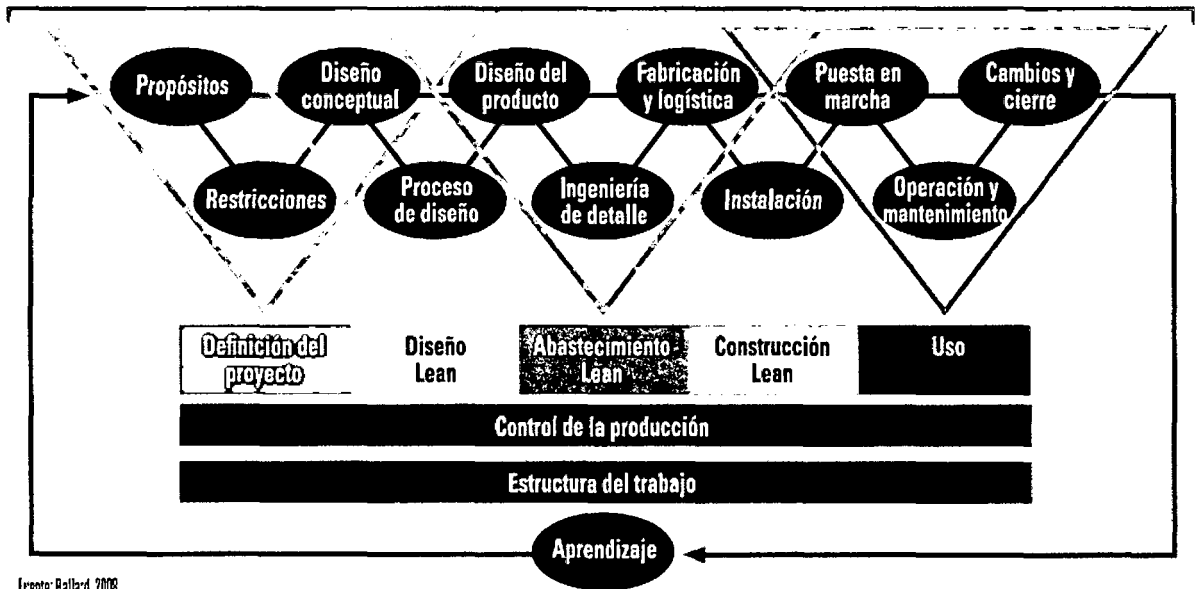
- **Diseño Sin Perdidas (Lean Design):** consiste en el Diseño Conceptual, Diseño de Procesos y Diseño del Producto. En esta fase se crea múltiples alternativas con base en los requisitos de diseño, limitaciones del proyecto, y costo objetivo. El objetivo es encontrar la mejor alternativa de diseño que mejor se ajuste al propietario con la máxima entrega posible de valor al cliente. Además en esta fase se desarrolla el Plan Maestro y del Diseño de Procesos. La estrategia basada en una visión de conjunto empleada en el diseño Lean permite a los diferentes especialistas interdependientes avanzar de una forma más segura dentro de los límites del conjunto de alternativas actuales.
- **Suministro Lean (Lean Supply):** consiste en el Diseño del producto, Ingeniería de Detalle, y Fabricación/Logística. En esta fase se requiere que el diseño del producto y procesos este realizado con el objetivo que el sistema conozca con detalle lo que debe producirse y en qué momento se debe entregarse. Los planes de la cadena de suministro están diseñados para facilitar la entrega Just-in-Time de materiales en obra. El sistema del último planificador (LPS) (ver sección 2.2.6.8.) ha demostrado ser una herramienta que contribuye al suministro *Just-in-Time*, eleva el nivel de estabilidad y por lo tanto reduce la variabilidad respecto a las condiciones iniciales, los flujos de

trabajo estables permiten eliminar muchos tipos de desperdicio durante el ciclo de vida.

- **Instalación Lean (Lean Assembly):** consiste en la Fabricación/Logística, instalación in situ, y Evaluación/Facturación. Durante esta fase el LPS se utiliza para controlar la producción y mantener el flujo continuo de materiales e información a lo largo de la ejecución que avanza según el sistema *Pull* que jala la planificación y a la programación.
- **Fase de Operación y Mantenimiento (Use):** La ejecución concluye cuando el cliente tiene la instalación en operación que por lo general es después de la entrega y puesta en marcha.
- **Control de la Producción (Production Control):** Control de producción abarca la ejecución de los planes y se extiende a lo largo del ciclo de vida de un proyecto. El "Control" primero que todo los significa que causa un futuro deseado en lugar de identificar las diferencias entre lo planeado y lo ejecutado. Control de la producción consiste en el control de flujo de trabajo y el control de la unidad de producción. El control de flujo de trabajo logrado principalmente a través del proceso del *lookahead*. El control de la unidad de producción se lleva a cabo principalmente a través de la planificación del trabajo semanal. *El sistema último planificador LPS* (Figura N°20), es fundamental para el proceso de planificación de la producción y el control.
- **Estructuración de Trabajo y Evaluación Post-Ocupación (Work Structuring and Post-Occupancy):** indica el desarrollo de operación y procesos de diseño en alineación con el diseño de producto, la estructura de la cadena de suministro, la asignación de recursos, y posibles oportunidades de fabricaciones fuera de obra. El propósito de estructurar el trabajo es hacer que las operaciones del sitio fluyen de una manera confiable y rápida, mientras agrega valor el cliente/propietario (Ballard 2000).

En esencia, la estructuración de trabajo toma parte activamente en el proceso de producción del diseño del producto. La estructuración de trabajo puede ser alcanzada usando una gran variedad de herramientas tales como BIM, Costo Objetivo, Diseño basado en modelos, simulación CPM, etc. Este nivel se puede

lograr fácilmente mediante una disposición de diseño/construcción, donde el arquitecto y el trabajo del contratista en el cumplimiento del espíritu de la estructuración de trabajo, que es pensar en la producción durante el diseño.



fuente: Ballard, 2008

**Figura N° 19:** Sistema de Entrega de Proyectos Sin Perdidas o Lean Project Deliver System (LPDS).  
(Fuente: Adaptado de Ballard, 2007)

En resumen, este modelo promueve un alto grado de colaboración entre los involucrados y retroalimentación (mejora continua), enfocándose a un objetivo principal, satisfacción del propietario/cliente. Las características esenciales de LPDS incluyen:

- El proyecto es estructurado y gestionado como un proceso que genera valor.
- Agentes implicados fases subsecuentes participan en la planificación y el diseño a través de equipos multidisciplinarios.
- El control del proyecto debe ser una herramienta de ejecución durante todo el ciclo de vida del proyecto en lugar de la identificación los hechos.
- Los esfuerzos de optimización de se centran en hacer que el flujo de trabajo confiable en lugar de mejorar la productividad.
- Técnicas *Pull* (jalar) se utilizan para regular el flujo de materiales e información a través de redes de especialistas cooperativos.
- La capacidad e inventario de Buffers (mecanismos para amortiguar la intensidad de un problema) son utilizados para absorber la variabilidad.
- Ciclos de mejora continua son incorporados en cada fase, que apuntan a un rápido ajuste del sistema; es decir, el aprendizaje continuo.

Como se representa el LPDS en la Figura N°19, cada fase del proyecto se superpone con las fases adyacentes que indica la necesidad de incorporar los intereses de las fases posteriores. Esta es la principal separación del LPDS de los sistemas de entrega de proyectos tradicionales, donde los detalles de la construcción están pensados sólo después de que el proyecto ha sido licitado. Las diferentes fases de LPDS proporcionan diferentes áreas de mejora dentro de un sistema de entrega del proyecto. Aunque todas las fases son cruciales para el éxito de un proyecto Lean, el corazón de las LPDS se encuentra en la Estructuración de Trabajo y Control de Producción.

#### **2.2.6.8. Sistema Último Planificador (Last Planner System LPS)**

El Sistema Ultimo Planificado (Last Planner System, LPS) apunta a crear un flujo continuo en la construcción basado en la confiabilidad y el compromiso; confiabilidad en términos de planificar actividades que pueden realizarse, y compromiso en términos de hacer acuerdos personales, que la gente puede comprometerse a realizarlos. Los fundamentos de LPS están abarcando la dinámica de proyectos los cuales incluyen una gran cantidad de cambios y al mismo tiempo ser confiables y construir la instalación de un proyecto dentro de tiempo determinado.

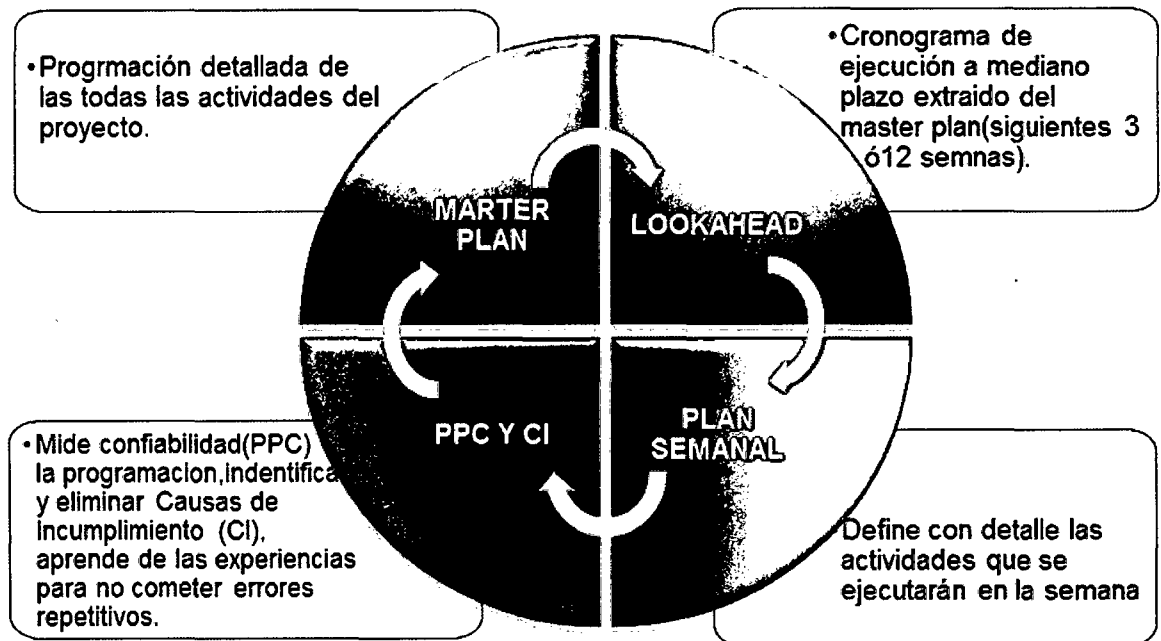
El LPS afirma que la planificación detallada muy lejos en el futuro no es confiable porque en una construcción compleja hay muchos factores desconocidos que incrementan la incertidumbre; *“Todos los planes y predicciones son errados. La más predicción lejana, es la más errada. La predicción más detallada, es la más errada”* (Ballard et al. 2007). En la construcción se pueden considerar 7 tipos de información las cuales son requeridas para asegurar que ciertas tareas pueden ser realizadas, estas son: información, materiales, mano de obra, equipos, espacio, condiciones climáticas y pre-actividades (Koskela 1999). Cuando estos aspectos son conocidos, entonces puede realizarse un acuerdo personal entre quienes deben realizar el trabajo, con este tipo de planteamiento, sólo los aspectos que pueden ser realizados serán planificados. Además el personal, quien realizarán el trabajo está personalmente comprometido con el trabajo. Para hacer que este sistema aparentemente no estructurado funcione, un cierto sistema integrado tiene que ser aplicado. Este sistema integrado consiste en 5

pasos de planificación: (i) Master Plan (iii) Lookahead (iv) Plan Semanal (PS) (v) Porcentaje de Plan Cumplido (PPC) y (v) Causas de Incumplimiento (CI) para aprender de las buenas y malas prácticas durante esta rutina de programación.

Este sistema se fundamenta en:

- Planificar con mayor detalle a medida que se aproxime las actividades.
  - Realizar compromisos con quienes realizarán el trabajo.
  - Hacer compromisos de cumplimiento confiables.
  - Aprender de las buenas y malas prácticas.
- a. Master Plan (Plan Maestro):** Es una visión a largo plazo desarrollado de forma similar a un proyecto convencional. La diferencia es que el Master Plan en un ambiente LPS sólo se compone de los principales hitos y no de un plan fijo.
- b. Lookahead (Programación por Fases):** Es un cronograma de ejecución a mediano plazo, que cubre el horizonte de tiempo más conveniente para el proyecto, debe cumplir las siguientes características:
- Debe partir del cronograma actualizado (master plan).
  - Debe ser elaborado con la anticipación del ejecutor o constructor.
  - Debe tener un horizonte de tiempo apropiado para el proyecto (las siguientes 3-12 semanas) determinado según la accesibilidad, complejidad, etc.
  - Debe actualizarse semanalmente.
- c. Plan Semanal (PS):** Permite definir detalladamente las tareas que se ejecutarán en la semana, debe cumplir las siguientes características.
- Debe contener las actividades o tareas que estén listas para ser ejecutadas, es decir libres de restricciones.
  - La descripción de las tareas debe ser específica y cuantificables.
  - El cumplimiento de las tareas deberá ser medido.
- d. Porcentaje de Plan Cumplido (PPC):** Mide la confiabilidad del sistema del plan semanal, y por consiguiente del Lookahead. Se obtiene dividiendo el número de tareas o actividades programadas completadas entre el número de tareas programadas totales y se expresa en porcentaje.
- e. Causas de Incumplimiento (CI):** Identificar y eliminar las causas que no permiten obtener el 100% del cumplimiento del plan semanal. EL objetivo es

aprender sistemáticamente de las experiencias que se estén obteniendo en el proyecto, con el fin de no cometer errores repetitivos.

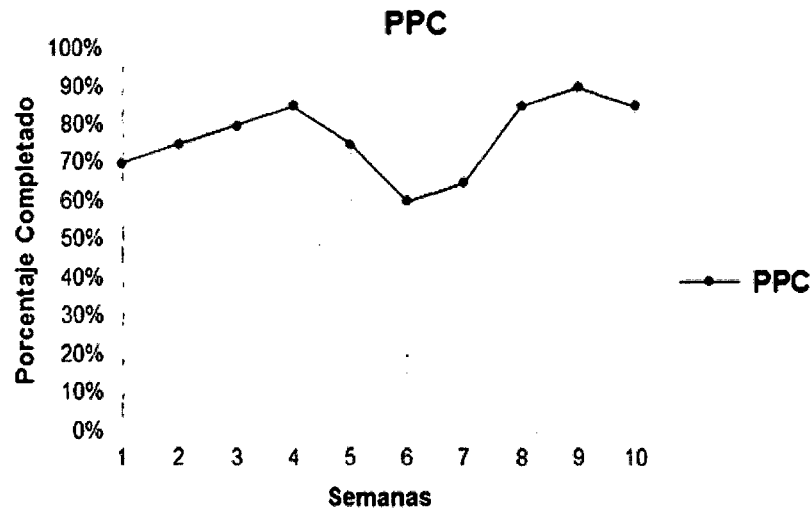


**Figura N° 20:** Representación de los 4 pasos en el Sistema Último Planificador (Last Planner System, LPS). (Fuente: Adaptado Ballard 2000)

En la Figura N°20, el plan maestro es dividido en fases de programación, llamadas Programación de Fase o Lookahead que es un proceso donde las diferentes tareas que están a punto de realizarse de acuerdo con el master plan están siendo examinadas para una alta confiabilidad de que serán realizadas dentro de las próximas 3 a 12 semanas, lo que significa que deben estar sin limitaciones que impidan el inicio de la tarea. Cuando una tarea se transfiere al Lookahead ésta lista para ser incluida dentro del plan semanal cuando todos los siete elementos de requisitos previos mencionados anteriormente pueden ser confirmados, es decir deben estar libres de restricciones que impidan su ejecución. Esto por lo general se evalúa una semana antes, y en el caso que la información necesaria, condiciones climáticas, equipos de accesibilidad etc., sean inciertos, entonces se necesitará más que una semana de antelación (Ballard 2000).

Para medir la efectividad del sistema de producción para realizar las asignaciones (compromisos), el número de tareas terminadas se expresa como una relación entre el número total de asignaciones cometidos en el PPC (porcentaje del plan cumplido). El PPC puede tomar valores desde 0 hasta 100% en el mejor de los

casos. Un alto porcentaje de PPC refleja una buena planificación de procesos de producción con un alto confiabilidad del flujo de trabajo entre las unidades de producción. Un bajo porcentaje de PPC menor al 100% refleja falencias en la planificación de los procesos de producción. Entender la razón de estas falencias permitirá mejoras futuras de los procesos planeados formados por la selección de tareas atrasadas.



**Figura N° 21:** Histograma de un PPC  
(Fuente: Adaptado de Ballard 2000)

El concepto de flujo, el compromiso, la responsabilidad y la fiabilidad son factores claves en el sistema LPS y son muy importantes para tener las cosas tal y como lo previsto (Ballard 2000).

#### 2.2.6.9. Beneficios Lean

La entrega confiable del trabajo entre especialistas en el diseño, suministro e instalación aseguran valor al cliente y los desperdicios se reducen. Diseño y Construcción Lean es especialmente útil en proyectos complejos, inciertos y rápidos. Desafía a la creencia de que siempre debe haber un equilibrio entre el tiempo, costo, y calidad (LCI 2014).

Entre los principales beneficios citados por investigadores y compañías que han aplicado Lean se tiene:

- La infraestructura de un proyecto y los procesos de entrega están diseñados integralmente para una mejor visión y soporte de los propósitos del cliente.



- El trabajo está estructurado en todo el proceso para maximizar el valor y reducir los desperdicios a nivel de ejecución de los proyectos.
- Los esfuerzos para controlar y mejorar el rendimiento están dirigidos a mejorar el rendimiento total del proyecto, ya que esto es más importante que la reducción de los costos o el aumento de la velocidad de alguna actividad en particular.
- "Control" se redefine de "resultados de monitoreo" para "hacer que las cosas sucedan." El rendimiento de los sistemas de planificación y control se miden y se mejoran.
- Mejorar la planificación de la comunicación con el cliente, mano de obra, los contratistas y los proveedores con la visualización y la pantalla abierta de programación, diseño, y flujo de trabajo.
- Eliminar el desperdicio de materiales, la falta de comunicación, la duplicación de esfuerzos, y los errores de diseño.
- Mejorar la planificación de trabajo de la planificación temprana, con un enfoque en la mejora del flujo de trabajo, tareas realizables, distribución de la carga de trabajo, y un ámbito de trabajo claramente definido.
- Programación Lookahead con entregas justo a tiempo, el compromiso de todas las partes, la disponibilidad de recursos, el acceso al sitio, y la coordinación de otras dependencias.
- Planificar y coordinar fuera de las instalaciones de fabricación y las actividades de construcción, modular para reducir la congestión sitio, distribuir la carga de trabajo, reducir al mínimo la fuerza de trabajo de campo, y mejorar la entrega justo a tiempo.
- Crear un ambiente de trabajo limpio, seguro y eficiente, y comunicar la seguridad.

### **2.2.7. Diseño y Construcción Sostenible (GREEN Design and Construction)**

El criterio de "*Diseño y Construcción Sostenible*" o simplemente "*Green*", ha ido ganando popularidad en todo el mundo durante última década, mayormente en aplicado a edificaciones. El diseño y construcción sostenible adquiere la calificación llamada "LEED" (Leadership in Energy & Environmental Design), que traducido al español sería, Liderazgo en Diseño de Energía y Medio Ambiente. Los beneficios del sistema de calificación LEED son proporcionar un enfoque

estructurado para el diseño y la construcción de proyectos sostenibles. En esta investigación describe esta tendencia además proporciona definiciones y terminología comunes para impulsar los criterios de sostenibilidad como una cultura responsable en la industria de la construcción.

Los conceptos de diseño y construcción Green, y a mayor escala, “la sostenibilidad”, son ideas que escuchamos todo el tiempo. Estos dos conceptos, sin embargo, rara vez son adecuadamente comprendidos. *“La sostenibilidad es un concepto sistémico, en relación con la continuidad de los aspectos económicos, sociales, institucionales y medioambientales de la sociedad humana, así como el medio ambiente no humano. Se pretende que sea un medio para configurar la civilización y de la actividad humana, para que la sociedad, sus miembros y sus economías sean capaces de satisfacer sus necesidades y expresar su máximo potencial en el presente, mientras que la preservación de la biodiversidad y los ecosistemas naturales, la planificación y las medidas de capacidad de mantener estos ideales para un tiempo muy largo. La sostenibilidad afecta a todos los niveles de organización, desde el vecindario local a todo el planeta”* (EPA 2014).

En resumen, el concepto de sostenibilidad se refiere a pensar de manera holística acerca de cómo todo lo que hacemos afecta a todo lo que nos rodea. Es un intento de minimizar el impacto de cada persona en el mundo.

#### **2.2.7.1. Definición Green**

La Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA) define al Diseño y Construcción Sostenible o Green *como la práctica para crear estructuras y usar procesos que sean ambientalmente responsables y recursos eficientes a lo largo del ciclo de vida de un proyecto desde la concepción, extendido al diseño detallado, construcción, operación, mantenimiento, renovación y demolición. Esta práctica extiende y complementa las preocupaciones clásicas de diseño tales como economía, utilidad, durabilidad y confort, Green es también conocer un funcionamiento eficiente y/o sostenible de una instalación* (EPA 2014 y USGBC 2014).

Martínez *et al* (2009), indica que existen tres pilares fundamentales sobre los cuales se apoya el Diseño y Construcción Sostenible de la Industria de la Construcción estos son: *el reciclaje y conservación de los materiales y recursos; el mejoramiento de la durabilidad de las estructuras; y el uso y aprovechamiento de los sub-productos de la misma u otras industrias (residuos).*

Green está diseñado para reducir el impacto total del entorno construido en la salud de los seres humanos y medio ambiente mediante:

- Uso eficiente de energía, agua y otros recursos.
- Protección de la salud de los ocupantes y mejorar la productividad de los mismos.
- Reducir los residuos, contaminación y degradación del medio ambiente.

Por ejemplo, Green puede incorporar materiales sostenibles en las construcciones (reutilización, reciclaje, fabricación con recursos renovables) crear ambientes interiores saludables con mínimas productos o emisiones contaminantes (reducir las emisiones de algunos productos) y/o características paisajísticas que reduzcan el uso de agua (mediante el uso de plantas nativas que sobrevivan sin riego extra).

#### **2.2.7.2. Historia Green**

Las prácticas, tales como el uso materiales locales y renovables se remontan a miles de años atrás, cuando los hombres han utilizado materiales locales renovables y procedimientos constructivos que no dañen el medio ambiente. Los aumentos de los precios del petróleo en la década de 1970 estimulo la investigación y la actividad significativa para mejorar la eficiencia de energética y encontrar fuentes renovables de energía. Esto combinado con el movimiento ecologista de los años 1960 y 1970 llevó a la aplicación de los primeros métodos y sistemas sostenibles en la construcción contemporánea.

El campo del Diseño y Construcción Sostenible empezó a concretizarse formalmente en la década de 1990 uno pocos años incluyen hechos tales como:

**Tabla N° 15:** Revisión histórica del desarrollo del Diseño y Construcción Sostenible

AÑO	HECHOS IMPORTANTES
1970	Se establece la Agencia de Protección del Medio Ambiente (Environmental Protection Agency EPA) para la investigación, monitoreo, estandarizar y aplicar las practica de actividades para asegurar la protección del medio ambiente, en los US.
1989	El Instituto Americano de Arquitectos (American Institute of Architects, AIA) forma el Comité del Medio Ambiente.
1992	El AIA publica la Guía de Recursos Ambientales (Environmental Resource Guide)
1993	Se funda en los US el Consejo de la Construcción Sostenible (United States Green Building Council, USGBC)
1998	El USGBC lanza su programa piloto de certificación Liderazgo en Diseño de Energía y Medio Ambiente (Lidership in Energy & Environmental Design, LEED)

Fuente: (USGBC 2003 y EPA 2014)

### **2.2.7.3. Impacto del entorno construido en el medio ambiente**

La EPA (2014), muestra según un estudio que en los Estados Unidos la construcción tiene un gran impacto en el medio ambiente:

- 36% del uso del total de la energía.
- 12% del consumo total de agua.
- 65% del consumo de total de electricidad.
- 30% de las emisiones totales del dióxido de carbono.
- 30% del uso materias primas.
- 30% de desperdicios (136 millones de toneladas por año).

El entorno construido tiene un gran impacto en el medio ambiente, la salud de las personas, y la economía (EPA 2014). Por una adopción los criterios del diseño y construcción Green, esta investigación plantea maximizar las condiciones económicas y medioambientales, dejando de lado el paradigma que la sostenibilidad implica mayores inversiones de capital baja calidad estética. Los métodos de diseño y construcción Green pueden ser integrados dentro de las construcciones en todas las fases del proyecto, pero deben ser planteadas desde la concepción y diseño, lo cual implica el compromiso temprano de los principales involucrados cliente, proyectistas/constructores y constructores.

El propósito de lo anterior es la minimización del uso de recursos, de modo de evitar o prevenir el agotamiento de los recursos naturales, prevenir la degradación ambiental, y proporcionar un ambiente saludable, tanto en el interior como en el entorno de las construcciones. Estos últimos pueden ser considerados como los

criterios más importantes sobre los que se debe sustentar una industria de la construcción sustentable, sin dejar de lado los aspectos económicos y sociales.

Tabla N° 16: Impactos del entorno construido en el medio ambiente

IMPACTOS DE LA CONSTRUCCIÓN			
Fases de un proyecto	Consumo	Efectos ambientales	Efectos finales
•Concepción	•Energía	•Desperdicio	•Daño a la salud de las personas
•Diseño	•Agua	•Contaminación del aire	•Degradación del medio ambiente
•Construcción	•Materiales	•Contaminación del agua	•Perdidas de los recursos
•Operación y Mantenimiento	•Recursos Naturales	•Contaminación interior	
•Renovación		•Islas urbanas calientes	
•Demolición		•La escorrentía de aguas pluviales	
		•Ruido	

Fuente: EPA 2014

#### 2.2.7.4. Rompiendo el mito que un diseño sostenible siempre es más costoso

Mientras muchos materiales y tecnologías sostenibles cuestan más, ha sido demostrado que muchas estrategias y tecnologías sostenibles de hecho cuestan lo mismo o incluso menos que los materiales o tecnologías tradicionales no sostenibles (EPA 2014 y USGBC 2014). Por lo tanto es posible realizar tener proyectos verdaderamente sostenibles que cuestan lo mismo que un proyecto convencional. Frecuentemente la clave para un diseño y construcción sostenible radica dentro de las interrelaciones y costo asociado y el desempeño de las ventajas y desventajas que existe entre los diferentes sistemas de construcción.

#### 2.2.7.5. Decisión, obstáculos y objetivos del diseño y construcción Green

Es crítico hacer decisiones para un diseño y construcción Green o sostenible en etapas tempranas en los procesos de diseño con el fin de maximizar el potencial Green, minimizar el rediseño, y asegurar un completo éxito, y la viabilidad económica de los elementos Green de un proyecto de construcción. Hacer un compromiso para realizar el diseño y construcción Green y establecer los objetivos sostenibles debe ser realizado tan temprano como sea posible porque las oportunidades de incorporación de tecnologías y soluciones de diseño Green se convierten menos disponibles y elevadamente costosas de implementar conforme los procesos de diseño y construcción se desarrollan. Idealmente, la decisión para el diseño y construcción Green debería ser hecho antes que el lugar sea seleccionado, como muchos de los criterios son afectados por las

características del lugar y algunos lugares son inapropiados para ciertos proyectos Green.

Una vez hecha la decisión, uno de los primeros pasos en el diseño Green, es establecer los objetivos Green o sostenibles para el proyecto. Esto es frecuentemente realizado durante una reunión en una “*Sala de Reuniones*” colaborativa e interdisciplinaria o “*Big Room*”. Durante esta sesión es importante hacer objetivos medibles para aspectos como eficiencia energética, conservación del agua, tratamiento de agua de lluvia, manejo de materiales y recursos, manejo de los desperdicios de producción, y la asignación de las responsabilidades para conocer los objetivos de los miembros del equipo de diseño. Cada objetivo necesita un responsable quien va a ver qué objetivos hasta el final. Si la construcción va a ser construida acorde con la certificación LEED, será de gran ayuda revisar los requerimientos LEED como parte de los objetivos del proyecto.

#### **2.2.7.6. Criterios Green**

Persiguiendo el objetivo de definir un marco de análisis para la construcción sustentable, se puede establecer que los modelos internacionales de evaluación tendientes a determinar el desempeño ambiental de las estructuras de construcción (hasta ahora aplicados o diseñados principalmente en el área de edificaciones), consideran como base los siguientes criterios de evaluación: entorno, energía, calidad del ambiente interior, materiales y recursos, y eficiencia del agua. La Tabla N°17, define una estructura en base a criterios, principios y funciones del aspecto Green, durante el ciclo de vida del proyecto. Esta investigación soporta el uso de LEED centrándose en estrategias más que en soluciones o tecnologías, las cuales frecuentemente varían según las especificaciones de lugar y proyecto.

Tabla N° 17: Criterios y principios Green, durante el ciclo vida de un proyecto de construcción.

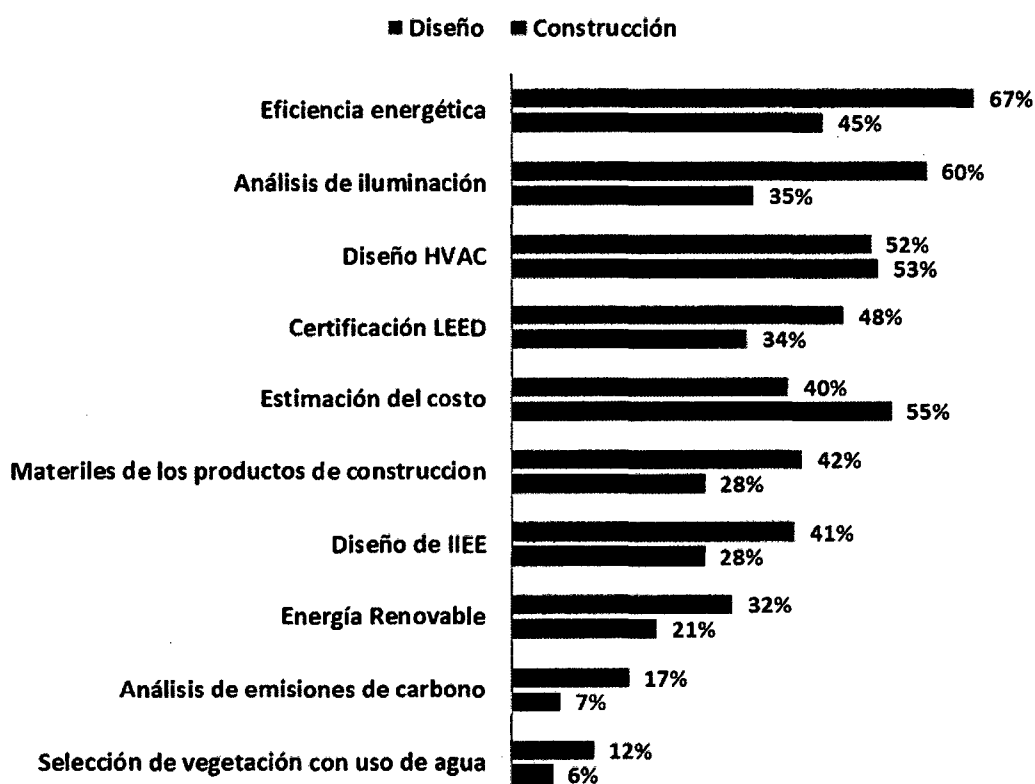
	CRITERIOS	PRINCIPIOS Y FUNCIONES
<b>CICLO DE VIDA DEL PROYECTO</b>	<b>Diseño de un entorno sostenible</b>	Minimizar la expansión urbana y la innecesaria destrucción paisajes, hábitats y espacios verdes (con un desarrollo urbano de alta densidad) Diseño con materiales y sistemas de energía que perduren en el tiempo Uso de modulación, prefabricación, pre ensamblaje, etc. Preservar recursos ambientales claves, examinando a detalle el entorno Conducir los procesos de diseño y construcción a minimizar la alteración del entorno, hábitats, y espacios verdes. Preservar, restaurar y regenerar hábitats valuales, espacios verdes y ecosistemas asociados de vital importancia para una vida saludable.
	<b>Eficiencia Energética y Energía Renovable</b>	Maximizar el uso de fuentes energéticas renovables y otras fuentes energéticas de bajo impacto. Reducir el calentamiento de las islas urbanas mediante la remodelación de los patrones de crecimiento poblacional.
	<b>Eficiencia en el consumo de agua</b>	Preservar las fuentes naturales de agua y diseñar entornos y construcciones tales que imiten sistemas naturales hidrológicos pre-desarrollados. Retención o cosecha del agua de lluvia e infiltraciones y aguas subterráneas usando métodos que emiten a los sistemas naturales. Minimizar el uso de agua potable innecesario y maximizar la reciclación y el reuso de agua, incluyendo cosecha de agua de lluvia y aguas grises
	<b>Materiales, recursos y especificaciones ecológicamente preferibles</b>	Minimizar el uso de los materiales no renovables y otros recursos tales como energía y agua a través de ingeniería, diseño, planificación y construcción y reciclaje de los escombros o residuos de construcción. Maximizar el uso de materiales de contenido reciclable, materiales eficientes modernos creados por la ingeniería, y sistemas estructurales compuestos de recursos eficientes. Maximizar el uso de materiales reusables, renovables y de manejo sostenible, así como procesos de diseño y construcción sostenible Recordar la creatividad del ser humano y la abundante fuerza de labor es quizá el máspreciado recurso renovable.
	<b>Reducción de residuos</b>	Evitar desechos sólidos y líquidos Reducir, reusar y reciclar los residuos generados en la construcción, renovación o demolición.
	<b>Reducción de emisiones toxicas</b>	Evitar productos y materiales emisiones toxicas o usar aquellos que son de bajas de emisiones toxicas Proporcionar herramientas de evaluación química y los conocimientos para educar acerca de la sustitución de productos altamente tóxicos.
	<b>Calidad ambiental interior</b>	Proveer un ambiente interior saludable, confortable y productivo para los ocupantes y visitantes de la instalación. Proveer un diseño, con las máximas condiciones posibles en términos de la calidad del aire interior, ventilación, confort térmico, acceso de ventilación natural y luz diurna, y control efectivo de los ruidos.
	<b>Crecimiento inteligente y desarrollo sostenible</b>	Educar en las prácticas eficientemente sostenibles, responsables con el medio ambiente. Minimizar los impactos adversos en el medioambiente (aire, agua, suelo y recursos naturales) a través del emplazamiento óptimo, diseño óptimo, selección de materiales, y un uso agresivo de medidas de conservación. Plantear soluciones ecológicas como plantación a gran escala diseñadas para ayudar a preservar los recursos y ecosistemas naturales.

Fuente: USGBC 2003 y 2014 y EPA 2014.

### 2.2.7.7. BIM para el diseño y construcción Green

BIM ayuda al Diseño y análisis de complicados sistemas que impactan el uso de energía son las más comunes actividades de Green. Las tres actividades principales, eficiencia energética, análisis de iluminación y diseño HVAC, todos tienen un cierto impacto en el funcionamiento de una construcción en términos de emisiones de carbono, uso energía, y ahorros en el costo. El diseño HVAC también tiene impactos dentro de la construcción dado a la calidad de aire es otra consideración clave del enfoque sostenible que gracias a las herramientas actuales se puede realizar estos análisis en etapas tempranas del ciclo de vida.

En la fase de diseño de los proyectos se acepta que BIM ayuda realizar y mejorar todo el funcionamiento de la construcción desde la etapa temprana del diseño: (i) Eficiencia energética (67%), análisis de iluminación (60%), diseño HVAC (52%). En la fase de construcción la estimación de costo es la herramienta comúnmente usada para el porcentaje más alto para los constructores (65%) y muy cerca está el uso para el diseño de HVAC (53%) tal como lo muestra la Figura N°22. (McGraw\_Hill Construction 2010).



**Figura N° 22:** Principales actividades Green en el diseño/construcción con BIM para los usuarios Green- BIM.  
(Fuente: McGraw\_Hill Construction 2010)



La metodología BIM ayuda a realizar los procesos de la fase construcción más sostenibles. Se podría diseñar una construcción sostenible sin BIM. Lo que se puede hacer es diseñar y construir en una forma verdaderamente sostenible que va sobre y más allá del modelo tradicional.

#### **2.2.7.8. Beneficios del diseño y construcción Green**

Hay un gran número de razones para un diseño y construcción sustentable, incluyendo posibles beneficios ambientales, económicos y sociales. Por ejemplo la EPA incluye potenciales beneficios de Green:

##### **a. Beneficios medioambientales**

- Mejora y protege la biodiversidad y los ecosistemas.
- Mejora las condiciones y calidad del aire y agua.
- Reduce los flujos de residuos o desperdicios.
- Conserva y restaura los recursos naturales.

##### **b. Beneficios económicos**

- Reduce los costos de operación.
- Crea, extiende y forma mercados de productos y servicios Green.
- Mejora la productividad de los ocupantes.
- Optimiza el desempeño económico de ciclo de vida.

##### **c. Beneficios sociales**

- Mejora el confort y la salud de los ocupantes.
- Eleva la calidad estética.
- Minimiza la tensión de la infraestructura local.
- Mejora la calidad de vida en general.

#### **2.2.7.9. Necesidad de procesos integrados de diseño**

La construcción Green o sostenible no es sólo una cuestión de ensamblaje de la colección de las últimas tecnologías y materiales sostenibles. Más bien este es un proceso en el cual cada elemento del diseño esta primeramente optimizado y luego el impacto y la interrelación de varios elementos y sistemas diferentes dentro de la construcción y el lugar son reevaluados, integrados, y optimizados como parte de una solución general de la construcción. Por lo tanto, los aspectos claves de la sostenibilidad en la industria de la construcción necesitan desarrollar proyectos de una manera integral, esto obliga a los propietarios, diseñadores y

constructores para colaborar en proyectos sostenibles desde etapas tempranas del proyecto.

El pensamiento actual en ingeniería refuerza esta idea en darse cuenta de que el pensamiento interdisciplinario y habilidades son elementos clave de la sostenibilidad. Tiene sentido que LEED es el más adecuado para equipos de proyectos totalmente integrados. Los miembros del equipo, tanto a los diseñadores y constructores, deben colaborar en todo el proceso. Los procesos integrados de diseño permiten a los arquitectos una gran visión sostenible para las construcciones no solo de componentes individuales sino de todo el proyecto. Los proyectos Green se construyen mejor cuando el propietario es completamente comprometido a alcanzar un nivel de certificación deseada o los criterios sostenibles aceptados para su producto. Esto permite que los proyectos se mejoren la planificación y diseñen de una forma más colaborativa y eficiente.

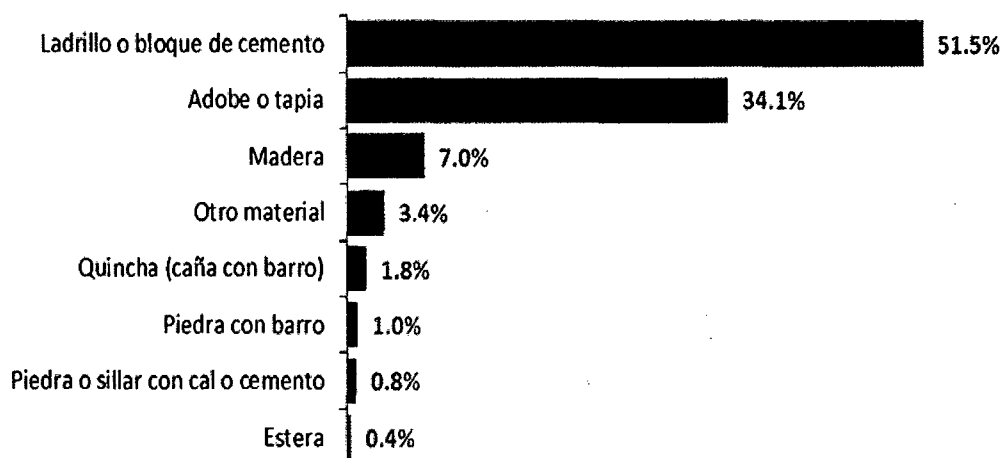
Para lograr la implementación Green, el equipo completo de diseño y construcción o desde los clientes a los proyectistas o desde los proyectistas a los constructores deben compartir el mismo objetivo (sostenibilidad) (McGraw\_Hill Construction 2010, USGBC 2003 y 2014 y EPA 2014.).

#### **2.2.7.10. Construcción sostenible en el mundo, Sudamérica y el Perú**

En el Perú, la sustentabilidad en el área de análisis se ha mantenido como un aspecto únicamente conceptual que no se ha llevado a la práctica. El criterio sostenible poco a poco se está adoptando en todo el mundo, por lo tanto debe ser un aspecto considerado en la gestión de proyectos. El criterio de sostenibilidad se ha empezado a tomar en cuenta en el país desde la década pasada teniéndose algunas construcciones mayormente edificaciones que cuentan con certificaciones LEED, pero aún el concepto no está muy bien difundido ni soportado por argumentos legales.

El panorama actual de los proyectos de construcción en el país especialmente el sector de viviendas, muestra una amplia utilización de materiales no sostenibles. El INEI muestra por ejemplo los materiales predominantes usados en la construcción de viviendas en el país, acorde con el reporte del INEI al año 2012,

son principalmente ladrillo o bloque de cemento y adobe o tapia con 51.5% y 34.1% respectivamente.

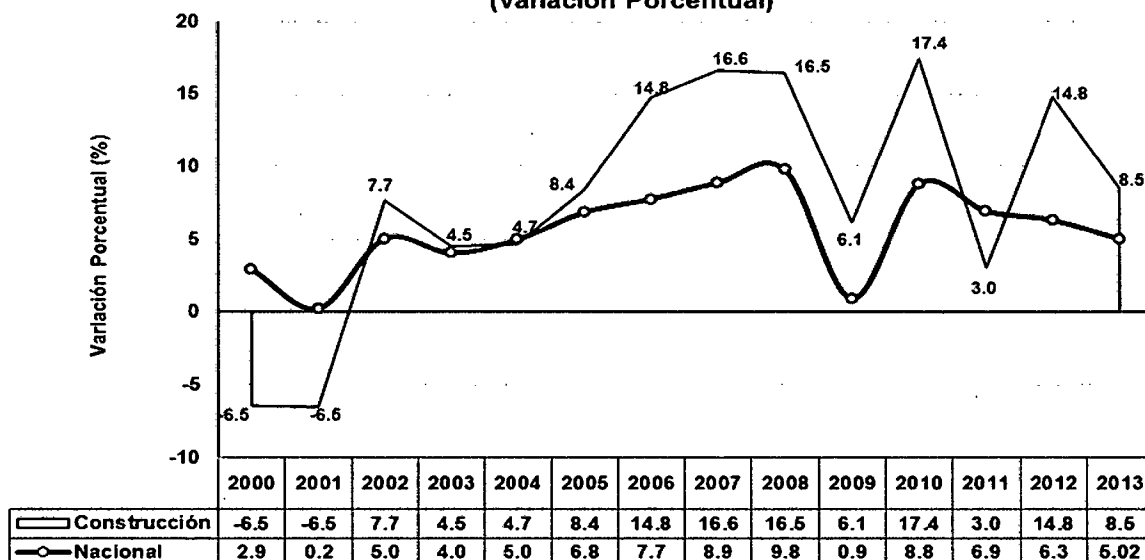


**Figura N° 23:** Viviendas, según tipo de material de la pared a nivel del país, 2012  
(Fuente: Encuesta Nacional de Hogares-ENAH0 e Instituto Nacional de Estadística e Informática INEI-Perú 2012)

### 2.2.8. Modelo tradicional de diseño

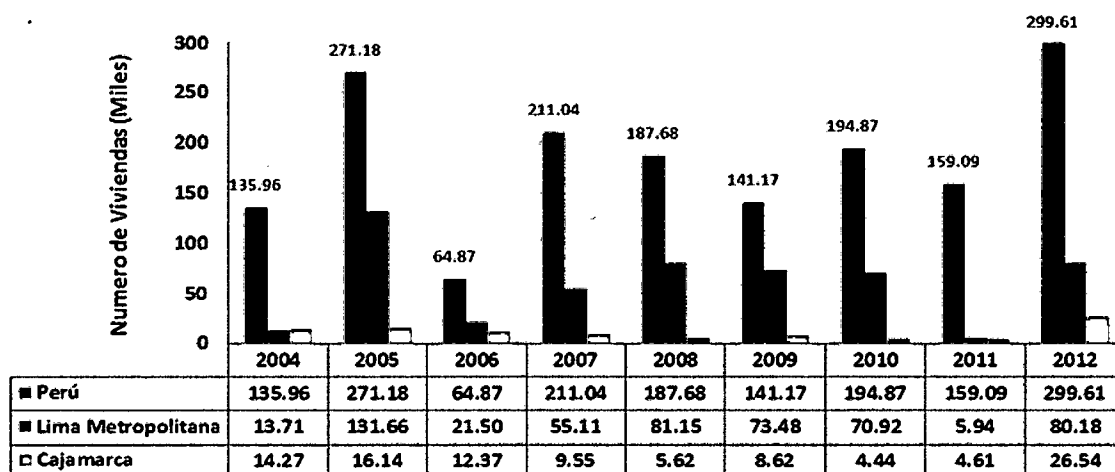
La industria de la construcción es un sector clave para la estabilidad económica del país debido a que afecta el aumento o descenso de la variación porcentual del Producto Bruto Interno (PBI) nacional, cuyo crecimiento no está siendo estable tal como ocurrió durante el periodo 2005-2008, alcanzando su menor tasa de expansión (3.0% para el año 2011) durante los últimos cuatro años, esto debido a la incertidumbre de inversión en el sector público y privado; la variaciones porcentuales para los años 2012 y 2013 fueron de 4.8% y 8.5% respectivamente lo cual representó un aumento debido al crecimiento impulsado por el consumo interno de cemento en obras de infraestructura de las inversiones en obras públicas y privadas. Por lo tanto todo esfuerzo que promueva el uso de nuevas metodologías y técnicas de gestión al desarrollo de los proyectos de construcción se verá reflejado directamente en el bienestar de la sociedad y el desarrollo del país.

**Producto bruto interno del sector construcción: 2000 - 2013  
(Variación Porcentual)**



**Figura N° 24:** Evolución del Producto Bruto Interno PBI del sector construcción: 2000-2013  
(Fuente: INEI 2014)

Por ejemplo, para tener una visión más amplia del impacto del sector construcción en el país, tomaremos el número de viviendas construidas por año dado por el INEI (2014), que reportó para el año 2012, casi 300 mil viviendas construidas en todo el país, siendo el Lima Metropolitana la que lidera este crecimiento debido a la centralización en esta parte del país. Cajamarca como departamento reportó para este mismo año 2012 la mayor cantidad de viviendas construidas en comparación con los años anteriores con más de 26 mil viviendas construidas (Figura N°25). Lo cual hace reflexionar sobre la gran tarea que tienen los diseñadores y constructores, quienes deben plantear nuevos enfoques en la entrega de proyectos basados los aspectos de eficiencia, eficacia, economía, seguridad, calidad y sostenibilidad.



**Figura N° 25:** Número de viviendas construidas por año, en el Perú y Cajamarca: 2004-2012  
(Fuente: Encuesta Nacional de Hogares-ENAH0 e INEI-Perú 2012)

El sector construcción en los últimos años viene siendo uno de los sectores líderes en cuanto a inversión se refiere, dado que hay un continuidad en la inversión de capitales nacionales y extranjeros, haciendo de este sector uno de los pilares para la estabilidad económica del país, sin embargo este crecimiento no significa que haya alcanzado un nivel suficientemente alto en los sistemas, metodologías y procesos de diseño, construcción y operación.

#### **2.2.8.1. Gestión tradicional de los proyectos de construcción**

Los métodos y herramientas desarrolladas para la GPC son abundantes, sin embargo la capacidad y eficiencia de los modelos conceptuales de Gestión de la Construcción (disyuntiva tiempo-costo-calidad, estructura de descomposición del trabajo, los métodos de la ruta crítica y del valor ganado, etc.) es limitada a una área de gestión específica y no a un enfoque integrado del proyecto (Koskela 1992 y 2000) para la entrega de un proyecto dentro del tiempo y presupuesto adecuado, y con la calidad deseada. Por ejemplo, se repiten las experiencias negativas de los proyectos, que se manifiesta por problemas endémicos de calidad, la falta de comunicación, colaboración y coordinación oportuna entre los involucrados del proyecto, y el aumento de las controversias indican que los proyectos de construcción son sistemas de baja eficiencia (Koskela 2000, Neyra 2006 y Alcantara 2013).

En un análisis de las falencias del cronograma de un proyecto por Ballard y Howell (2005), en los Estados Unidos, indica que *"normalmente sólo alrededor del 50% de las tareas en los planes de trabajo semanales son completados al final de la semana"* y que la mayoría de estas falencias en la planificación fueron posibles de mitigar a través de una *"gestión activa de la variabilidad, a partir de la estructuración del proyecto como un sistema de producción temporal y continuando a través de su funcionamiento y la mejora"*. Basado en esta afirmación el Perú está aún más lejos de esta triste realidad, ya que según Orihuela (2011), quien realizó una encuesta a directores y gerentes de proyectos en el Perú para ver cómo gestionaban sus proyectos, encontró que una minoría tenía una vaga idea de algún método efectivo para la gestión de su proyecto de construcción.

En el país se está acostumbrado a seguir los patrones de gestión inadecuados y obsoletos que hacen retroceder aún más la productividad en la construcción y por ende una mala gestión del uso de los recursos, y esta realidad va a seguir agravándose conforme los proyectos se convierten cada vez más inciertos, complejos y presionados por la entrega inmediata. Inversionistas nacionales y extranjeros quienes quieren invertir en el país, requieren productos que superen sus expectativas y para esto se debe replantear el modelo de la gestión de proyectos, considerando nuevos enfoques de gestión apoyados en las TICs, a través de la Educación de la Gestión de Proyectos basado en competencias (IPMA 2006 y 2011). Un modelo Holístico de la gestión de proyectos en el país para sacar a flote el modelo convencional (ver sección 3.2.2.10.) (Neyra 2006, Orihuela 2011, IMPA 2011 y Alcántara 2013).

#### **2.2.8.2. Generación de la información en los proyectos convencionales**

En el país, la industria de la construcción ha estado enfrentando un paradigma de cambio; (i) incrementar la productividad, eficiencia, valor de la infraestructura, calidad, y sostenibilidad; (ii) reducir el costo del ciclo de vida del proyecto, manejar tiempos y duplicaciones a través de una colaboración, comunicación y transparencia eficiente de los involucrados del proyecto. Los proyectos de construcción por su naturaleza son fragmentados, complicados, riesgosos e inciertos. El gran número de cambios realizados por los clientes y los proyectistas es uno de los motivos que generan problemas durante la etapa de construcción. Esto se debe principalmente a la poca participación del cliente durante la etapa de diseño. En muchas ocasiones recién durante la construcción el cliente identifica algunas características de la edificación que no le agradan o que afectan a su propósito, pues sus requerimientos al no ser conocidos por los diseñadores no fueron tomados en cuenta en el diseño. Los procesos tienen latencia exasperantemente en el sentido de que se necesita a menudo días o incluso meses para obtener información o decisiones (Neyra 2006, Orihuela 2011 y Alcántara 2013).

En la práctica tradicional los especialistas diseñan secuencialmente. La gran mayoría de proyectos de construcción son encomendados a arquitectos, estos después de conocer las necesidades del cliente realizan el diseño arquitectónico y

luego, en base a este, los demás proyectistas de manera independiente completan el proceso. Una de las principales deficiencias en los proyectos debido a esta mala práctica es la incompatibilidad entre los planos de las diferentes especialidades y entre los documentos contractuales en general. Estas incompatibilidades generan durante la etapa de construcción ampliaciones de plazo y presupuestos adicionales que encarecen al proyecto que son los problemas repetitivos proyecto tras proyecto hoy en día en el país y esta realidad no va a cambiar (peor aún en el sector público) a menos que este cambio empiece en la mente de cada involucrado en el proceso (Neyra 2006 y Alcántara 2013).

La coordinación y la comunicación en un proyecto convencional están causando malos entendimientos, errores y retrabajos. Debido a los procesos lineales cada vez la información está siendo entregada consecutivamente de un proyectista a otro; donde la información va a ser reinterpretada y regenerada una y otra vez por los diferentes especialistas o proyectistas (Figura N°26). En cada una de estas generaciones, los cambios o nuevas interpretaciones pueden pasar, en otras palabras, si el propietario tiene una idea de una instalación, luego la idea tiene que pasar a través de un mínimo de siete regeneraciones (Building smart 2010). La pregunta es luego, cuánto de la idea original va a hacerse de esta en la construcción. A través de esta perspectiva esto se convierte fácil de entender porque los errores pasan en la industria de la construcción.

### **2.2.8.3. Flujo de la información tradicional en los proyectos**

La gestión de la información en la construcción actual en el Perú se caracteriza por modelos como:

- el intercambio de información entre las partes en el proyecto se limita al papel, un medio en el que la recuperación es muy lenta e ineficiente;
- proyectistas/consultores y constructores mantienen sus propios datos estructurados para satisfacer sus necesidades particulares;
- la búsqueda de información y la transferencia entre las partes del proyecto y los clientes están en papel, proporcionando fuente constante de retrasos y errores;
- no existen interfaces eficaces en el sistema de entrega de proyectos para acceder a la información por vía electrónica, y

- el impacto de la inversión en las herramientas TIC hasta la fecha ha sido limitado.

Estas características pueden ser primer lugar debido a la falta general de la política de gestión coherente y segundo a una visión de conjunto de la gestión de información. Además, aunque la construcción es un ambiente de negocios claramente colaborativo, por razones históricas, culturales y jurídicas, no hay deseo de considerar seriamente el uso de herramientas informáticas colaborativas. En tercer lugar, aunque hay un grado de conocimiento de las técnicas y herramientas de evaluación y mejora de procesos de negocio, tales como el proceso de reingeniería de negocios, parece que hay menos confianza para la gestión de la adopción de tales herramientas en su afán para resolver los problemas de gestión de la información. Por último, la falta de progresos en la adopción de las herramientas TIC para mejorar ampliamente la comunicación y colaboración se relaciona con el hecho de que hasta ahora el sistema tradicional de entrega de proyectos ha sido la norma.

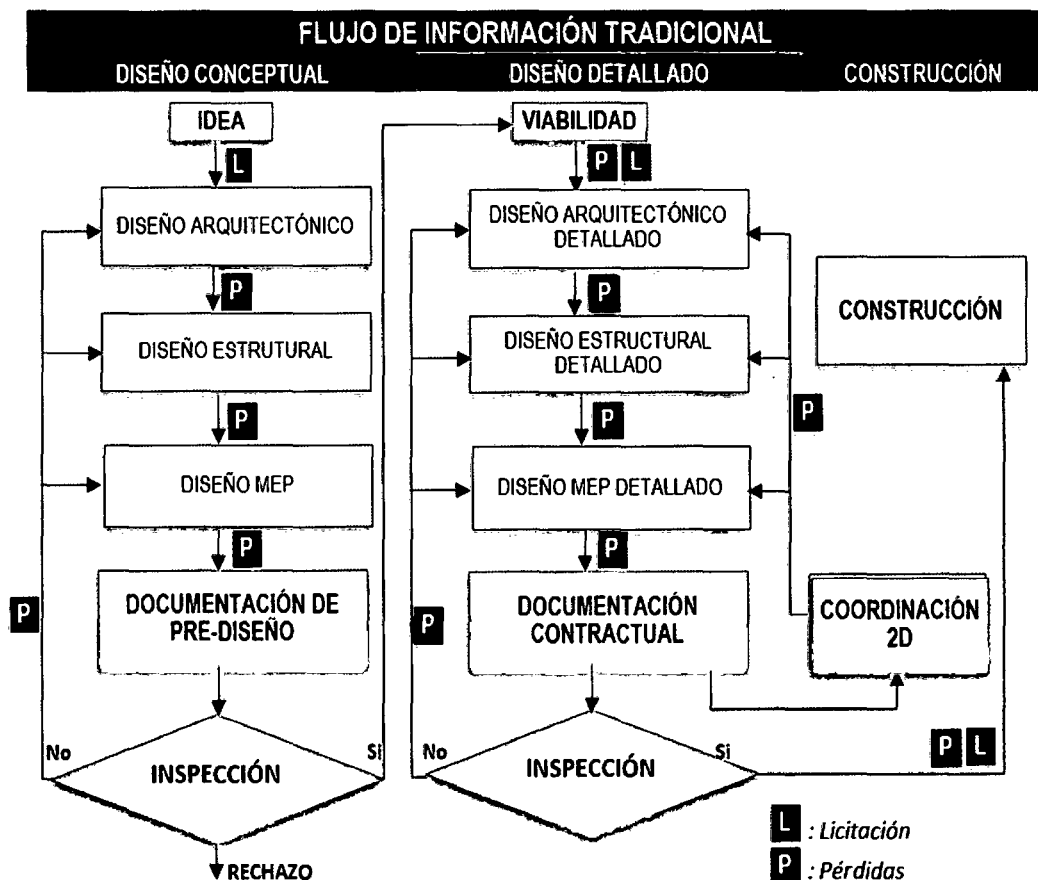


Figura N° 26: Flujo de información en un proyecto tradicional.  
(Fuente: Adaptado de Sacks 2014)



#### 2.2.8.4. Sistema tradicional de entrega de proyectos

En el país El Sistema de Entrega de Proyectos (Project Delivery System, PDS), que es el contrato entre inversionistas públicos o privados con los responsables de la elaboración del diseño y/o construcción de un proyecto son realizados generalmente según modalidades:

- (i) Modelo Diseño/Licitación/Construcción o Design-Bid-Build (DBB) – Común.
- (ii) Modelo Diseño/Construcción o Design-Build (DB) - Alternativo.

Estas modalidades de contratación son establecidas en el *Artículo 41° del D.S. N° 184-2008-EF (OSCE 2012): Modalidades de Ejecución Contractual del Reglamento de la Ley N° 29873 de Contrataciones del Estado, referente a bienes u obras públicas, las modalidades en que se realizará la ejecución del contrato son:*

- **Llave en mano:** Si el postor debe ofertar en conjunto la construcción, equipamiento y montaje hasta la puesta en servicio de determinada obra, y de ser el caso la elaboración del Expediente Técnico. En el caso de contratación de bienes el postor oferta, además de éstos, su instalación y puesta en funcionamiento.
- **Concurso oferta:** Si el postor debe ofertar la elaboración del Expediente Técnico, ejecución de la obra y, de ser el caso el terreno. Esta modalidad sólo podrá aplicarse en la ejecución de obras que se convoquen bajo el sistema a suma alzada y siempre que el valor referencial corresponda a una Licitación Pública. Para la ejecución de la obra es requisito previo la presentación y aprobación del Expediente Técnico por el íntegro de la obra.

Tabla N° 18: Sistemas de Entrega de Proyectos (PDS) tradicional en el sector público en el Perú

GRANDES FASES	DESCRIPCIÓN	FASES PIP ESTUDIOS	OBJETIVOS
<b>FASE 1</b>	<b>PRE-INVERSIÓN</b>		<b>LICITACIÓN</b>
		1.IDEA	Identificación de la necesidad (problema)
		2.PERFIL	Identificación del problema que ocasiona la necesidad, causas, objetivos, y alternativas de solución del problema.
			<b>LICITACIÓN</b>
		3.PREFACTIBILIDAD	De ser necesario, para acotar las Alternativas identificadas en el estudio de Perfil, sobre la base de un mayor detalle
			<b>LICITACIÓN</b>
		4.FACTIBILIDAD	Si se requiere, estudio de la mejor alternativa seleccionada.
<b>DECLARACION DE VIABILIDAD</b>			-Evaluación técnica, económica, financiera y de sostenibilidad. -Sostenible (cuenta con los recursos para cubrir su O&M) - Compatible con las políticas sectoriales.
<b>FASE 2</b>	<b>INVERSIÓN</b>		<b>LICITACIÓN</b>
		1.ESTUDIO DEFINITIVO Y EXPEDIENTE TÉCNICO DETALLADO	Define a detalle la alternativa seleccionada en la fase de Pre-inversión y viable. Estudios de ingeniería de detalle, EE.TT. y el presupuesto definitivo. Medidas de mitigación ambiental, programación, entre otros.
			<b>LICITACIÓN</b>
		2.EJECUCIÓN	Ejecución de la alternativa seleccionada, <i>"sin embargo, existen situaciones que podrían afectar los costos, los plazos y las metas"</i>
<b>ENTREGA DEL PROYECTO</b>			
<b>FASE 3</b>	<b>POST INVERSION</b>	1.OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	Es el periodo en el cual se obtienen los beneficios y se ejecutan los gastos por la operación del bien o servicio que el proyecto atiende.
		2.EVALUACIÓN EX-POST	Es el estudio por el cual se busca determinar la eficiencia, eficacia e impacto de las actividades desarrolladas para alcanzar los Objetivos del proyecto.

Fuente: Adaptado del SNIP 2011

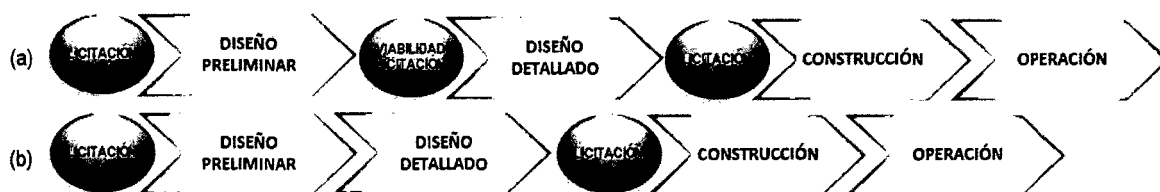
Los efectos inmediatos o a largo plazo de este modelo son evidentes:

- Fragmentación y segmentación de fases y procesos con excesivas licitaciones. No hay continuidad en el flujo de los procesos (Alcántara 2013).
- Fase de pre-inversión deficiente, dado que la información no es transparente, presenta ambigüedades, incompatibilidades, omisiones, errores, e interferencias en la información (Alcántara 2013).

- Teóricamente la incertidumbre y el riesgo son controlados mejor, pero la realidad es otra; juzgada por las deficiencias y controversias en la fase de construcción (Neyra 2006 y Alcántara 2013).
- No se puede aplicar métodos de gestión (Lean, PMI, etc.), metodologías (BIM) y criterios de sostenibilidad (Green) en el proceso, dado a que no hay comunicación, colaboración, y compromiso temprano (Neyra 2006 y Alcántara 2013).
- No hay motivación para la innovación, creatividad y no la mejora continua es secundaria (Evaluación Ex-Post sólo como planteamiento conceptual) (Neyra 2006 y Alcántara 2013).
- Intereses de propietarios, consultores, contratistas y subcontratistas no alineados (Neyra 2006 y Alcántara 2013).

#### 2.2.8.5. Modelo Diseño-Licitación-Construcción o Design-Bid-Build (DBB)

El sistema Diseño/Licitación/Construcción D/B/B, es el modelo tradicional de entrega de proyectos comúnmente adoptado en el Perú, especialmente en los proyectos de inversión pública. En el modelo D/B/B, cada fase representa una delimitada parte de los procesos de diseño, donde la comunicación y la información es compartida consecutivamente entre las diferentes fases (modelo lineal) (Figura N°27). El diseño se supone debe tener la necesaria cantidad de detalle para el proceso de licitación y empieza la fase de construcción, donde estos documentos contractuales son la base para este proceso.



**Figura N° 27:** Sistemas de Entrega de Proyectos-Modelo Diseño-Licitación-Construcción (DBB) en el sector público (a) y sector privado (b), adoptados en el Perú.

El proyecto según este modelo es fragmentado claramente por el proceso de licitación en dos fases, el diseño, y la construcción. El proceso de licitación incluye una lista de constructores que hacen sus propuestas en términos de precios y capacidades para realizar la construcción. Cuando los constructores o sub-constructores han ganado un proyecto, empiezan la construcción sin ninguna interacción o comunicación con los consultores que han realizado el diseño.

Como consecuencia, hay muchos retrabajos en el enfoque convencional, y estos retrabajos son integrados en el proceso para un alcance donde esto ha de formar parte del presupuesto adicional del proyecto.

**- Ventajas y desventajas del modelo Diseño-Licitación-Construcción (DBB)**

Las ventajas y desventajas para el cliente y el contratista en durante las etapas de diseño y construcción están detalladas en la siguiente tabla:

**Tabla N° 19:** Ventajas y Desventajas del Sistema Tradicional de Entrega de Proyectos DBB en el Perú.

<b>CONTRATISTA</b>		
	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>DISEÑO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Base técnica de información (estudios preliminares de Perfil, Pre-factibilidad, Factibilidad) en el caso de PIPs.</li> <li>- Su alcance es sólo la entrega de los documentos contractuales.</li> <li>- Programación planteada según su percepción no hay cuidado riguroso por los procesos de construcción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Recibe estudios mal hechos, datos imprecisos, incoherentes.</li> <li>- Debe diseñar una única alternativa (la seleccionada)</li> <li>- Debe rediseñar los defectos detectados durante la construcción.</li> <li>- No puede implementar BIM, Lean, y Green.</li> </ul>
<b>CONSTRUCCIÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No tiene responsabilidad por los defectos de diseño en los documentos contractuales.</li> <li>- Saca provecho de los adicionales de obra (costo y tiempo) dado a los defectos e incompatibilidades del diseño.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Debe invertir tiempo y dinero en la comprensión de los procesos antes y durante del desarrollo de la fase de construcción</li> <li>- Está sujeto a un contrato y debe seguirlo sin realizar mejoras, así como debe adecuarse a los plazos y costos establecidos en el diseño</li> <li>- Excesivos ordenes de cambio y RFIs/SIs</li> <li>- Afrontar controversias</li> <li>- No puede implementar BIM, Lean, y Green.</li> </ul>
<b>CLIENTE/PROPIETARIO</b>		
<b>DISEÑO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiene una variada presentación y evaluación de propuestas (<b>en teoría</b>).</li> <li>- Disminuye el riesgo e incertidumbre en la toma de decisiones (<b>en teoría</b>).</li> <li>- Tiene tiempo suficiente para la "toma de decisiones.</li> <li>- Empieza el proyecto con menos riesgo e incertidumbre (<b>en teoría</b>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Debe emplearse tiempo y dinero para los estudios a un mayor nivel de detalle.</li> <li>- No identifica el producto final, poca participación debido a la falta de comprensión completa del proyecto</li> <li>- No puede detectar los errores de los proyectistas o diseñadores</li> <li>- Propenso a recibir un proyecto con defectos, interferencias, omisiones e incompatibilidades</li> </ul>
<b>CONSTRUCCIÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No las hay (realidad)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tratar con la documentación que tiene defectos y ambigüedades</li> <li>- Afronta ampliaciones de plazo y presupuesto debido a defectos o adicionales de obra.</li> <li>- Identifica tardía del producto final.</li> </ul>

Fuente: Adaptado de Tjell 2010 y Alcántara 2013

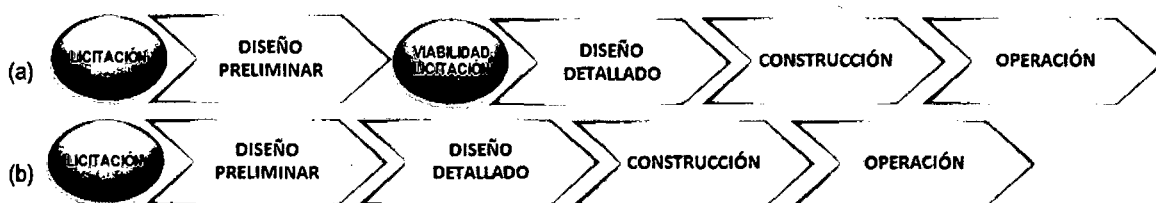
**2.2.8.6. Modelo Diseño-Construcción o Design-Build (DB)**

El modelo Diseño/Construcción D/B, a diferencia del modelo DBB, ha sido desarrollado para consolidar las responsabilidades del diseño y construcción. La

más clara diferencia entre los dos modelos DBB y DB es por consiguiente que ningún documento contractual debe ser desarrollado en la mitad del proceso como se muestra en la Figura N°28, donde la contratación no es fragmentada en dos fases, sino que el sistema es integrado, el diseño y construcción son contratados por una única entidad, *contratista-diseñador-constructor*.

Este modelo minimiza los riesgos para el cliente, reduce el tiempo de entrega del proyecto al traslapar las fases de diseño y construcción. Con el modelo alternativo Diseño/Construcción D/B, la *contratista diseñador-constructor* asume la responsabilidad de todos los trabajos en el proyecto eliminando la el elemento fragmentador, la licitación. De esta manera se ahorra un tiempo importante del total del proyecto y consecuentemente disminuye el costo del mismo

En el Perú este modelo de contratación se emplea por lo general en proyectos privados de gran envergadura, frecuentemente administrados bajo contratos denominados EPC (Engineering, Procurement and Construction), así como también en proyectos tipo "Fast Track" o proyectos con cronograma acelerado (Alcántara 2013). Dado las ventajas que representa el modelo alternativo D/B respecto al tradicional D/B/B, la adopción del modelo Diseño/Construcción, tiene cada vez mayor acogida en los proyectos de construcción.



**Figura N° 28:** Sistemas de Entrega de Proyectos (PDS)-Modelo Diseño-Construcción (DB) en el sector público (a) y sector privado (b), adoptados en el Perú.

**- Ventajas y desventajas del modelo Diseño- Construcción (DB)**

Las ventajas y desventajas para el cliente y el contratista en durante las etapas de diseño y construcción están detalladas en la siguiente tabla:

**Tabla N° 20: Ventajas y desventajas del Sistema Tradicional de Entrega de Proyectos DB en el Perú.**

<b>CONTRATISTA</b>		
	<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
<b>DISEÑO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiene mayor control sobre el proyecto (diseño y construcción)</li> <li>- Planteamientos cuidadoso de todos los procesos desde la concepción del proyecto</li> <li>- Rentabilidad (desarrollo de dos fases)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Asume la responsabilidad de los defectos de diseño</li> <li>- Asume gastos y tiempos por defectos del diseño</li> </ul>
<b>CONSTRUCCIÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los equipos de proyectos (Ingeniería, Procura y logística, producción.) pueden proveer con exactitud el despacho de materiales.</li> <li>- El equipo de producción empieza y desarrolla procesos constructivos rápidamente, reduciendo plazos y costos.</li> <li>- Pude implementar BIM, Lean, y Green.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Asume la responsabilidad de los defectos de diseño y construcción.</li> <li>- Asume gastos y tiempos por defectos de construcción.</li> <li>- Asume mayor riesgo si no hay un equipo especializado de diseño y construcción</li> </ul>
<b>CLIENTE/PROPIETARIO</b>		
<b>DISEÑO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un sólo responsable para asumir los defectos en el diseño y construcción.</li> <li>- Tiene mayor conocimiento de producto final desde la etapa temprana de diseño.</li> <li>- Recibe los documentos contractuales con un menor tiempo y costo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tiene variada presentación y evaluación de propuestas.</li> <li>- El contrato es realizado por negociación más que por licitación.</li> <li>- Debe asesorarse para negociar y tomar una decisión adecuada.</li> </ul>
<b>CONSTRUCCIÓN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un sólo responsable de los defectos en el diseño y construcción.</li> <li>- Recibe el proyecto con un menor tiempo y costo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Debe elegir cuidadosamente y exigente al contratista.</li> <li>- No hay una legislación específica para proyectos, el sector público.</li> </ul>

Fuente: Adaptado de Tjell 2010 y Alcántara 2013.

### **2.2.8.7. Deficiencias, causas e impactos del modelo tradicional de diseño**

Tradicionalmente y con alta intensidad hoy, la industria de la construcción usa un *proceso lineal* para la entrega de proyectos donde la comunicación y la información se intercambia pasando consecuentemente de desde una actor a otro (Koskela 1999, Neyra 2006 Eastman *et al.* 2008, Tjell 2010 y Alcántara 2013). Cada actor genera y agrega información a todos los documentos y planos del proyecto para cubrir sus propias obligaciones. Esto significa que por el tiempo una idea alcanza la construcción la cual ha sido generada siete o más incluso muchas más veces (Building smart 2010). Estas regeneraciones o retrabajos de la información puede explicarse el porqué de las disputas y falta de comunicación son los problemas comunes en la industria de la construcción. Hay muchas maneras en que los documentos de diseño e ingeniería pueden influir negativamente en el cumplimiento eficiente en tiempo y costo de proyectos de construcción. Algunos de estos problemas más comunes son:

**Tabla N° 21:** Deficiencias, causas e impactos del modelo tradicional de diseño.

<b>DEFICIENCIAS</b>	<b>CAUSAS</b>	<b>IMPACTOS</b>
(1) Documentos de licitación incompletos e inadecuados	Falta de comunicación e integración de los especialistas del diseño. Falta de interacción entre fases del proyecto	
(2) Planos de diseño e ingeniería que llegan tardíamente	Procesos complejos de diseño que implican tiempo y análisis. Falta de herramientas eficientes.	Paralizaciones Ampliaciones del presupuesto y plazo contractual Impacto ambiental Controversias
(3) Errores u omisiones en los planos	Complejidad, procesos complejos de diseño Mal manejo de procesos, métodos y herramientas de diseño.	Proyectos inconclusos y abandonados Insatisfacción del cliente/propietario y los usuarios finales
(4) Incompatibilidad e interferencias entre los documentos contractuales de diseño (planos vs especificaciones)	Falta de compatibilización de planos, tamaño y complejidad de los proyectos Falta tiempo y de herramientas para compatibilizar todos los documentos	
(5) Excesivas solicitudes de información (RFIs/SIs).	Deficiencias, errores e incompatibilidades de diseño. Procesos inadecuados.	
(6) El tiempo de espera de las RFI/SI y los cambios en el diseño y/o construcción.	Re-trabajos de diseño y redistribución de responsabilidades (tiempos legales)	
(7) Diseños con sobrestimación de costos y tiempo no asequibles a los propietarios con bajos recursos económicos	Complejidad Tiempo de diseño Estudios de ingeniería Especialidades	Construcción de proyectos (viviendas) sin asistencia profesional
(8) No hay una cultura ambiental	Consumo desenfrenado de los recursos naturales Consumo excesivos de energía eléctrica, etc.	Impacto ambiental Emisiones de gases invernadero
(9) Deficiente Gestión de la Construcción	Aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas inadecuadas y obsoletas No se aplica en etapas tempranas	Proyectos deficientes, de baja calidad, sin agregar "Valor" al producto
(10) Conflictos con el cliente/propietarios y los usuarios finales	Falta de una adecuada Gestión de la Construcción desde etapas tempranas del proyecto.	Insatisfacción del cliente/propietario y los usuarios finales

Fuente: Adaptado de Tjell 2010 y Alcántara 2013

Esta tesis argumenta que El Sistema de Entrega de Proyectos (Project Delivery System, PDS) tradicional, está muy fragmentado, separando marcadamente las dos fases más importantes en el ciclo de vida de un proyecto, el diseño y la construcción. El enfoque en el PDS debe ser eficiente y eficaz e impulsar la colaboración, comunicación, coordinación, y flujo continuo, entre los procesos llevados a cabo para lograr los entregables de la cada fase (PMI 2013). Los cambios por los que debe pasar la industria de la construcción con el fin de crear

tal ambiente deben empezar en la mente de quienes están inmersos en la industria de la construcción de la entrega de proyectos.

En proyectos de construcciones desarrollados según el modelo tradicional DBB, los documentos contractuales son elaborados en la etapa de diseño por consultores/proyectistas quienes trasladan las necesidades y requerimientos del cliente en planos y especificaciones técnicas. Estos documentos, sirven de base durante el proceso de licitación y posteriormente se entregan a la empresa contratista seleccionada como documentos oficiales para el inicio de la fase de construcción o ejecución. Los documentos contractuales del proyecto de construcción deberían estar completos, precisos, sin conflictos ni ambigüedades, pero desafortunadamente esto es raramente encontrado y muy a menudo la contratista empieza la construcción con documentos incompatibles, erróneos e incompletos, requiriendo, por consiguiente, clarificaciones que tienen que ser respondidas por los proyectistas y diseñadores durante el proceso de construcción interrumpiendo el flujo de la fase de ejecución.

#### **2.2.8.8. Limitaciones actuales del sistema tradicional**

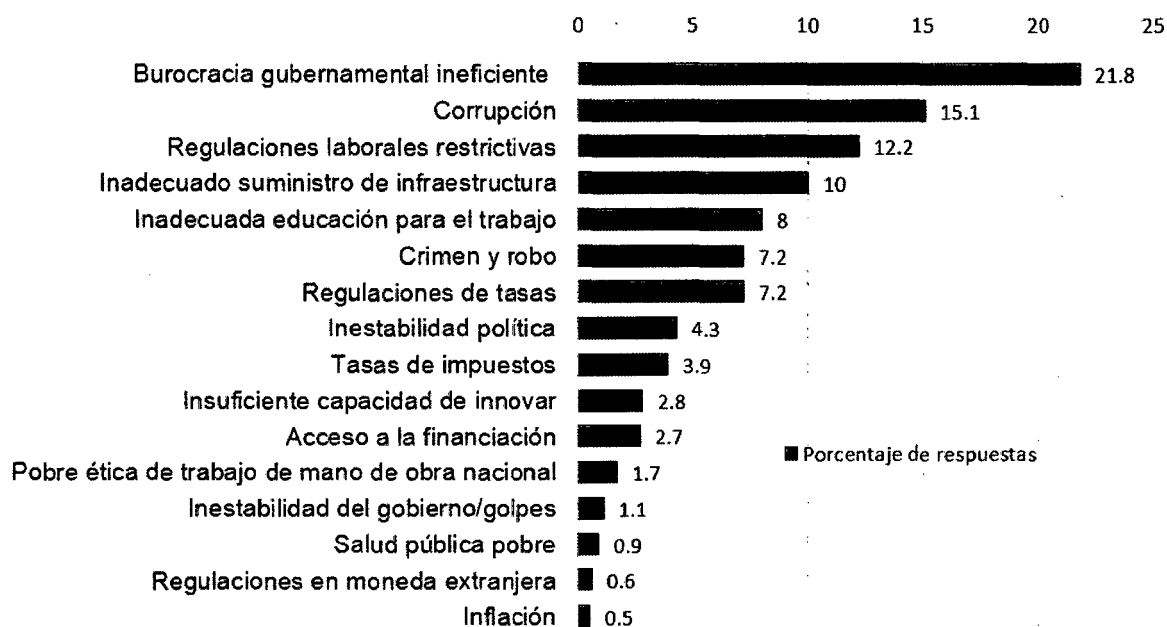
Los problemas actuales del sistema tradicional de entrega de proyectos de construcción en el país involucran una serie de factores relacionado a la gestión completa del sistema:

- Los diseñadores y clientes no comparten los mismos objetivos.
- Los consultores/proyectistas no suelen tener el conocimiento suficiente acerca de la factibilidad de construcción porque no tienen la misma experiencia que los constructores. Los constructores han estado en el campo desde hace muchos años ya través de su experiencia, ellos tienen el conocimiento acerca de las soluciones de construcción que los diseñadores no suelen tener. Para aprovechar este conocimiento en particular en un entorno BLG, los constructores tienen que participar activamente en el diseño mediante Reuniones Semanales en Salas de Reuniones (Big Room).
- El principal obstáculo para la adopción del Sistema BLG son la percepción equivocada de la naturaleza de las herramientas actuales y de la percepción que existen herramientas que son muy difíciles de usar. Por eso, como las herramientas son ajustadas para enfrentar la única necesidad de las



- construcciones, los usuarios de esta tecnología van a incrementar incluso más rápidamente.
- La necesidad de un software integrado (universal). Los softwares usados mayormente tienen formatos no compatibles por lo que no se puede compartir la información y el flujo en el proceso de la generación de información es trucado. El software actualmente no se puede utilizar en toda la información disponible en un modelo BIM.
  - La habilidad para ver una vista integrada de todos los sistemas de construcción mejorarían los resultados eficientes de diseño por una mejor comprensión del impacto de las decisiones de diseño a través de múltiples parámetros, permitiendo una mejor toma de decisiones de diseño.

Factores actuales que impiden una gestión integral de proyectos en el país desde una visión general de negocio, dados por el Foro Económico Mundial (World Economic Forum WEF) son dados en la Figura N°29.



**Figura N° 29:** Factores más problemáticos en el Perú (Fuente: Foro Económico Mundial WEF 2014).

Esto hace tomar reflexionar y plantea una nueva agenda para el diseño y construcción de los proyectos en el país. Se necesita, por lo tanto, una urgente reconfiguración del Sistema de Educación y Desarrollo.

El desarrollo del país está ampliamente liderado por el sector construcción, por lo tanto es necesario cambiar la cultura para la entrega de proyectos sostenibles,

económicos, eficientes, eficaces, de alta calidad, y seguro que agreguen valor al cliente. *Sostenible* se refiere que las prácticas actuales cambien, la mentalidad cambie al diseño de estructuras más verdes, el objetivo común es que las construcciones verdes estén diseñadas para reducir el impacto global del entorno construido en la salud humana y el medio ambiente a través del uso eficiente de la energía, el agua y otros recursos, la protección de salud de los ocupantes y la reducción de los desperdicios, la contaminación y la degradación del medio ambiente. *Económico* se refiere mejorando los procesos aplicando un nuevo enfoque de diseño, el cual permitan diseñar y construir proyectos menos costosos. *Eficiente* se refiere disminuir los desperdicios en los procesos de diseño y construcción y agregar valor al producto logrando mejores resultados empleando pocos recursos. *Eficaz* se refiere a la entrega de proyectos en el menor tiempo posible sin retrasos y sin errores. *Con calidad*, se refiere a que los proyectos sean entregados con características que agraden y superen expectativas de diseño. *Seguro*, se refiere que cada proyecto asegure la seguridad a sus ocupantes y del entorno. Estas características pueden ser realizadas a través de un nuevo enfoque de gestión que tenga en su estructura a tres aspectos muy importantes BIM, Lean y Green (BLG), se está planeando con ideas inteligentes. En un ambiente en base a BLG (ver sección 3.5) no sólo se trata de pensar rápido y barato; sino que se trata de pensar inteligentemente.

## **CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1. Ubicación de la investigación**

Esta investigación se desarrolló en la Ciudad de Cajamarca, tomando como caso de estudio el Proyecto Nueva Fuerabamba, ubicado en el departamento de Apurímac, además de otros casos de estudio desarrollados en el departamento de Cajamarca que se presentan en los anexos.

### **3.2. Población y muestra**

#### **Población**

La población para la presente investigación lo conforma el “Proyecto Nueva Fuerabamba”, caso de estudio específico que se ha tomado para esta investigación.

#### **Muestra**

La muestra para esta investigación (caso de estudio), coincide con la población elegida, debido a que es uno un caso particular donde los aspectos BIM, Lean y Green fueron aplicados en gran parte durante el ciclo de vida. La muestra (caso de estudio) corresponde al “Proyecto Nueva Fuerabamba”, megaproyecto realizado en el sur del Perú, donde la complejidad fue alta en términos de costo, tiempo, alcance, y calidad que hizo desafiante el diseño y construcción debido a la presión por parte del cliente para una entrega en el menor tiempo posible. Aunque en este caso se aprecia la participación independiente de cada componente del Sistema Integrado BLG, se ve claramente sus beneficios en términos de eficacia, efectividad y calidad. Demostrándose así que aun cada componente por separado es sumamente beneficioso, más aun será si es que se logra aplicarlo como un Sistema integrado, lo cual es el objetivo de esta investigación.

#### **Justificación de la elección de la muestra**

La selección de la muestra (caso de estudio) fue elegida básicamente dado a la variedad de rubros que contiene este megaproyecto, ya que fue necesaria la implementación de nuevas tendencias como BIM, Lean, y Green. Para lograr el

objetivo el equipo de diseño tuvo la necesidad de emplear métodos, herramientas y técnicas de vanguardia para la gestión de proyectos apoyadas en tecnologías TIC. Así pues, la elección del caso de estudio se justifica por:

- Proyecto de Inversión Privada bajo un Sistema de Contracción EPC (Engineering, Procurement, and Construction), entre el cliente y el contratista (sistema semejante al indicado en la sección 2.2.8.6.), denominado Sistema Diseño-Construcción o Design-Build); en donde el contratista se encargó de la Ingeniería, Procura, Logística y Construcción del proyecto. Esto permitió al contratista implementar los aspectos BIM, Lean, y Green, desde fases tempranas agregando el concepto de la entrega de valor al cliente y al mismo tiempo se logró un cierto grado de colaboración y comunicación entre los principales involucrados que se reflejó en resultados positivos al final del proyecto.
- La decisión de utilizar BIM para el modelamiento de la información haciendo uso de las herramientas TIC en base a modelos virtuales interoperables y multidisciplinarios que modelaron el proyecto completo, el cual tuvo un impacto positivo y más llevadero en la fase de construcción, en términos de presentación de alternativas de diseño, planificación de construcción (constructabilidad), estimación rápida de metrados y costos.
- La consideración de ciertos criterios Green en el diseño como áreas verdes, plantaciones de arbustos, herbáceas y gramíneas de la misma zona. Además, se tomó en consideración en el diseño, la calidad del aire interior, el uso de energías renovables y paisajismo.
- La decisión de usar Lean desde las fases iniciales del proyecto, logrando así una gestión integral desde la fase de pre-diseño o concepción hasta la fase de construcción. La gestión de la fase de construcción estuvo regida bajo dos enfoques de la gestión de proyectos: (i) Enfoque Lean mediante el uso del Sistema Último Planificador LPS y (ii) Enfoque del Instituto Goldratt y su Teoría de las Restricciones. Ambos enfoques se implantaron de manera integral que permitieron un ciclo de control de proyectos basado en LPS y Análisis de Restricciones (Lookahead-Análisis de Restricciones AR-Plan Semanal PS-Plan Diario PD-Porcentaje Plan Cumplido PPC-Causas de Incumplimiento CI).

### 3.3. Tipo de investigación

Dado su enfoque holístico y multidisciplinaria de esta investigación dentro del marco de la gestión integral de proyectos de construcción, conducida a un sistema explicativo, descriptivo y global de la realidad pasada y presente del modelo tradicional de diseño, se puede clasificar esta investigación como:

Tabla N° 22: Tipo de investigación según los criterios más importantes

CRITERIO	TIPO DE INVESTIGACIÓN
Finalidad	Aplicada
Estrategia o enfoque teórico metodológico	Cualitativa
Objetivos (alcances)	Descriptiva
Fuente de datos	Mixta.
Diseño de prueba de la hipótesis	No experimental
Temporalidad	Longitudinal (diacrónica)
Contexto donde se desarrolla	Biblioteca (gabinete)
Intervención disciplinaria	Multidisciplinaria,

Fuente: Adaptado de Vieytes 2004, Estrada 1994, Ruíz-Rosado 2006, Méndez y Astudillo 2008, Maleta 2009, Hernández *et al.* 2010.

### 3.4. Metodología y procedimiento de investigación

Esta investigación consiste básicamente en una revisión variada de literatura y un *Análisis y Síntesis* conceptual. Este estudio empieza con la revisión de la literatura relacionada a las bases, técnicas y herramientas de la Gestión de Proyectos, principalmente enfocadas a la fase de diseño, con el objetivo de plantear una mejora en el *Modelo Tradicional de Entrega de Proyectos*, mediante la adopción de un nuevo enfoque de gestión que involucre; *filosofía (Lean)*, *metodología (BIM)*, y *sostenibilidad (Green)*; tres aspectos que estructuren un sistema integrado. Posteriormente se trata de determinar el nivel actual de aplicación de estos aspectos y el procedimiento a seguir en una posible sinergia (hipótesis de investigación). En la sección 3.6 se analiza el caso de estudio donde se aplicó parcial e independientemente estas nuevas tendencias, así como otras técnicas y herramientas para el desarrollo de los procesos, especialmente en la fase de diseño.

Tabla N° 23: Metodología para el desarrollo de la investigación

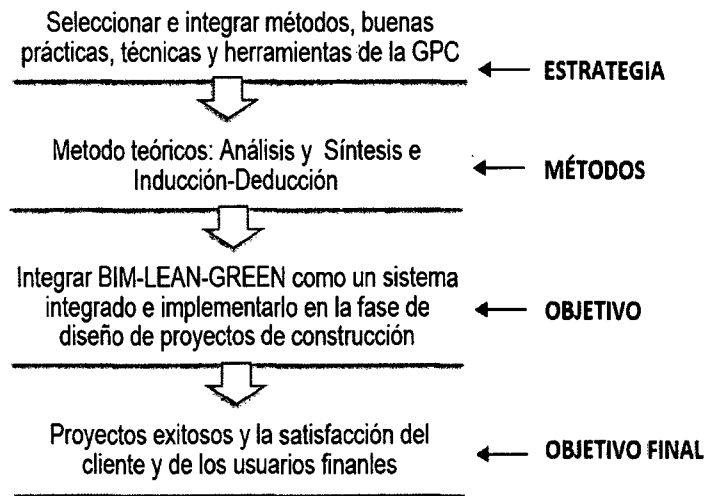
<b>METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
<b>Método de investigación</b>	Análisis y Síntesis
<b>Diagramas de Flujo</b>	Para visualizar el flujo de material, las personas, y la información. Para crear un concepto rápido del proceso representado para el lector.
<b>Selección de la Literatura.</b>	Variada literatura con autores pioneros en, métodos, técnicas, herramientas de la gestión de proyectos relacionados a BIM, Lean, y Green Búsqueda de información basada en Internet (Google), con palabras claves y selección cuidadosa de la información. Registros de los autores nacionales y páginas web locales, recogiendo experiencias y la adopción de estas tendencias en el Perú y el mundo.
<b>Método para el caso de estudio</b>	Inducción- Deducción

El análisis estará enfocado a cuatro componentes: *factores, criterios, atributos y ventajas*. Un *factor* es un hecho, lo cual significa que puede ser un criterio, un atributo o una alternativa. Un *criterio* es un aspecto al cual se le establece un juicio o se toma una determinación, ayudando a la toma de decisiones. Cuando se establecen los criterios de las diferentes alternativas estas pueden ser enumeradas. Cada alternativa es diferente, lo que significa que tienen diferentes atributos. Cuando se enumeran todos los atributos, las diferentes *ventajas* de cada alternativa se pueden enumerar y en base a eso, pueden tomarse decisiones correctas.

### **Procedimiento**

El desarrollo del planteamiento hipotético, es desarrollado a través de tres estrategias:

- E1: Conocer la situación actual.
- E2: Basarse en las proposiciones teóricas.
- E3: Desarrollar la descripción de un caso de estudio.



**Figura N° 30:** Procedimiento para el desarrollo del planteamiento hipotético de esta investigación

Conocer el contexto actual (E1) es esencial porque permite conocer la situación real en el que se encuentra un individuo, organización, empresa o proyecto dentro en relación con su entorno, para identificar, fortalezas, oportunidades debilidades, amenazas y así poder plantear estrategias de mejorar en el futuro. Así Pues esta investigación plantea la situación real de los proyectos de construcción analizando las ventajas y desventajas y concluyendo la mejor opción que beneficie mutuamente tanto a consultores, constructores, el cliente y usuarios finales.

Con el objetivo validar las proposiciones teóricas (E2) y obtener las relaciones de interacción entre los componentes del Sistema Integrado BLG (principios Lean, fundamentos BIM, y criterios Green), esta investigación utiliza cinco técnicas, estos son:

- **La coincidencia de patrones:** para mostrar la correspondencia entre la estrategia y las evidencias.
- **Explicación constructiva:** para hacer una declaración probable en aquellos casos en que no hay explicaciones lógicas obvias.
- **El análisis de series de tiempo:** para tratar de demostrar una posibilidad de que la conclusión se inscribe en el tiempo y el medio donde se desarrolla.
- **El modelo lógico:** que es sobre la correspondencia de eventos empíricos con eventos teóricos predichos.
- **La síntesis y deducción cruzada:** para la comprobación de que la información procedente de diferentes fuentes se corresponde y se complementan entre ellas. Este análisis muestra si los diferentes grupos de casos comparten cierta

similitud y merecen ser considerados, como instancias del mismo tipo de caso general.

Para hacer el caso de estudio (E3), el aspecto más importante es ser capaz de documentar y verificar la conclusión sobre la base de las pruebas obtenidas. Para la determinar la validez teórica del caso de estudio, se establece tres tipos diferentes de validez que son, validez de construcción, validez interna, y validez externa. La razón de esta división es ayudar al investigador a estar atento durante todo el estudio del caso para obtener las pruebas necesarias que ayuden a validar la teoría. (i) Validez de construcción se trata de demostrar que el caso seleccionado es probatorio para cubrir el objetivo de esta investigación. (ii) Validez interna es sobre la prueba de la amplitud de la investigación, para evitar la posibilidad de sorpresas a surgir. (ii) La validez externa se trata de conectar la evidencia y la conclusión.

### **3.5. Metodología específica del Sistema Integrado BLG**

En esta sección se describe la creación de una plataforma de trabajo interoperable, multidisciplinaria y sostenible gracias a las sinergias existentes entre BIM, Lean y Green en la fase de diseño de proyectos de construcción, creando así un ambiente de trabajo donde las capacidades de estos tres aspectos puedan ser utilizadas al máximo. Para esto, se establece un “*Sistema Integrado*” que agrupa principios de la filosofía Lean, fundamentos de la metodología BIM y criterios de diseño y construcción sostenibles Green. Este capítulo es puramente dependiente de la teoría, por eso se presenta sinergias teóricas entre BIM, Lean y Green; los cuales pueden complementarse, dado que BIM permite la visualización de los procesos Lean y centrándose más en el flujo de trabajo Además BIM permite también la implementación de los aspectos Green a través de métodos y herramientas de análisis de los aspectos sostenibles a considerar en un proyecto de construcción; pero lo más importantes es que los tres aspectos apuntan a minimizar desperdicios y agregar valor, durante el ciclo de vida del proyecto.

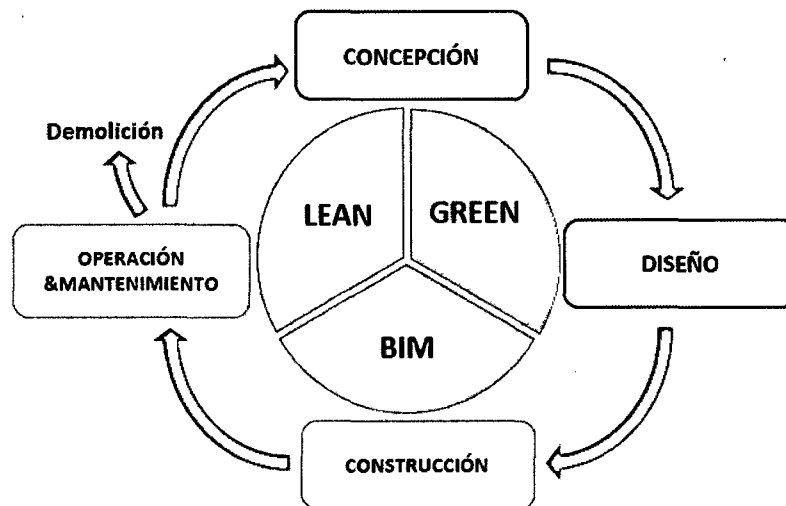
#### **3.2.1. La conexión entre BIM-Lean-Green**

La idea de realizar un análisis para revelar la conexión entre BIM, Lean y Green; es establecer una estructura transparente y completa donde sus componentes



puedan complementarse entre ellos de tal manera que se pueda crear un ambiente donde exista un alto grado de comunicación, coordinación, colaboración, transparencia, y flujo de procesos, agregando valor al cliente. Los tres conceptos pueden trabajar de forma independiente, pero es la sinergia entre Lean, BIM y Green integrado como un sistema, lo que logrará descubrir todo su potencial y experimentar sus beneficios para sacar a flote el proceso deficiente de diseño y la productividad en la fase de construcción.

Las aplicaciones de un *Sistema Integrado BLG*, van a centrarse en la interoperabilidad, integración, y fomentar la comunicación y la colaboración personas y procesos en el diseño, que aseguren resultados eficientes, eficaces de alta calidad, con criterios realmente sostenibles y no como un aspecto conceptual a nivel de mitigaciones únicamente.



**Figura N° 31:** Descripción de la relación entre BIM, Lean, y Green, como un sistema integrado implementado dentro de la fase de concepción y diseño de un proyecto de construcción.

La integración entre BIM, Lean y Green, está realizada a un nivel conceptual, y por lo tanto, cualitativa. Se ha optado por usar los criterios y directrices generales que estas con metodología que proporciona efectuar un análisis e integración racional y coherente de los enfoques de gestión, metodología y cultura, basándose en criterios lógicos, eventos comprobados y aquellos ya existentes (estrategias y técnicas propuestas en la sección 3.4.). Las principales relaciones de interacción (sinergias) se muestran en la Tabla N°24.

### 3.2.2. Relaciones de interacción

Como resultado del análisis de principios Lean, fundamentos BIM y criterios de sostenibilidad Green se pudo encontrar 10 relaciones de interacción las cuales se muestran en la Tabla N°24.

Tabla N° 24: Relación de interacción entre BIM, Lean y Green

N°	CRITERIO	RELACIÓN
1	Estructurar y planificar la fase de diseño desde etapas tempranas.	Diseño del sistema de producción
2	Integrar personas y procesos (trabajo en equipo)	Integración
3	Comunicación mutua, para la toma correcta de decisiones y reducir errores de diseño	Colaboración
4	Visualización, variedad de alternativas, análisis y simulación de procesos antes de construir	Diseño basado en modelos
5	Establecer el presupuesto real del proyecto	Costo objetivo
6	Crear una cultura responsable con el medio ambiente	Diseño y construcción sostenible
7	Facilitar el control y la mejora continua	Transparencia de procesos
8	Incentivar la investigación en la industria de la construcción	Creatividad, innovación y procesos de mejora continua
9	Planificar y programar	Constructabilidad
10	Crear una cultura Educación de Gestión de Proyectos de Construcción	Gestión del Diseño basado en competencias

Ante la ineficiencia del modelo radiocanal de diseño mencionado en los capítulos anteriores, es necesario plantear un nuevo *Sistema Integrado de Entrega de Proyectos de Construcción*, que genere mecanismos internos (procesos) eficientes y dinámicos, gracias a la existencia de una estructura que permite relaciones de interacción entre los componentes (BIM, Lean y Green), en el entorno de acción (fase de diseño). BIM, Lean y Green pueden complementarse entre ellos para ser aplicados en la mejora del proceso de diseño, los mismos que hagan del sistema de gestión de proyectos una herramienta completa en la industria de la construcción y obtener beneficios de ello.

La esencia de este nuevo Sistema Integrado planteado radica en crear un mecanismo de autorregulación, y para esto se incluye los aspectos de innovación, creatividad y el proceso de mejora continua para identificar debilidades del sistema y plantear de estrategias de mejora. En otras palabras podríamos argumentar que los aspectos anteriormente mencionados serían la base de este nuevo *Sistema Integrado BLG*, que para lograr su implementación exitosa hay

una sola cosa que hacer: *“crear cultura”* y esta solo será lograda a través de la Educación. *“Así que se debe plantear, por lo tanto, un agresivo programa de La Educación de la Gestión de Proyectos de Construcción basado en competencias, para asegurar que esto suceda”*

### **3.2.2.1. Diseño del sistema de producción en el Sistema Integrado BLG**

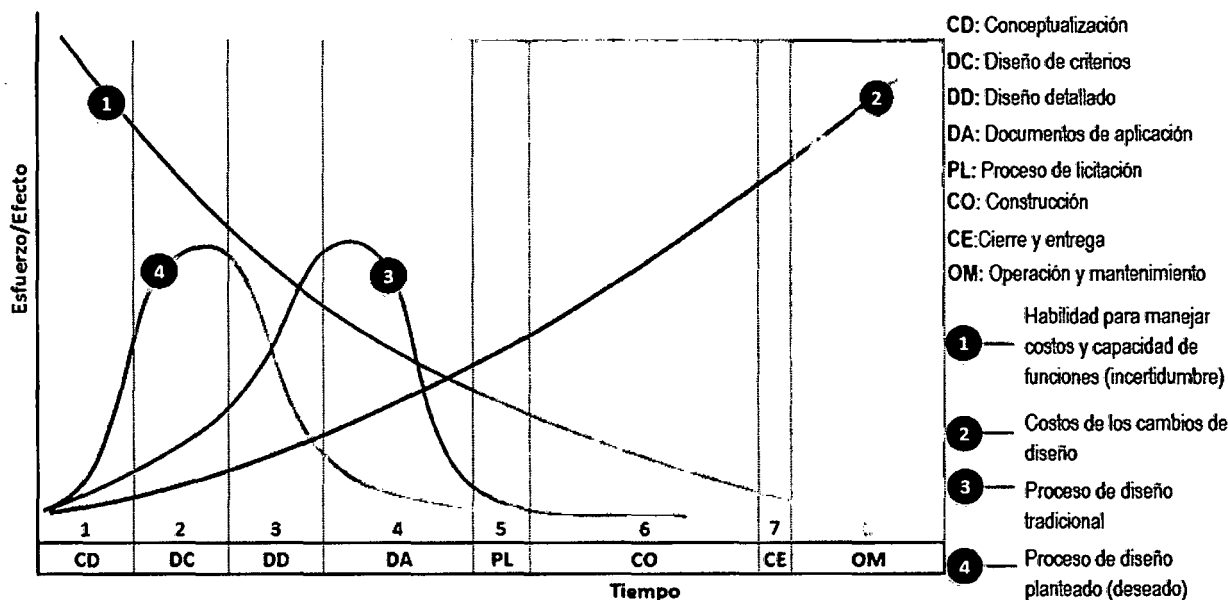
El Diseño del Sistema de Producción es un aspecto relacionado sobre cómo estructurar la fase de diseño con el fin de reducir los desperdicios, reduciendo o eliminando aquellas actividades no productivas, que no agregan valor al cliente o impiden el normal funcionamiento del flujo de procesos de diseño, como por ejemplo, esperas de información, retrabajos, procesos de diseño redundantes, realizar trabajos paralelos (planeamiento y programación basadas en planos 2D para asegurar que nada falte), no compartir información relevante entre el equipo del diseño del proyecto, etc.

Un insuficiente diseño gestionado convencionalmente causa la mayor parte de los errores, lo que causan a su vez retrabajos (ver sección 1.1) Una manera de enfrentar y reducir este tipo de desperdicios es como sugiere la filosofía Lean que es involucrar a las personas con competencias acerca de la factibilidad de construcción, materiales, costos, plazos, etc. desde etapas tempranas del proyecto (fases de concepción y diseño), lo que significa que los contratistas y subcontratistas tienen que ser considerados antes de ejecutar para plantear la mayor cantidad de alternativas de diseño y planes de construcción, además los criterios de sostenibilidad van a ser considerados.

Las competencias de los involucrados tendrán un impacto positivo, sólo si éstos actúan desde etapas tempranas del proyecto. Este aspecto está plenamente en consonancia tanto con la filosofía Lean y la comprensión actual de cómo se utilizan mejor las capacidades de BIM, y se establecen los criterios de diseño y construcción sostenible Green.

La Figura N°32 ilustra la influencia de la intervención de los contratistas y subcontratistas en etapas tempranas de un proyecto. La Figura N°32 consisten de cuatro gráficos diferentes más tarde se refirió a éste como La Curva MacLeamy. La línea verde representa cómo los cambios fáciles pueden ser incorporados en

un proyecto de acuerdo al momento en que se está produciendo; la línea roja representa el impacto económico de un cambio. La línea azul representa cuando se consolida el conocimiento sobre la factibilidad de construcción en un proyecto tradicional, que no es antes de después del proceso de diseño ha terminado. La línea amarilla muestra cómo se supone que el conocimiento debe consolidarse en un proyecto basado en Lean, para utilizar eficazmente BIM y Green.



	PERFIL-PRE-FACT./FACT.	DISEÑO DETALLADO	CONSTRUCCIÓN	O&M
SECTOR PÚBLICO	PRE-INVERSIÓN	INVERSIÓN		POST-INVERSIÓN
SECTOR PRIVADO	CONCEPCIÓN	DISEÑO DETALLADO	CONSTRUCCIÓN	O&M

**Figura N° 32:** La curva MacLeamy. La curva 1 muestra cómo los cambios pueden influir a lo largo del proceso. La curva 2 representa el efecto económico de un cambio a lo largo del proceso. La curva 3 y 4 representa, respectivamente, cuando se consolida el conocimiento sobre la factibilidad de construcción de un proyecto convencional, respectivamente, y un proyecto BIM / Lean (Fuente: AIA 2014).

La Figura N°32 ilustra claramente la ventaja de contar con un equipo de diseño que tenga competencias, antes de iniciar la fase de ejecución, para hacer menos cambios al final del proceso, donde la incorporación de los cambios son más costosos. Es la participación temprana de los involucrados con competencias e integración, lo que ayudará a reducir estos porcentajes de retrabajos, y se espera que incluso puedan ser eliminados. Expresamente las razones serían:

- Primero, el diseño se convierte más fiable ya que las personas que tienen que construir la instalación, cuentan con toda la información completa e

interoperable que se ha realizado por los proyectistas desde la concepción y han suministrado la información en el modelo (modelo BLG).

- Segundo, si el contratista es responsable de las fases de diseño y construcción lo que implica que estarán más comprometidos con el diseño, ya que tienen una mejor comprensión del porqué de las diferentes soluciones de diseño que se han decidido y presentado al cliente.
- Tercero, como consecuencia de las dos vinculaciones mencionadas, el costo objetivo es más probable que sea menor que el costo disponible de un proyecto gestionado tradicionalmente, a pesar de que el costo de diseño inicial pueda ser en algunos casos más alto.

### **3.2.2.2. Integración en el Sistema Integrado BLG**

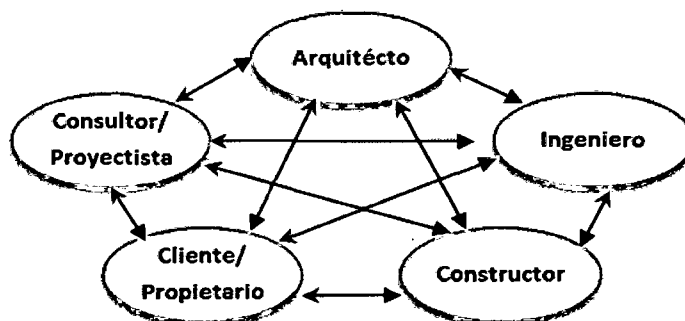
Este aspecto se refiere a establecer un equipo de diseño formado por arquitectos, ingenieros, consultores, contratistas, subcontratistas y el cliente en un único ambiente de trabajo, "Sala de Reuniones" o "Big Room", en la fase inicial de diseño para combinar el conocimiento más allá de las operaciones individuales con el fin de entregar un proyecto integrado sin ambigüedades ni conflictos. El problema radica en describir la mejor manera de estructura un equipo deseado para implementar un diseño BLG. Un aspecto interesante propuesto por la LCI y AIA, es por ejemplo la utilización de la curva MacLeamy que se representa en la Figura N°32 que ilustra las respectivas ventajas de BIM y Lean, así como incluir el diseño sostenible basado en los criterios Green, ya que si se desea que un proyecto sea realmente sostenible, entonces es aquí donde se debe discutir la consideración y la selección de estos criterios. Los términos de sostenibilidad para un proyecto deben ser discutidos en conjunto con el equipo de diseño, construcción y propietarios, de tal manera que pueda darse un mutuo entendimiento desde fases tempranas del ciclo de vida del proyecto. El objetivo de esta interacción es alinear intereses, objetivos y prácticas, a través de un enfoque basado en el trabajo en equipo, decidir por unanimidad y considerar todas las opciones.

El trabajo en equipo dentro de un ambiente de trabajo llamado "Sala de Reuniones" o "Big Room" a través de reuniones diarias o semanales logrará: (i) una verdadera comunicación, colaboración y transparencia entre los principales

involucrados, (ii) visualización de conjunto de todo el proceso de la construcción desde la concepción hasta la demolición del proyecto; (iii) identificación temprana de errores y falencias y (iv) la toma confiable de decisiones durante el ciclo de vida de un proyecto. Así pues esta investigación está preocupada por crear conciencia en estudiantes y profesionales para educar a la población hacia un cambio de mentalidad responsable con el uso de los recursos públicos y privados y la protección del medio ambiente, mediante una agresiva Educación de la Gestión de Proyectos de Construcción en todo el país.

### 3.2.2.3. Colaboración en el Sistema Integrado BLG

La discusión temprana de los requerimientos del cliente en etapas tempranas del proyecto, desafía la configuración del proyecto, así como el enfoque de la gestión en relación con la forma de estructurar el flujo de la coordinación, la comunicación, y el intercambio entre todos los actores que tradicionalmente recibieron y no participan en el diseño de la información. De acuerdo con la colaboración, aspecto de la filosofía Lean, es importante que todos los equipos deben saber todo el proceso y que entiendan por qué se toman las decisiones, para así se pueda comprender lo que crea o no crea valor y eliminar los desperdicios. Para crear un ambiente de diseño colaborativo, en el que cada integrante del equipo sepa lo que está haciendo y por qué, se debe empezar primero por integrar dos culturas muy diferentes pre-construcción y construcción, para que luego los aspectos del diseño puedan ser discutidos íntegramente en un ambiente de trabajo llamado "Sala de Reuniones" o "Big Room".



**Figura N° 33:** El concepto de colaboración en un ambiente de trabajo "Sala de Reuniones" (Big Room) junta todas las disciplinas y fomenta la colaboración interdisciplinaria.

En un contexto de diseño relacionado a un ambiente de trabajo se convierte en una plataforma de colaboración, donde pueden tener lugar las discusiones y

decisiones sobre el diseño entre todos los involucrados (Figura N°33). Hay muchos tipos diferentes de reuniones que tienen lugar en un ambiente de trabajo colaborativo “Sala de Reuniones” o “Big Room”. En estas reuniones intervienen todos los miembros del equipo y se toman las decisiones generales de diseño.

Para aprovechar plenamente el ambiente *de trabajo* “Sala de Reuniones” donde las alternativas de diseño se pueden discutir entre varias especialidades, se necesita un facilitador para sistematizar, visualizar y almacenar esa información. Esto es exactamente lo que BIM puede proporcionar; BIM puede presentar información virtual a través de una plataforma digital donde la información puede fluir de forma transparente entre los oficios; también puede almacenar múltiples alternativas, puede sistematizar alternativas, hacer un seguimiento de los cambios, visualizar interferencias de diseño y hacer accesible la información para todos los involucrados en cualquier momento o lugar determinado.

Los efectos de tener los contratistas, propietarios, entre otros involucrados que colaboren en el desarrollo del diseño, es que las soluciones de diseño son más propensas a alojar y facilitar las necesidades reales de la construcción, lo que significa mejores posibilidades de operación; es decir, realizar la simulación del flujo de procesos de las actividades de la construcción, de tal manera que soporte la constructibilidad, que es un concepto ampliamente aceptado por los constructores en la fase de ejecución. Además la seguridad en obra puede aumentar, ya que el análisis 4D-BIM consolidado, puede hacer en un entorno de trabajo que sea capaz de prever muchos de los problemas de seguridad que pueden ocurrir cuando varias personas están trabajando en el mismo lugar.

Finalmente, la comunicación ha sido identificada como una de las mayores y únicas razones de éxito o fracaso de un proyecto. Es esencial que exista una comunicación eficaz dentro del equipo del proyecto, entre el director del proyecto, los miembros del equipo y los interesados externos. La transparencia en la comunicación permite el trabajo en equipo y conduce a un alto desempeño. Mejora las relaciones entre los miembros del equipo del proyecto y crea una confianza mutua.

### 3.2.2.4. Diseño basado en modelos en el Sistema Integrado BLG

El diseño determinado con base en modelos, marca una diferencia muy grande y se aleja del proceso de diseño convencional 2D. Esto es gracias a que el Sistema Integrado BLG permite la discusión de variedades diferentes de alternativas de diseño, basándose en el criterio de que entre más soluciones de diseño están siendo desarrolladas, mejores decisiones de inversión pueden ser consideradas para asegurar la entrega de valor al cliente con el cumplimiento de sus requerimientos incluso más allá de sus expectativas.

Tradicionalmente, en un proceso de diseño, todas las decisiones referentes a las soluciones de diseño son realizadas antes que el diseño de detalle esté comenzando. Esto significa que aquellos que son responsables del diseño de detalle están a menudo "siguiendo" decisiones anteriores de diseño, incluso cuando la solución no puede ser la que vaya a entregar el mayor valor al cliente.

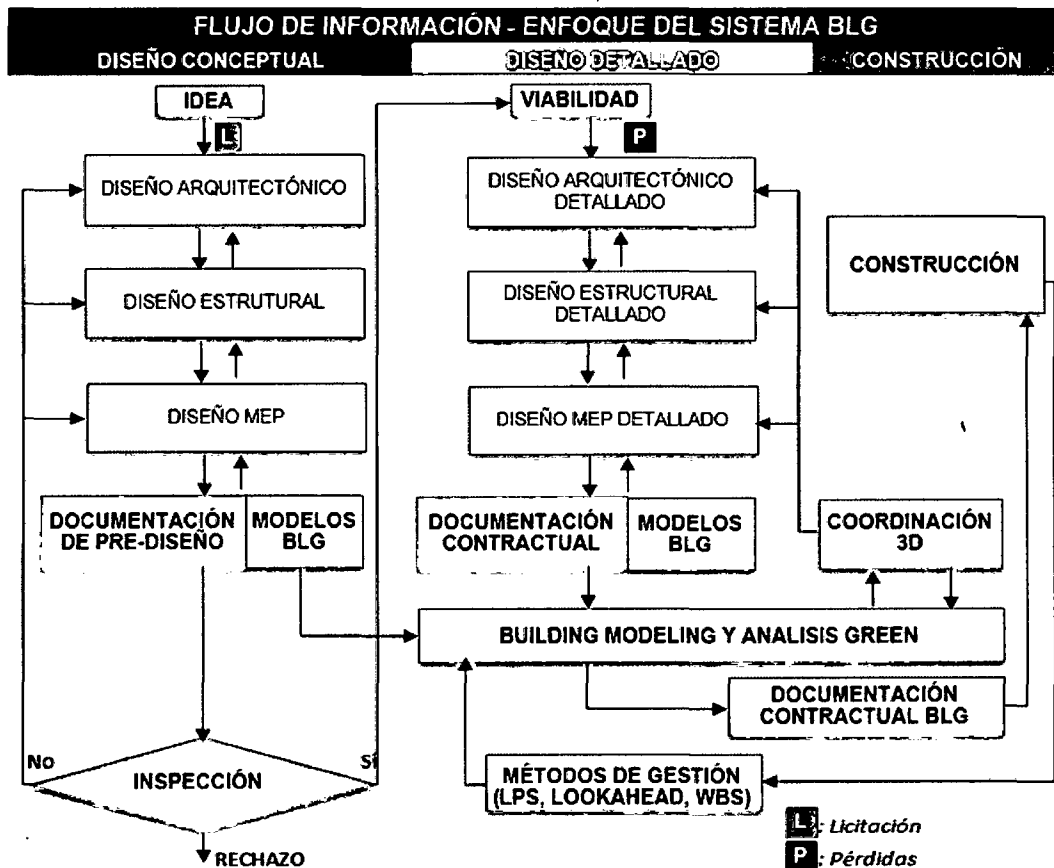


Figura N° 34: Diseño basado en modelos.

En la Figura 34 el concepto de diseño basado en modelos, se ilustra oponiéndose al enfoque tradicional que se ilustra en la Figura N°26 (ver sección 2.2.8.3). El



enfoque tradicional es un enfoque "*lineal*", ya que la solución general de diseño se decide al inicio de la fase de diseño y todos los involucrados más allá del diseño se limitan a seguir el diseño realizado en este punto particular. El diseño tradicional Figura N°26 (ver sección 2.2.8.3), muestra cómo un concepto de diseño factible en un proyecto tradicional se desarrolló normalmente. Al principio de la etapa de diseño, todos se conforma con un concepto global de diseño y de allí a todo el mundo está a la caza de ese concepto en particular, independiente de que el concepto de diseño podría no ser el concepto que ofrecerá el mayor valor para el cliente.

El diseño determinado con base a modelos en Figura N°34, se opone al diseño tradicional esperando tomar una decisión con respecto al concepto de diseño hasta "el último momento planificador". En lugar de optar por un concepto de diseño desde el principio, varias propuestas de diseño paralelo se están desarrollando al mismo tiempo. Cada uno de estos conceptos de diseño paralelo individuales contienen diferentes ventajas y sólo por un concepto de desarrollo casi lleno, el impacto de cada uno se puede estimar, y posiblemente, algunas de las soluciones pueden desafiarse unos a otros para lograr aún más valor que si se hubiera desarrollado una única solución.

Esto significa que la decisión sobre qué concepto de diseño para seleccionar ocurre mucho más tarde en oposición a un proyecto tradicional. Este modo de espera hasta que todas las alternativas sean conocidas para tomar correcta decisión, similar a la espera en las tareas de planificación en la construcción hasta el momento en el que realmente se puede planificar lo que de acuerdo con el LPS (Último Momento Planificador). Por lo tanto, "el último momento planificador" del diseño puede ser definido como el punto en el que se anula la selección de alternativas de conceptos de diseño.

BIM es un excelente facilitador para el concepto de diseño basado en modelos, ya que puede almacenar información, crear una plataforma para el intercambio de información, y representar los datos en modelos BIM como 3D, 4D, 5D, 6D y 7D que pueden ilustrar diferentes aspectos de un concepto de diseño que podría no haber sido considerado si la documentación habría sido hecho en un modelo basado en planos de papel 2D. Por el contrario, BIM no habría sido capaz de

crear las diferentes alternativas de alta calidad sin Lean a medida que se desarrollan las mejores soluciones basadas en la interacción entre las personas involucradas en el proceso. Lean proporciona un método para desarrollar y evaluar varias soluciones, es por eso que los dos conceptos se complementan entre sí eficazmente. El enfoque sobre el uso del diseño basado en modelos en el sector manufacturero, ha demostrado ser una manera más rápida para producir automóviles, pero todavía necesitan ser probados en el diseño de las construcciones, con el objetivo de automatizar la construcción.

El concepto de hacer múltiples soluciones de diseño, pareciera como si fuera el enfrentamiento a una nuevo problema, pero en realidad no es así, dado las facilidades y flexibilidad de las herramientas tecnológicas BIM hoy en día que ayudan a que más puntos de vista sean considerados, por lo tanto la combinación de las diferentes soluciones de diseño permitirán la reducción de los errores de diseño que suceden actualmente en la construcción.

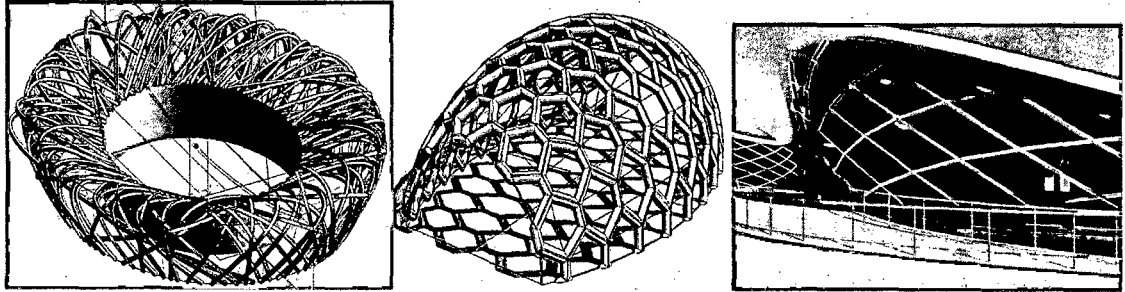
**a. Modelos 2D-BIM:** Estos modelos son el resultado de los modelos 3D y son la base para el proceso de licitación según la legislación actual (no ideal en el contexto actual).

**b. Modelo 3D-BIM** Estos modelos permiten:

- Detección de interferencias.
- Documentación completamente automatizada
- Mayor eficiencia y menor cantidad de órdenes de cambio
- Visualización integral del modelo y multidisciplinario
- Diseñar modelos 3D complejos
- Minimiza los errores mediante compatibilización de planos en un único modelo.
- Análisis avanzado y Detallado y coordinación entre disciplinas de diseño (Arquitectura-Estructuras-MEP)
- Predicción de fallos oportuna y análisis de errores y el reconocimiento
- Revisión rápida y comprobación cruzada.
- Caminatas virtuales, animaciones y renderizados.

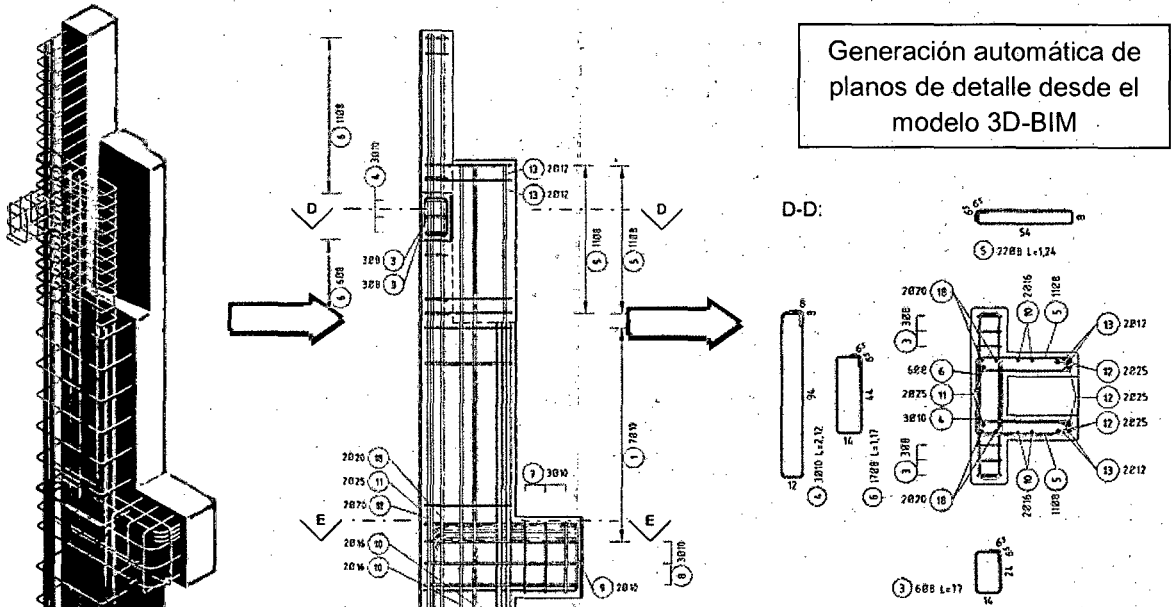
Además las herramientas BIM hoy en día ofrecen grandes beneficios de modelamiento complejo en Arquitectura, Estructuras, y MEP.

**(i) Modelos de Arquitectura:**

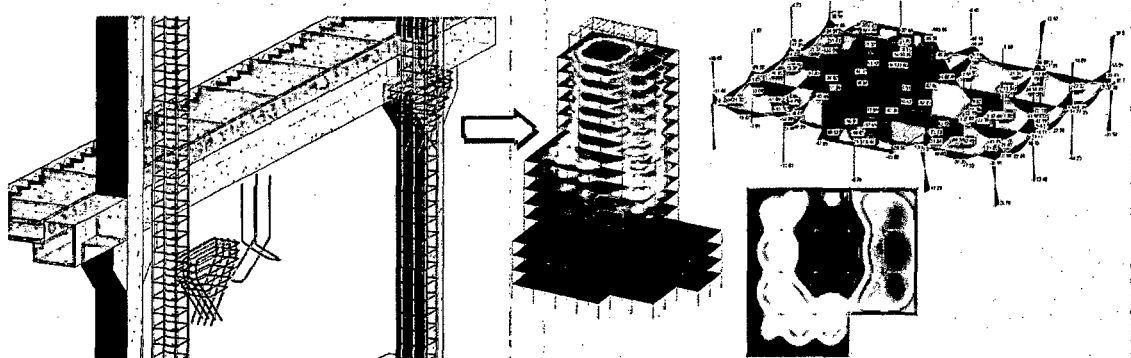


**Figura N° 35:** Diseño arquitectónicos complejos en base a modelos 3D-BIM.  
(Fuente: Autodesk-Revit 2014)

**(ii) Modelos de Estructuras**



**Figura N° 36:** Modelos 3D-BIM estructurales para la generación de la información.  
(Fuente: Autodesk-Revit 2014)



**Figura N° 37:** Modelos 3D-BIM estructurales el análisis estructural integrado.  
(Fuente: Autodesk-Revit 2014)

(iii) Modelos MEP

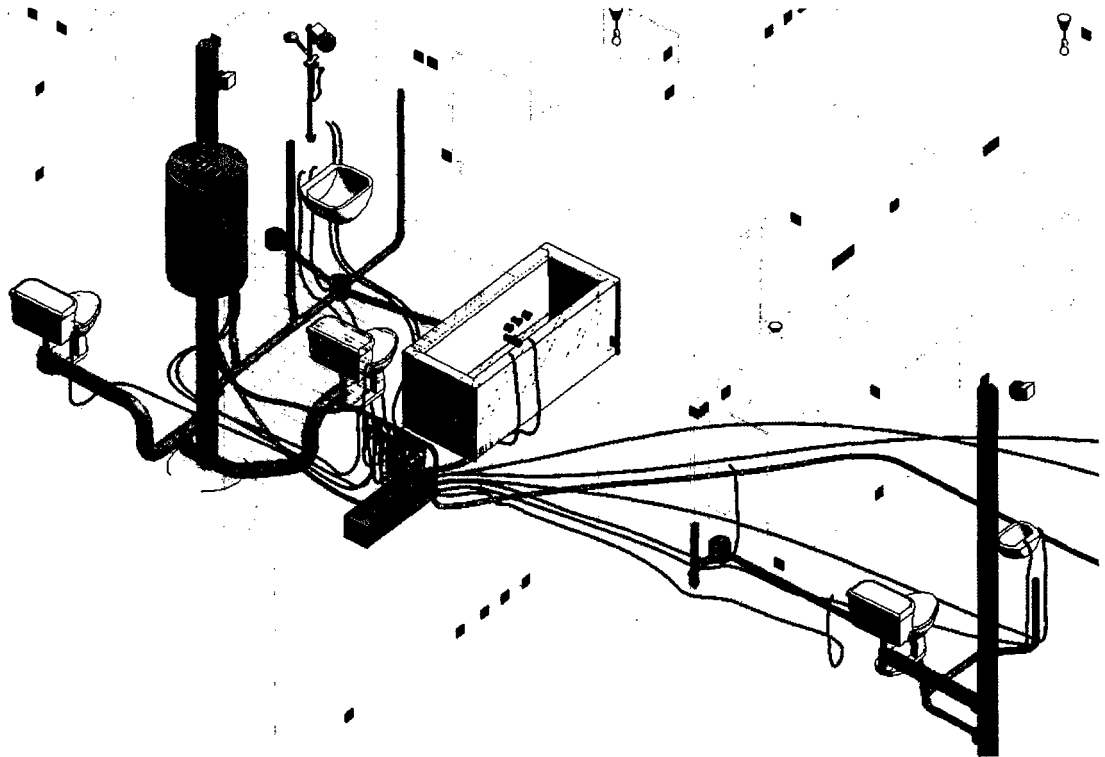


Figura N° 38: Modelos 3D-BIM MEP para la generación de la información.  
(Fuente: Sacks 2014).

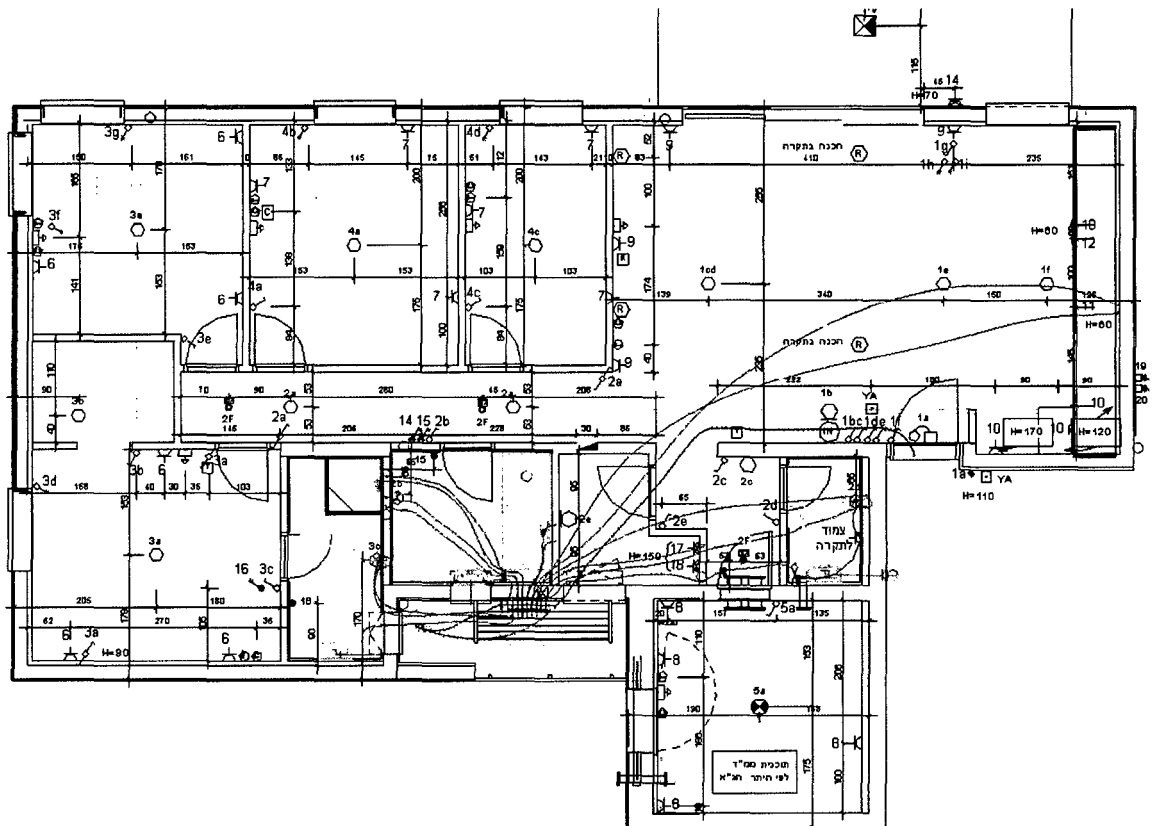


Figura N° 39: Modelos 3D-BIM MEP para la generación de la información.  
(Fuente: Sacks 2014).

**c. Modelos 4D-BIM:** Estos modelos permiten:

- Simular proceso antes de construir e implementar del LPS.
- Detección de interferencias.
- Documentación de la programación completamente automatizada
- Mayor eficiencia y menor cantidad de órdenes de cambio
- Visualización en tiempo real de la programación.
- Facilidad de realizar caminatas virtuales y explorar modelos 3D complejos
- Minimiza los errores propensos en la comprobación manual de la programación (alejarse de la comprobación basado en planos 2D y papel).
- Análisis avanzado y Detallado y coordinación con diseños 3D-BIM.
- Predicción de fallos oportuna y análisis de errores y el reconocimiento
- Revisión rápida y comprobación cruzada.

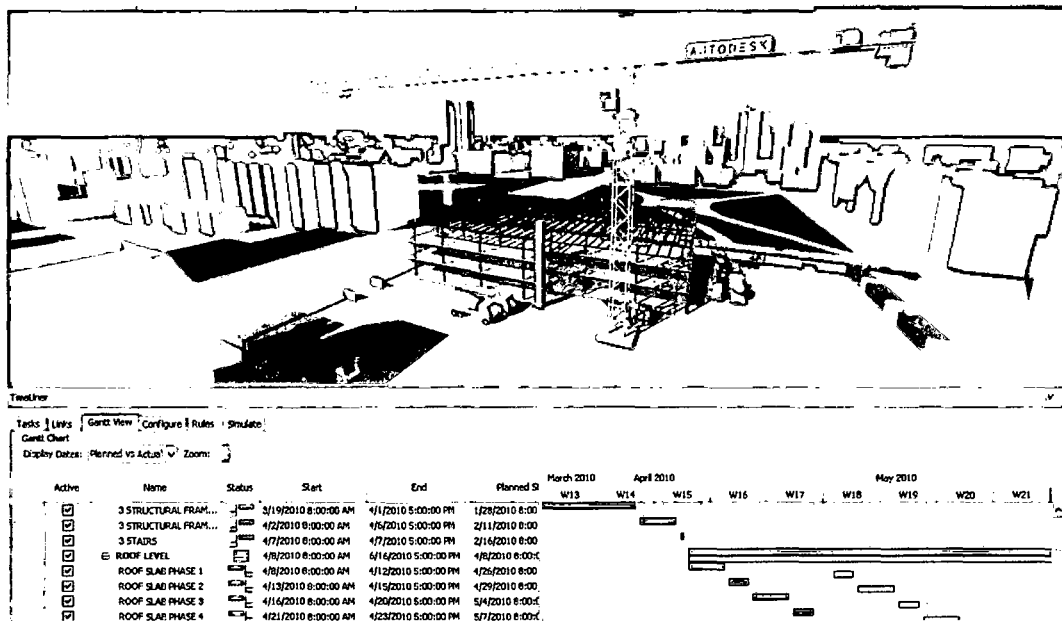


Figura N° 40: Modelo 4D-BIM  
(Fuente: Autodesk 2014).

**d. Modelo 5D-BIM:** Estos modelos permiten:

- Documentación de costos completamente automatizada.
- Cuantificación para soportar el detalle de la estimación de costos.
- Verificaciones de logística y procura.
- Mayor eficiencia y menor cantidad de órdenes de cambio.
- Visualización en tiempo real del modelo y planificación de costos.
- Minimiza los errores propensos en la comprobación manual costos (alejarse de la comprobación basado en planos 2D y papel).
- Análisis avanzado y detallado y coordinación con diseños 3D-BIM.

- Revisión rápida y comprobación cruzada.

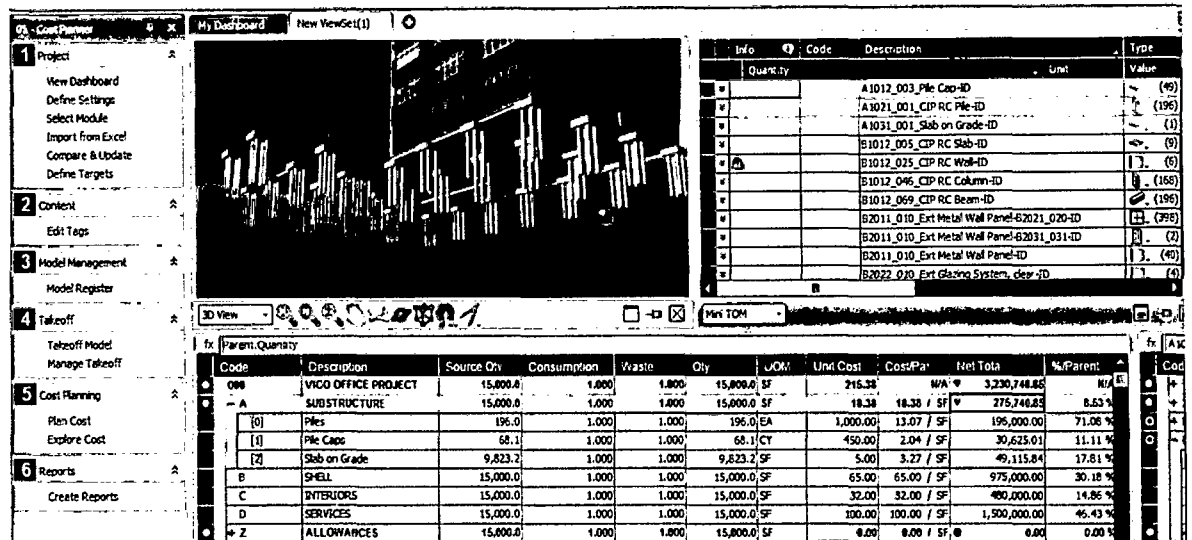


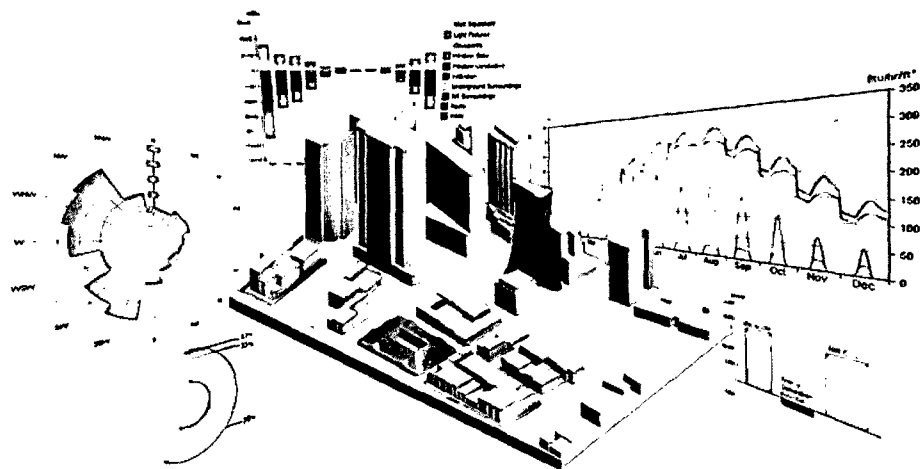
Figura N° 41: Modelo 5D-BIM  
(Fuente: Vicosoftware 2014)

**e. Modelo 6D-BIM:** Estos modelos permiten:

- Estrategias BIM del ciclo de vida,
- BIM As-Builts con toda la información de los componentes de la construcción,
- Datos e información de productos y detalles, especificaciones, datos de garantía, enlaces webs de las fuentes de productos en línea, la información del fabricante y contactos, etc.
- Manuales de O&M BIM incorporados,
- Planes de mantenimiento BIM y soporte técnico,
- Sistemas digitales de control.

**f. Modelo 7D-BIM:** Estos modelos permiten:

- Análisis conceptual y detallado de energía,
- Análisis iluminación diurna,
- Calidad del aire ambiental,
- Desarrollo sustentable del lugar,
- Emplear y diseñar con materiales y elementos prefabricados y sostenibles,
- Conservación y cosecha del agua de lluvia,
- Energías renovables,
- Calefacción pasiva,
- Dinámica de fluidos computarizada, y
- Perseguir la certificación LEED



**Figura N° 42:** Modelo 7D-BIM. Modelamiento y Análisis Green  
 (Fuente: Autodesk 2014)

### 3.2.2.5. Costo objetivo en el Sistema Integrado BLG

El Costo objetivo, es un elemento importante en el concepto de diseño Lean. En el sistema de entrega de proyectos tradicional luego que un proyecto es diseñado, los contratistas pueden competir por la obtención de la buena pro, y el contrato normalmente se inclina por la oferta más baja de los contratistas. En un proyecto convencional tanto el costo y el contenido del proyecto tienen que ser evaluados, y por lo tanto el costo se convierte en un factor que a menudo determina quién se lleva la buena pro del proyecto. El costo objetivo del diseño está cambiando este concepto al revés, comenzando por decir cuál es el presupuesto para el proyecto y luego esperar que los contratistas desarrollen la mejor propuesta económica dentro de ese presupuesto. *"Diseñar hacia un costo objetivo es una práctica de desarrollo de producto que convierte al costo en un criterio de diseño en lugar de un resultado de diseño"* Entonces, el valor del proyecto es lo que está siendo discutido y no el costo, ya que el costo ya está definido. Además, cuando el presupuesto del cliente es conocido anterior al proyecto, todo el equipo es más probable que se comprometan hacia este presupuesto a lo largo de todo el proceso. Aspectos que impactarán al costo total pueden y con frecuencia van a ser discutidos a lo largo del proceso, así que el cliente al final del proyecto no está recibiendo la mala noticia acerca de retrasos o excesos de presupuesto.

BIM tiene algunas características explícitas a través de sus capacidades de análisis 5D que permiten evaluaciones de costos a ser una parte incrustada del desarrollo del diseño. El costo tanto de la alternativa individual, así como de su

impacto en todo el proyecto puede ser realizado, documentado y compartido entre los involucrados del proyecto. Con BIM el impacto del costo puede llegar a ser un elemento integrado en la discusión de diferentes alternativas en un ambiente de trabajo “Sala de Reuniones” o Big Room de acuerdo con el enfoque de diseño basado en modelos.

#### **3.2.2.6. Diseño y construcción sostenible en el Sistema Integrado BLG**

Este aspecto se refiere a crear una cultura responsable con el medio ambiente. El Diseño y Construcción sostenible Green esta rápidamente transformando el diseño y la industria de la construcción en todo el mundo. Apoyándose en las herramientas BIM y complementándose con los principios Lean.

El diseño sostenible puede ayudar a los equipos de diseño de proyectos lograr una variedad de soluciones y resultados de productos sostenibles. BIM puede ayudar a la implementación de Green en los proyectos de construcción y además intenta concientizar a los propietarios y a los equipos de diseño de proyectos a ver el potencial de Green y en general la implementación del Sistema Integrado BLG. El Diseño y Construcción Sostenible va a ser usado mayormente para simular un análisis de toda la construcción, optimizar el consumo de energía, y trabajar para la creación de diseños en carbono neutral en fases tempranas del proceso como la fase de concepción y diseño.

Los arquitectos e ingenieros actualmente juegan un papel muy importante en impulsar la adopción del diseño y construcción sostenible de los proyectos, pero creando más demanda para la inversión mediante dos factores claves:

- Promover mayor educación acerca de cómo BLG ahorra tiempo y dinero en el diseño y en los procesos de construcción, y un incremento en la habilidad para usar eficientemente BLG durante la fase de operación y mantenimiento de una construcción sostenible, más que sólo durante el diseño y construcción.
- El uso incrementado de BLG entre los arquitectos e ingenieros, constructores, como herramienta vital para el diseño sostenible, que permita a los usuarios realizar varias alternativas de diseño y su respectivo análisis y modelamiento del impacto del funcionamiento de las construcciones Green.



La siguiente generación de las herramientas BIM van a tener un increíble importancia en el futuro para asegurar la industria de la construcción sea más productiva y verde o sostenible.

Finalmente, el concepto sostenible debe extenderse más allá del ahorro de energía y agua, para que se dé un enfoque sostenible, involucra la incorporación de la naturaleza tanto como sea posible dentro de la construcción pero desde la concepción del proyecto, enfrentando los obstáculos actuales:

- Desconocimiento del diseño sostenible y por lo tanto poca demanda de los propietarios.
- Paradigma de la construcción de que al implementar este modelo de diseño es muy complicado y costoso.
- Falta de la disponibilidad de herramientas BIM interoperables para la funcionalidad requerida al implementar Green.
- Demanda de proyectistas con experiencia en proyectos Green.
- Hacer el lugar de la construcción segura y sostenible.
- Falta de la toma de conciencia ante el impacto ambiental.

### **3.2.2.7. Transparencia de procesos en el Sistema Integrado BLG**

La transparencia de procesos como lo indica Koskela (1992), permitirá identificar errores e incrementa la motivación por implementar mejoras, ya en su falta induce al error y opaca la visibilidad de los errores en el proceso. La transparencia de procesos facilitara un fácil control de los procesos y su mejor continua. Esto se puede lograr haciendo el proceso directamente observable a través de medios organizativos o físicos, medidas, y la exhibición pública de la información, prácticamente mediante reuniones de diseño en un ambiente colaborativo planteado como “Sala de Reuniones” o “Big Room” incorporando modelos BIM.

Esta práctica puede ser lograda mediante:

- Reuniones colaborativas de diseño en fases tempranas de diseño en una sala de reuniones con los principales involucrados (Cliente-Consultor-Constructor).
- Información pública de los flujos de información a través de modelos, para la participación activa y critica de los involucrados.

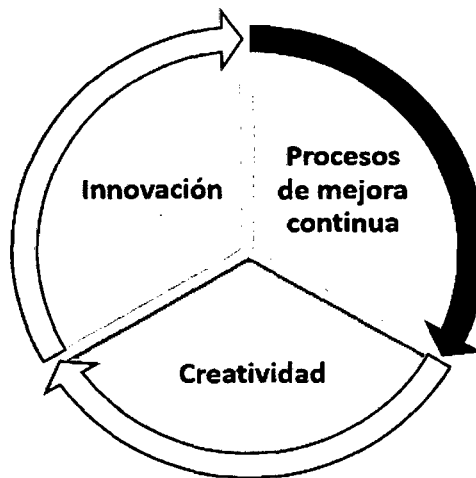
- Uso de modelos BIM virtuales interoperables y multidisciplinarios para informar clara y concisamente el diseño y plan de construcción.

Un Sistema BLG, permitirá que la información en un proyecto sea tan clara, que no dé lugar a dudas, sino más bien a ideas que mejoren el proyecto involucrando no solamente al proyectista sino de todos los involucrados (stakeholders) del proyecto.

### **3.2.2.8. Creatividad, innovación y procesos de mejora continua en el Sistema Integrado BLG**

El camino de la creatividad, innovación, y los procesos de la mejora continua, son aspectos muy importantes de la producción del diseño que postulan en esta investigación. La creatividad o pensamiento creativo, es la generación de nuevas ideas o conceptos, o de nuevas asociaciones entre ideas y conceptos conocidos, que habitualmente producen soluciones originales. Innovación significa literalmente "*novedad*" o "*renovación*" (*BIM, Lean, y Green*), el concepto se utiliza de manera específica en la construcción en el sentido de nuevas propuestas, inventos y su implementación económica.

En el sentido estricto, en cambio, se dice que de las ideas sólo pueden resultar innovaciones luego de que ellas se implementan como nuevos productos, servicios o procedimientos, que realmente encuentran una aplicación exitosa, imponiéndose en el mercado a través de la difusión (Sistema Integrado BLG). El proceso de mejora continua es un concepto que pretende mejorar los productos, servicios, y procesos. Es una actitud general que debe ser la base para asegurar la estabilización del proceso y la posibilidad de mejora. Algunas de las herramientas utilizadas incluyen las acciones correctivas, preventivas y el análisis de la satisfacción en los miembros o clientes (Figura N°43). Estos son los pilares sobre los cuales descansa el Sistema Integral BLG planteado en esta investigación.



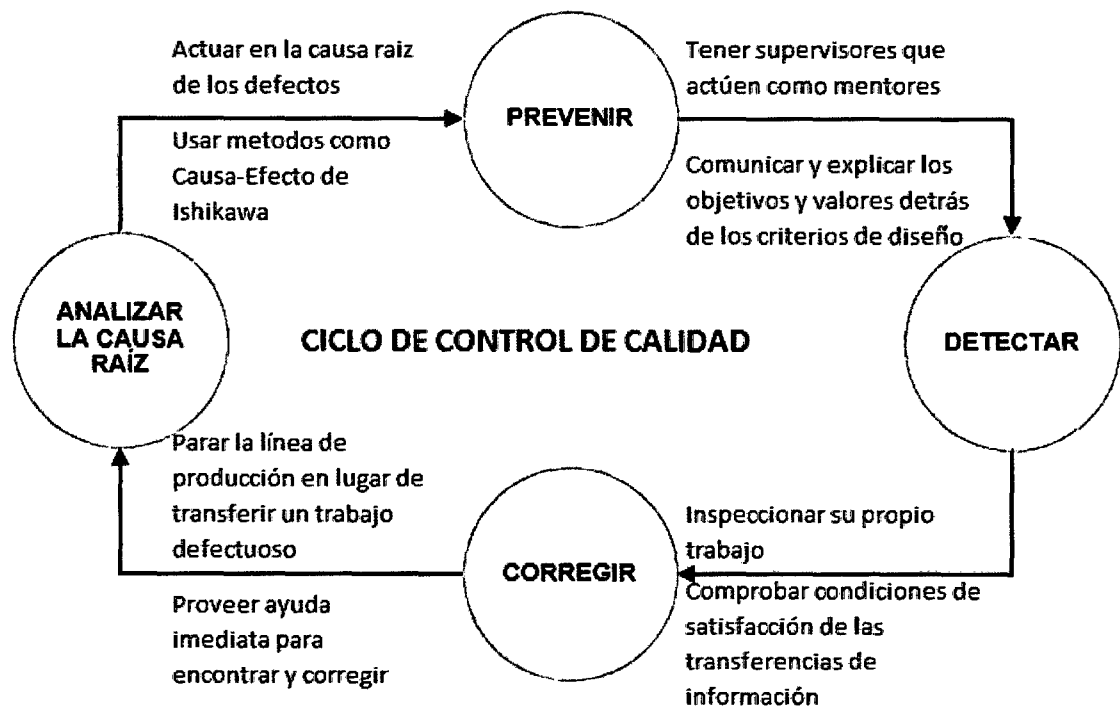
**Figura N° 43:** Pilares del Sistema Integrado BLG

El aspecto de estar tratando constantemente hacer las cosas mejor, es la parte más esencial de la filosofía Lean, y también el aspecto más difícil de explicar, ya que no existe ninguna herramienta tangible o método que se utilizará para la creación como un aspecto aislado. Un ambiente de aprendizaje es algo que viene de las personas involucradas en un proyecto. Se trata de querer saber más para hacer las cosas mejor y con ganas de compartir el conocimiento, en lugar de tener miedo de compartirlo.

Los errores en cierto grado son aceptados, porque a través de los errores, el sistema está aprendiendo y se pueden plantear mejoras así como ayuda a desarrollar los conceptos de creatividad e innovación. A veces, en la gestión según el enfoque Lean se permite incluso imponer una ruptura mediante la colocación de un "elemento defectuoso" en la línea de producción para saber cuándo y cómo se detecta el error, con el fin de que los trabajadores sean comprometidos y preocupados por el producto final. Cuando un trabajador busca o descubre un error, él o ella se animan a cerrar toda la línea de producción y decir *"me equivoqué o he encontrado un error"*, para corregir el error lo antes posible, y para minimizar la cantidad de artículos defectuosos del sistema. Por ejemplo en la Producción de la compañía de automóviles Toyota, las personas que comete errores están siendo recompensados, porque son el uno de las pruebas del sistema y realmente asegurarse de que el producto final es tan bueno como se puede conseguir. El beneficio de crear un ambiente donde los empleados no tienen miedo de cometer errores, es que más innovación está teniendo lugar, porque la gente no tiene miedo de perder sus puestos de trabajo.

En la construcción, la forma en que las mejoras incrementales se han estructurado "*Ciclo de control de Calidad*". Aquí el enfoque es que un sistema o método tiene que ser desarrollado para prevenir que los errores sucedan. Cuando un error ocurre, es importante que se detecte rápida y tempranamente para ser capaz de corregirlo y reducir al mínimo la influencia negativa de éste. Cuando se detecta que es importante analizar la(s) causa(s) raíces que lo provocaron para evitar que se produzca de nuevo.

El diseño consiste en tomar decisiones acerca de algo que se va a realizar. Por tanto, una manera de mejorar el diseño es encontrar formas de mejorar el proceso de toma de decisiones.



**Figura N° 44:** Ciclo de control de calidad.

(Fuente: Tjell 2010)

El Ciclo Deming es otra de las tantas metodologías que aplica la lógica y hace las cosas de forma ordenada y correcta. Su uso no se limita exclusivamente a la implantación de la mejora continua, sino que se puede utilizar, lógicamente, en una gran variedad de situaciones y actividades para la mejora de procesos.

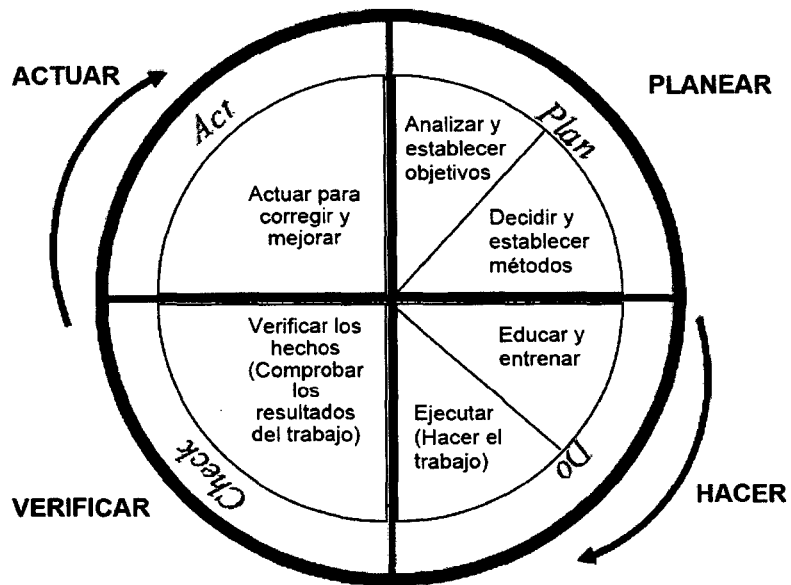


Figura N° 45: Ciclo de Deming  
(Fuente: Tjell 2010)

### 3.2.2.9. Constructabilidad en el Sistema Integrado BLG

Esta relación se logra ahora gracias a que es posible simular el flujo de procesos de las actividades de la construcción en la fase de diseño haciendo el uso de modelos virtuales (3D-BIM, 4D-BIM y 5D-BIM), de tal manera que se tenga una visualización de conjunto. El control es eficaz las decisiones son efectivas (Vicosoftware 2014).

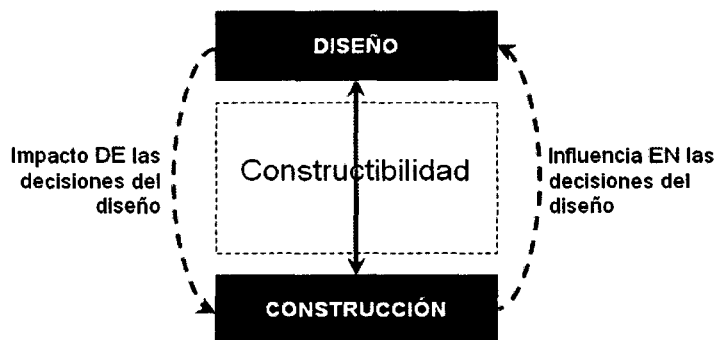


Figura N° 46: Constructabilidad como elemento de unión entre la fase de diseño y construcción.

Esta sinergia es debida a que los aspectos del sistema integrado BLG comparten muchos fundamentos en común, como por ejemplo:

- *Integración*: La Constructabilidad debe de ser una parte integral del plan del proyecto, y esto es logrado según la relación de "integración" del sistema BLG
- *Conocimiento constructivo*: El plan del proyecto debe contar con conocimiento y experiencia constructiva.

- *Equipo experto*: El equipo debe de ser experto y de composición apropiada.
- *Objetivos comunes*: La constructabilidad aumenta cuando el equipo consigue el entendimiento del cliente y los objetivos del proyecto.
- *Recursos disponibles*: La tecnología de la solución diseñada debe de ser contrastada con los recursos disponibles.
- *Factores externos*: Pueden afectar al coste y/o programa del proyecto.
- *Programa*: El programa global del proyecto debe ser realista, sensible a la construcción y tener el compromiso del equipo del proyecto.
- *Métodos constructivos*: El proyecto de diseño debe de considerar el método constructivo a adoptar.
- *Asequible*: La constructabilidad será mayor si se tiene en cuenta una construcción asequible en la fase de diseño y de construcción.
- *Especificaciones*: Se aumenta la constructabilidad cuando se considera la eficiencia constructiva en su desarrollo.
- *Innovaciones constructivas*: Su uso aumentará la constructabilidad.
- *Retroalimentación*: Se aumenta la constructabilidad si el equipo realiza un análisis de post-construcción.

### **3.2.2.10. Gestión del diseño basado en competencias en el Sistema Integrado BLG**

La Gestión del diseño basado en competencias, es un enfoque holístico, basada en la integración total frente a un concepto o situación de la gestión de proyectos de construcción que propone un aprendizaje basado en desarrollo de las competencias, impartir la construcción de un Sistema de Educación y Desarrollo competitivo que aumente el conocimiento y lograr la implementación de las competencias de los miembros del equipo de diseño. *La única manera de conservar la ventaja competitiva es asegurarse de que su organización aprenda con mayor rapidez que los demás.* Este aspecto puede relacionarse con el aspecto de innovación, creatividad y el proceso de mejora continua, ya que ambos aspectos imparten un aprendizaje continuo en la industria de la construcción.

Este desafío no está lejos del alcance de los equipos de diseño, sino más cerca de lo que comúnmente nos imaginamos, ya que está va a empezar en la mente

de cada involucrado en el proceso como un cambio de cultura ante la manera como estamos aprendiendo. Para lograr este aspecto significa:

- Plantear una Educación de la Gestión de Proyectos de Construcción basada en competencias (habilidades conocimientos, experiencias, hábitos, actitud, métodos, técnicas y herramientas) que apoyan la implementación de nuevos enfoques de gestión para ser implantados desde la fase de diseño de los proyectos de construcción.
- Creación de una cultura de cambio en los involucrados que identifique errores y deficiencias para mejorarlas a través de la innovación, creatividad y mejora continua.

Finalmente, cuando se habla de competencias en la gestión de proyectos estas implican el desarrollo de:

- **Conocimientos (conocer):** de los hechos al entendimiento conceptual formación, educación, actitud y comportamiento demostrados en el desempeño de la profesión. Conocer métodos, técnicas y herramientas (TIC) que puedan ayudar a un mejor desarrollo del diseño.
- **Habilidades (saber):** del seguimiento de escritos a resolución de problemas complejos.
- **Hábitos (hacer):** de la posibilidad de actuar a las acciones.
- **Actitudes (querer):** de estar abierto a tener una visión del mundo.
- **Experiencias (obtener):** de simplemente reaccionar a ser proactivo en aplicación de las mejores prácticas, evidenciadas conforme a los estándares definidos.
- **Métodos, técnicas y herramientas** que soporten la aplicación de los conocimientos y experiencias.

### 3.2.3. El Sistema Integrado BLG

*El Sistema Integrado BLG* puede llamarse como tal, dado que cumple con los requisitos necesarios para llevar acabo los mecanismos de un sistema, ya que su estructura realiza relaciones de interacción entre los diferentes componentes del sistema (BIM, Lean y Green) y existen mecanismos de procesos que plantean innovación, creatividad, y mejora continua en la fase de diseño de los proyectos

de construcción. La gestión y ejecución integrada del proyecto desde la perspectiva BLG, es un enfoque de la ejecución de proyectos que integra personas, sistemas, estructuras y prácticas empresariales en un proceso que aprovecha colaborativamente el talento y los opiniones de todos los involucrados para optimizar los resultados del proyecto, aumentar el valor para el cliente, reducir el desperdicio y maximizar la eficiencia en todas las fases de concepción, diseño, construcción, operación y mantenimiento.

El Sistema Integrado BLG se basa en la colaboración, que a su vez se basa en la confianza, efectivamente estructurada, insta a las partes a centrarse en los resultados del proyecto en lugar de sus objetivos individuales. Sin la colaboración basada en la confianza, el Sistema Integrado BLG se tambalearía y los participantes se mantendrían en las relaciones adversas y antagónicas que plagan la industria de la construcción hoy en día. BLG promete mejores resultados, pero estos no van a cambiar a menos que las personas responsables de la entrega de los resultados cambien también.

### **Fundamentos**

Los fundamentos del Sistema Integrado BLG, apuntan a que sistema propuesto no sea reactivo en un punto en el ciclo de vida, con mecanismos que hagan de la innovación, la creatividad y la mejora continua como una de las herramientas claves para la mejora de procesos, no solamente los del diseño sino todos los procesos del ciclo de vida.

Los fundamentos del Sistema Integrado BLG, se pueden aplicar a una amplia variedad de acuerdos contractuales. Los equipos BLG pueden incluir miembros que van más allá de la tríada básica: propietario, proyectista y constructor. En todos los casos, los proyectos integrados se distinguen de forma única por la colaboración altamente eficaz entre el propietario, el equipo de diseñadores y el contratista principal, que comienzan a colaborar al principio del diseño y continúan a través de todo el ciclo de vida del proyecto.



Tabla N° 25: Fundamentos del Sistema Integrado BLG

FUNDAMENTO	FUNCIONALIDAD
<b>Confianza</b>	El cliente, el equipo de consultores/proyectistas, especialistas independientes, el constructor principal, los subcontratistas y los proveedores entienden el valor de la colaboración y se comprometen a trabajar en equipo en beneficio mutuo del proyecto.
<b>Beneficio mutuo</b>	Todos los involucrados en el proceso se benefician de la adopción de BLG, debido a que el proceso integrado requiere la participación temprana de más partes interesadas, las estructuras de compensación de BLG reconocen y premian la participación temprana. La compensación se basa en el valor añadido para la organización y premia las formas de pensar basadas en "lo que es mejor para el proyecto".
<b>Innovación y creatividad y proceso de mejora continua</b>	La innovación y creatividad es estimulada cuando las ideas se intercambian libremente entre todos los participantes. En ambiente BLG, las ideas son juzgadas por sus méritos, y no en función del rol o estatus de su autor. Las decisiones claves son evaluadas por el equipo del proyecto y, adoptadas por unanimidad, considerando todas las opiniones.
<b>La participación y toma de decisiones temprana</b>	Los principales participantes están involucrados desde el momento más temprano y práctico posible. La toma de decisiones mejora mediante la afluencia de conocimientos y experiencia de todos los participantes claves. Su conocimiento y experiencia combinado es más potente durante las primeras etapas, donde las decisiones informadas tienen el mayor impacto.
<b>Definición temprana de objetivos y estrategias</b>	Los objetivos del proyecto se han desarrollado en una fase temprana y han sido acordados y respetados por todos los participantes. La perspicacia de cada participante se valora en una cultura que promueve e impulsa la innovación y el rendimiento excepcional, manteniendo los resultados del proyecto en el centro por encima de los objetivos y valores individuales.
<b>Planificación intensificada</b>	El enfoque BLG reconoce que un mayor esfuerzo en la planificación da como resultado una mayor eficiencia y ahorro durante la ejecución del proyecto. Así, la idea clave del enfoque BLG aparte de reducir el esfuerzo de diseño, es mejorar en gran medida los resultados del diseño, racionalizando y reduciendo el esfuerzo de construcción, que es mucho más caro
<b>Comunicación, colaboración y transparencia</b>	El enfoque BLG en el rendimiento del equipo se basa en la comunicación, colaboración y transparencia abierta, directa y honesta entre todos los participantes. Las responsabilidades están claramente definidas en una cultura de "no identificar culpables" que lleva a la identificación y solución de los problemas más que a la determinación de los responsables. Los litigios se reconocen cuando ocurren y se resuelven rápidamente. La información es compartida, todos deben conocer lo que se está haciendo.
<b>Selección de tecnología</b>	Las tecnologías de vanguardia se especifican al inicio del proyecto para maximizar la funcionalidad, la generalidad y la interoperabilidad. El intercambio de datos de manera abierta e interoperable basado en estructuras de datos disciplinadas y transparentes es esencial para apoyar el sistema integrado BLG. Debido a que los estándares abiertos permiten mejores comunicaciones entre todos los participantes, la tecnología que cumple estos estándares se utiliza siempre que sea posible.
<b>Organización y liderazgo</b>	El equipo del proyecto es una organización en sí misma y todos sus miembros están comprometidos con los objetivos y valores del equipo. El liderazgo se adopta por el miembro del equipo que está más capacitado. Los roles específicos se determinan necesariamente sobre una base de proyecto por proyecto, claramente definidos, sin crear barreras artificiales que enfrían la comunicación abierta y la adopción de riesgos
<b>Gestión de proyectos de Construcción basada en competencias</b>	A través de La Educación de la Gestión de Proyectos de Construcción basada en "competencias", que significa impulsar un cambio en la cultura de las organizaciones e instituciones públicas y privadas como las universidades, hacia un aprendizaje continuo en base a competencias (habilidades conocimientos, experiencias, hábitos, actitud, métodos, técnicas y herramientas).

### **3.2.4. El Ambiente BLG**

La parte más importante acerca de plantear un sistema integrado que actué a lo largo del ciclo de vida de un proyecto, principalmente en las fases de concepción y diseño, es que se puede hacer mejor las cosas, mejorando gradualmente hacia la perfección, a pesar de que no existe tal cosa como la perfección, ya que siempre habrá algo que se pueda hacer mejor. Las herramientas tangibles y los métodos que se presentan en este capítulo son aspectos que ayudarán a hacer mejor las cosas y contribuir a crear un entorno BLG, lo que significa crear un ambiente donde se impulse la creatividad, innovación, y el proceso de aprendizaje continuo. Además un ambiente BLG permitirá la colaboración, comunicación, y transparencia entre los principales involucrados en el proceso.

### **3.2.5. Equipo de diseño BLG**

Los equipos de trabajo en los proyectos están beneficiándose de las comunicaciones cada vez más rápidas, computadoras móviles más pequeñas y potentes, herramientas de modelamiento digitales complejas y un cambio transformador hacia los procesos de entrega de proyectos integrados, basado en BLG todo de los cuales están generando resultados positivos, eficientes e inimaginables beneficios, como: Incrementar la productividad, calidad, eficiencia, eficacia, y seguridad. Cumpliendo los aspectos claves como: Minimizar errores y omisiones, menos retrabajos y costos más bajos en la construcción y formando una cultura ambiental responsable. La clave del éxito de un sistema BLG, es la creación de un equipo que esté comprometido con los procesos de colaboración y cuyos miembros sean capaces de trabajar juntos de manera efectiva desde etapas tempranas del proyecto. Las funciones que deben desempeñar los miembros del equipo BLG para lograr el éxito del proyecto son las siguientes:

- Identificar en el momento más temprano posible los roles de los participantes que son más importantes para el proyecto.
- Precalificar a los miembros (individuos y empresas) del equipo.
- Tener en cuenta los intereses comunes y buscar la participación de partes adicionales seleccionadas, como funcionarios de la administración, empresas locales de servicios públicos, compañías de seguros y otras partes interesadas.

- Definir de manera mutua y comprensible los valores, intereses, metas y objetivos de los actores participantes.
- Identificar la estructura organizativa y de negocio que mejor se adapte al sistema BLG de manera que sea coherente con las necesidades y limitaciones de los participantes. La elección no debe estar sujeta estrictamente a los métodos tradicionales de entrega de proyectos, sino que debe adaptarse de forma flexible al proyecto.
- Desarrollar acuerdos del proyecto para definir las funciones y responsabilidades de los participantes.

El sistema integrado BLG trata de unir la triada más común en los proyectos de construcción, caracterizado por:

#### **a. El Cliente/Propietario en el Sistema Integrado BLG**

En el sistema BLG, el cliente/propietario asume un papel mucho más activo en la evaluación e influencia de las opciones de diseño desde etapas más tempranas que lo habitual en un proyecto tradicional, quienes ayudarán a resolver los problemas que se plantean en el proyecto, ya que como miembro activo del órgano de decisión, el cliente estará involucrado en más detalles relacionados con el proyecto y la obligación de actuar con rapidez en este sentido para que el flujo de procesos fluya en el proyecto.

#### **b. Consultores/proyectistas en el Sistema Integrado BLG**

Dado que el sistema BLG se basa principalmente en un proceso de diseño exhaustivo y minucioso que incorpora la entrada y la participación de otros miembros del equipo, incluyendo constructores, durante la fase de diseño. Por lo tanto, el proceso de diseño adquiere una mayor importancia, ya que los demás miembros del equipo llegan a entender cómo funciona el proyecto integrado y cómo va a ser completado. Como miembro del equipo, el diseñador o proyectista está necesariamente implicado en la definición de los procesos de diseño que se aplicarán al proyecto.

Un proyecto BLG permitirá esfuerzos previos a la construcción más amplios, relacionados con la identificación y solución de conflictos potenciales de diseño que tradicionalmente no se descubren hasta la fase de ejecución. Como

resultado, se requiere que los diseñadores lleven a cabo en una etapa anterior, determinados servicios que tradicionalmente se llevan a cabo más adelante en el proyecto. El avance resultante de los servicios de más partes interesadas aumenta potencialmente el volumen de los servicios prestados en la fase de diseño. Interacciones frecuentes con otros miembros del equipo durante la fase de diseño requieren que los diseñadores ofrezcan numerosas iteraciones de sus documentos de diseño a otros miembros del equipo para su entrada y evaluación. Estas interacciones derivan en una responsabilidad adicional en relación tanto a los documentos entregados a otros miembros del equipo como a los recibidos.

### **c. Los constructores en el Sistema Integrado BLG**

La naturaleza del alcance de los servicios del constructor se ve afectada principalmente en BLG por su pronta participación en el proyecto y su participación en el equipo integrado. En concreto, aumenta el papel del constructor de una manera significativa durante las primeras etapas de diseño, en el que los constructores ahora prestan servicios estratégicos tales como programación de la producción, estimación del costo, ajuste de las fases, evaluación de los sistemas, revisiones de constructabilidad, y programas tempranos de compras y adquisiciones. Los constructores se introducen en las fases iniciales del proyecto para aportar su experiencia y participar plenamente en el diseño del proyecto. El resultado es un mayor papel a la hora de comentar e influir en la innovación del diseño.

Los acuerdos del proyecto deben estar sincronizados para asegurar que las funciones y responsabilidades de las partes se definan de forma idéntica en todos los acuerdos y sean compatibles con los modelos organizativos y de negocio acordados. Las principales disposiciones relativas a la indemnización, la obligación y la asignación de riesgos deben estar claramente definidas y deben alentar la comunicación, la colaboración, y la transparencia.

#### **3.2.6. Implementación del Sistema Integrado BLG en la construcción**

Para la implementación exitosa del Sistema Integrado BLG, se deben considerar aspectos como; (i) un nuevo enfoque de gestión, (ii) reconfiguración contractual, (iii) cultura, y (iv) regulaciones e intervención del estado, adopción de

herramientas tecnológicas TICs, deben ser considerados muy seriamente en los proyectos de construcción hoy en día, dado su impacto en términos de mejoras, en cómo los principales involucrados pueden hacer las cosas mejor, trabajar en equipo, tomar decisiones correctas, y tomar mayor conciencia acerca del impacto ambiental en la industria de la construcción. Como se indicó en los Capítulos I y II, el sistema de entrega de proyectos necesita un cambio urgente, y los cambios deben ser referentes a la forma de comportamiento y enfoque de los involucrados hacia los procesos de la producción del diseño. Las dos formas de contratación descritas en el Capítulo II (véase secciones 2.2.8.5 y 2.2.8.6.), son comúnmente aplicadas en los enfoques convencionales hoy en día en los proyectos de construcción privados y públicos y necesita una revisión para considerar una reconfiguración, debido a que el sistema es inadecuado y obsoleto hoy en día y su desempeño va a continuar mermando conforme los proyectos se tornan más inciertos, complejos y presionados por una entrega en un menor tiempo que lo convencional.

Para hacer posible el desafío de una implementación eficiente mediante un nuevo sistema integral de entrega de proyectos, es necesario que algunas cosas mejoren y/o cambien y estos cambios y mejoras tienen que ser referente a:

- (i) Nuevo enfoque de gestión integral de la construcción, con nuevas metodologías, métodos y herramientas que apoyan la implementación de BLG desde la fase de concepción, tomando seriamente los criterios del diseño y construcción sostenible.
- (ii) Reconfiguración contractual, para integrar los procesos de producción, que implica unir dos culturas diferentes pre-construcción y construcción.
- (iii) Creación de una cultura que facilite, que las personas sostengan la implementación de este sistema integrado BLG.

La Figura N°47 muestra un modelo de implementación BLG a lo largo del ciclo de vida del proyecto o entre proyectos, enfatizando los componentes de innovación, creatividad, y mejora continua para el aprendizaje basado en competencias.

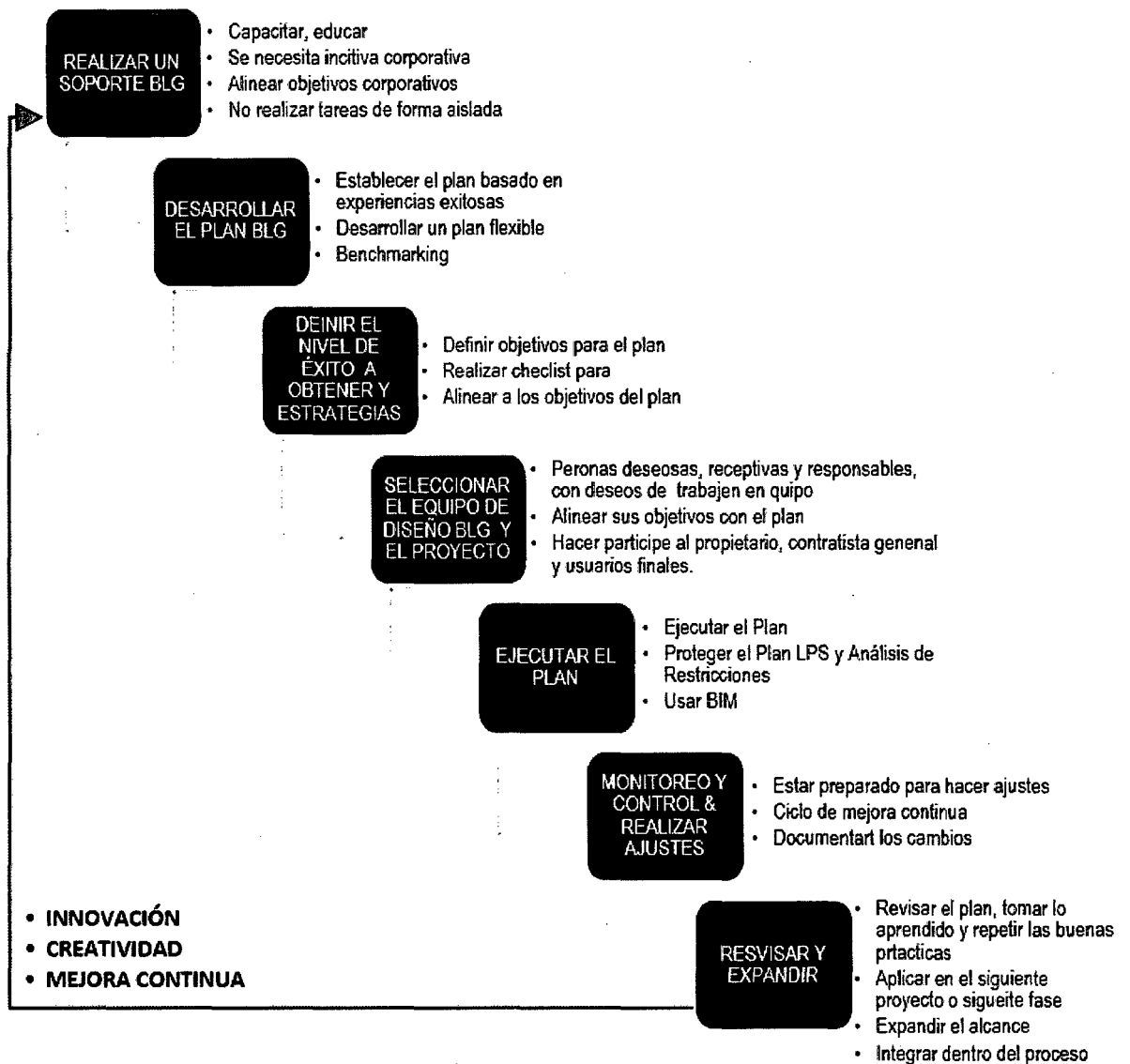


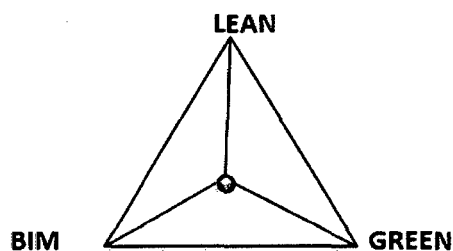
Figura N° 47: Implementacion del Sitema Integrado BLG, en proyectos o fases

### 3.2.7. El Sistema Integrado BLG como nuevo enfoque de gestión

El nuevo enfoque de gestión integral está basado en los principios de la filosofía Lean, fundamentos de la metodología BIM y los criterios sostenibles Green en conjunto con los tres aspectos fundamentales de la filosofía Lean; transformación, flujo, y valor (TFV) los cuales en conjunto van a permitir una implementación realmente exitosa del Sistema Integrado BLG. Esta idealización es gracias a que Lean va a contribuir a crear discusiones correctas en tiempos correctos, con el fin de realizar un mejor diseño, sin perdidas (Lean Design) agregando valor al producto. BIM ofrece la capacidad de modelación y visualización e integración de la información través de modelos inteligentes e interoperables para una correcta toma de decisiones realizando un “*diseño y construcción virtual*”, logrando así

simular el flujo de los proceso de ejecución antes de la fase construcción, que son claves en esta fase. Además, BIM y Lean pueden crear una plataforma donde los aspectos de sostenibilidad Green pueden ser considerados y discutidos en una Sala de Reuniones o Big Room desde etapas tempranas del ciclo de vida, para que así las capacidades de estos tres componentes del sistema generen mecanismos que resulten en mejoras y cambios en los procesos de diseño y sus beneficios salgan a la luz, mejorando íntegramente todos los procesos de las actividades en el ciclo de vida de los proyectos de la construcción. Este nuevo enfoque va a ser diferente de los anteriores tipos de gestión, ya que integra tres aspectos poderosos de la gestión de proyectos (BIM, Lean, y Green) que tradicionalmente se han aplicado independiente, así como también considera los tres aspectos de la gestión Lean (*transformación, flujo, y valor*).

En la Figura N°48 los tres aspectos de gestión se enumeran en un triángulo para explicar su conexión. La Figura N°48 ilustra que no es posible aplicar todos los tres tipos de gestión al 100% ya que si el punto habría estado en la esquina donde dice Lean, entonces la gestión aplicada solamente dependería de la gestión basada en Lean. Si el punto hubiera estado en la línea opuesta a la esquina donde dice Green, entonces la gestión sólo sería aplicada sobre Lean y BIM. Esta manera de leer el diagrama es igual para todos los tres aspectos de la gestión integral. Esto significa que el tipo de gestión que se representa en la Figura N°48 es dependiente del manejo que el equipo de diseño crea más conveniente y considerando los requerimientos del cliente; pero la idea es que se debe considere un balance entre los tres aspectos en la fase de diseño en los proyectos de construcción.



**Figura N° 48:** La gestión Integral BLG

### 3.2.8. Reconfiguración contractual para la implementación del Sistema Integrado BLG

La consideración de realizar una revisión y reconfiguración en el actual sistema de entrega de proyectos, se fundamenta en las repetitivas deficiencias detalladas en el Capítulo III que ocurren proyecto tras proyecto. Esta realidad no sólo se observa en el país sino que es un problema mundial, pero existen algunos países como los Estados Unidos, El Reino Unido, entre otros, que están alejándose de los sistemas obsoletos de entrega de proyectos como el Diseño-Licitación-Construcción. El mayor desafío, para la realización de esto, es lograr la unión de dos culturas muy diferentes pre-construcción y construcción que originan problemas como la fragmentación y segmentación de procesos y como consecuencia se tiene productos de diseño y construcción deficientes, cuyo impacto en el costo, tiempo, y calidad son alarmantes.

Un contrato debe ser firmado entre el propietario, el consultor, y el constructor general. Las partes quienes firmen este acuerdo inicialmente tiene tres cosas que deben hacer. Primero, tienen que crear un grupo base para representar los intereses de las partes. Segundo, deben contratar a especialistas, profesionales, y otros involucrados con quienes van a formar el equipo. Tercero, llevar un estricto control del sistema de producción de diseño mediante las reuniones de diseño del realizadas semanalmente en una Sala de Reuniones, donde se tome las mejores decisiones de diseño apoyados en herramientas TIC para visualizar y evaluar distintas alternativas de diseño en base a modelos inteligentes e interoperables. Entonces luego se puede hablar de mejoras en la construcción y en la fase de operación y mantenimiento que hoy en día se ven grandemente afectadas por diseños deficientes, debido a un sistema de entrega de proyectos que no ve sus propios defectos, no abraza nuevas ideas, y no impulsa la invocación, creatividad, procesos de mejora continua, y más generalmente el concepto de valor.

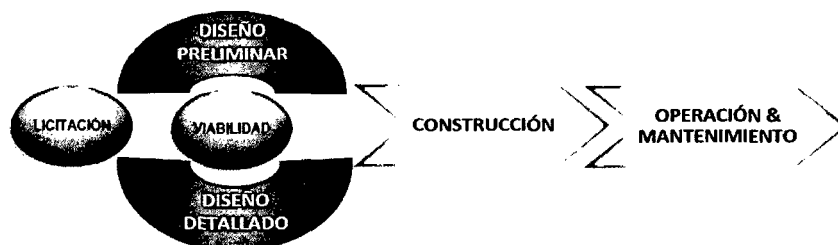


Figura N° 49: Sistema semi-lineal de entrega de proyectos



Plantear una reconfiguración contractual según el enfoque del sistema Integrado BLG va a permitir un alto grado de utilización de las potencialidades de los aspectos BIM, Lean, y Green comparado con las contrataciones contractuales actuales. Esta situación puede ser observada en la Figura N°49, que sugiere que los mayores esfuerzos por optimizar y compatibilizar el diseño y sus documentos deben surgir en la etapa de diseño, puesto que es en esta etapa donde hay un mayor control sobre cualquier cambio que pueda surgir en el proyecto, representando consecuentemente un costo mucho menor.

### **3.2.9. Cambio de cultura para la implementación del Sistema Integrado BLG**

Este es un desafío aun mayor, dado que se intenta cambiar la mentalidad de cada involucrado en el proceso de diseño y aún más general a la sociedad en conjunto. Es necesario impulsar un cambio en la cultura de las personas, organizaciones, y especialmente en las universidades a través de la Educación de la Gestión Integral de Proyectos de Construcción, ya que es allí donde se gestan los futuros responsables directos del diseño y ejecución de los proyectos de construcción en el país, no solamente para lograr la adopción de nuevos enfoques de gestión que integre criterios de diseño y construcción sostenibles, sino para crear una mentalidad autocrítica, que busque resultados mejores a través de la innovación, la creatividad y haciendo uso efectivo de los procesos de mejora continua.

### **3.2.10. Regulaciones e intervenciones del estado para la implementación del Sistema Integrado BLG**

Es necesaria la intervención de las regulaciones y la intervención del estado, replanteadas para asegurar una reconfiguración contractual para permitir que los cambios sucedan. Por lo tanto el rol del estado en los proyectos tienen un alto nivel de influencia y muchas veces, las personas necesitan regulaciones de alto nivel para recién hacer mejor las cosas. Así pues, para una exitosa implementación del Sistema Integrado BLG, va a estar apoyada en las regulaciones de estado (Figura N°50).

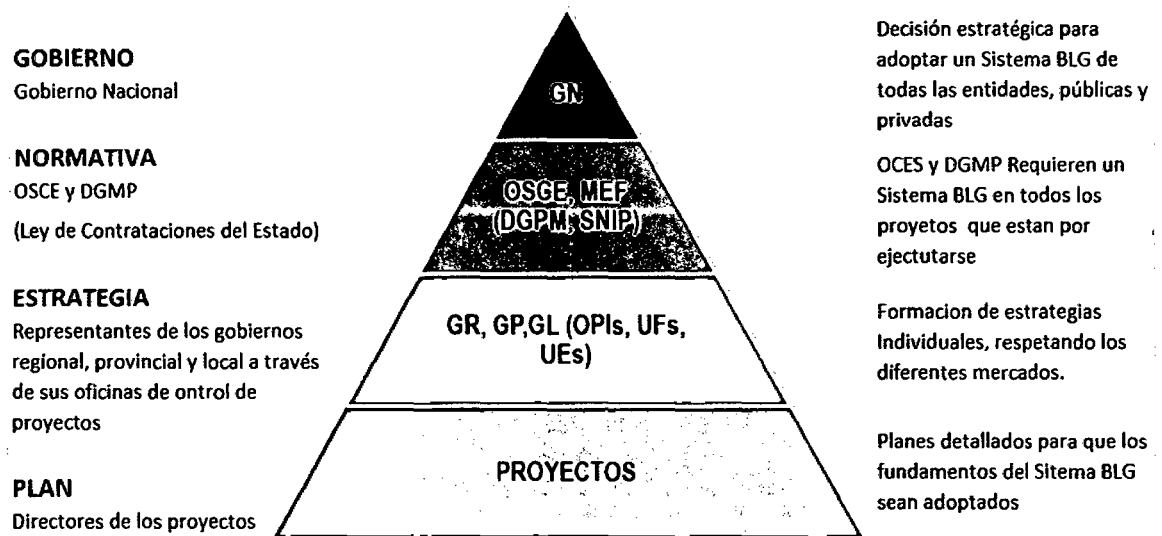


Figura N° 50: Implementación BIM y Regulaciones de Estado

### 3.2.11. Adopción de herramientas tecnologías TIC en el Sistema Integrado BLG

La tecnología será fundamental en los avances de la implementación del sistema BLG en la construcción. Los ordenadores han jugado un papel clave en la mejora de rendimiento del proyecto desde hace muchos años por el aumento de la velocidad, la precisión y cantidad de datos que pueden ser procesados. El nuevo software está siendo constantemente desarrollado que puede mejorar el enfoque de los principios, prácticas y paradigmas en la construcción, tales como la construcción sin pérdidas. La tecnología no sólo hace que los principios Lean más posible, sino más fáciles de transportar, así, con ordenadores portátiles y otras herramientas de comunicación. La exitosa implementación de BLG depende de varios aspectos tales como, software, hardware, conocimientos, educación, motivación, etc.

Como se estableció en la sección anterior el desarrollo de la metodología BIM ha estado históricamente centrado en el software y sólo recientemente la gestión ha sido tomada en consideración. No es fortuito que el enfoque in los inicios primeramente fue en el software y para algunos hasta ahora lo sigue siendo y sin un software, BIM no existiría. Las capacidades de las herramientas BLG que se han desarrollado durante las 4 décadas pasadas y especialmente entre los últimos 10 años tienen aún una tarea por cumplir relacionados a:

- **Fácil interface de usuario:** Las interfaces en muchos de los programas de software son aún limitados y engorrosos de usar, incluso por usuarios quienes han aprendido a operar un programa. La operación de los programas debe ser más intuitiva. Los programas ahora incluso cuando alguien tiene un grado alto de dominio de los softwares, estos no son capaces de crear un objeto o no son capaces de crear un tipo particular de objeto con solamente ir a través de una variedad de menús, es también otro problema, los usuarios encuentran los programas demasiado pesados y engorrosos de operar.
- **Interoperabilidad:** El problema con los proveedores de softwares es que trabajan en diferentes plataformas y que sus programas de software no son capaces de interactuar sin problemas, los cuales en una situación ideal debe serlo, con el fin de exportar e importar archivos de un programa a otro para evitar perder información, o re-trabajos del mismo. Hoy en día estos problemas causan muchas deficiencias, ya que aún no es universalmente posible transferir una información del objeto o modelo que contiene de un programa a otro. Si no existe un modelo o base de datos que puedan contener todos los objetos y su información adjunta, entonces, algunos de los beneficios en el concepto BIM se pierden. Hay muchos intentos actuales para resolver estos problemas, tales como el formato IFC (Industry Foundation Classes). El formato IFC es un formato internacional que actualmente está ganando aceptación de todo el mundo, este es un formato de archivo que puede contener objetos y sus atributos (información). El problema es que el formato de archivo es nuevo y tiene que ser extenso, todavía hay algunos problemas de transformación, el formato IFC es claramente un paso en la dirección de tratar de resolver el problema de la interoperabilidad.
- **Nuevos procesos:** En comparación con el aspecto de desarrollo de software, la necesidad de nuevos procesos no recibe la atención necesaria. Esto es interesante, ya que independientemente de lo poderoso que una herramienta es, o puede llegar a ser; posiblemente nunca alcanzará su potencial si no se sabe cómo operarlo. Sin el reconocimiento de la necesidad de nuevos procesos de este nuevo paradigma, BLG nunca alcanzará su potencial. Por lo tanto, este aspecto del Sistema Integrado BLG necesita atención para alcanzar el siguiente nivel de implementación.

### 3.2.12. Beneficios de la adopción de diseño del Sistema Integrado BLG

Un diseño ideal, mediante un Sistema Integrado BIM-Lean-Green, con un enfoque holístico de la gestión de proyectos de construcción deberá proyectar los siguientes beneficios no solo en la fase de diseño, sino a lo largo del ciclo de vida:

Tabla N° 26: Benéficos del Sistema Integrado BLG en la ciclo de vida de un proyecto de construcción.

FASE	BENEFICIOS	
	CLIENTE	CONTRATISTA
1. DISEÑO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visualización</li> <li>- Análisis de múltiples alternativas de diseño</li> <li>- Análisis cualitativo y cuantitativo del proyecto</li> <li>- Estimación confiable de costos</li> <li>- Conoce el proceso integral de construcción</li> <li>- Proyectos sin interferencias ni conflictos</li> <li>- Disminuye el costo y tiempo del diseño</li> <li>- Participa activamente en las decisiones para que se cumplan sus requerimientos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visualización</li> <li>- Generación rápida de múltiples alternativas de diseño</li> <li>- Simulación y análisis</li> <li>- Análisis cualitativo y cuantitativo</li> <li>- Prefabricación</li> <li>- Interferencias, detección de conflictos</li> <li>- Metrados o cubicaciones</li> <li>- Estimación confiable de costos</li> <li>- Planificación y programación.</li> </ul>
2. CONSTRUCCIÓN	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visualizar lo construido en un ambiente simulado</li> <li>- Disminuye errores y correcciones</li> <li>- Alta confiabilidad de proveer las condiciones de campo</li> <li>- La habilidad para personal no técnico (clientes, usuarios, etc.) para visualizar la entrega final del producto.</li> <li>- Pocas consultas (RFI's/SIs) y explicaciones, bajas garantía de costos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Visualización</li> <li>- Constructabilidad</li> <li>- Prefabricación de materiales (alta calidad a bajo costo)</li> <li>- Chequeo de interferencias y detección de conflictos</li> <li>- Metrados o cubicaciones.</li> <li>- Planificación y programación.</li> <li>- Seguridad</li> <li>- Ejecución y Control</li> <li>- Logística y Procura</li> <li>- Simular varias opciones de secuencia de actividades, lugares para la logística de materiales, alternativas de posicionamiento de equipos como grúas, etc.</li> </ul>
3. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestión de servicios.</li> <li>- Gestión de mantenimiento</li> <li>- Control de funcionamiento de las instalaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entrega del modelo BLG integral "As-built", con manuales y especificaciones de operación y mantenimiento de las instalaciones del proyecto.</li> </ul>

### 3.6. Caso de estudio

El caso de estudio, fue elegido de tal manera que se puedan mostrar las potencialidades de los componentes del sistema integrado BLG (BIM, Lean y Green), no como un sistema integrado (ideal), pero como conceptos reales probados de los conceptos teóricos. Este caso de estudio considerado como un megaproyecto, donde la complejidad, los desafíos, y la necesidad de la aplicación

de BIM, Lean, y Green fueron altas; dado el costo, alcance, calidad, tiempo, y localización del proyecto.

### **3.3.1. Alcance del proyecto**

El Proyecto Nueva Fuerabamba, se ubica entre las provincias de Cotabambas y Grau, Departamento de Apurímac, a 3,800 metros sobre el nivel del mar y a 208 Km. de la ciudad del Cusco; zona que está mineralizada y es parte del Proyecto Minero Las Bambas. Comprende un yacimiento de cobre, sulfuros y óxidos, propiedad de XSTRATA TINTAYA S.A. y la construcción estuvo a cargo de la Empresa Graña y Montero GyM S.A. El objetivo del proyecto, fue atender la necesidad de vivienda y servicios básicos para 347 familias residentes dado que la población se verá directamente afectada por la construcción de infraestructura de la mina y futuras labores de operación.

### **3.3.2. Características del proyecto**

El proyecto Incluyó trabajos de movimiento de tierras por cerca de 10 millones de m<sup>3</sup>, habilitación urbana, la construcción de 441 viviendas unifamiliares de entre 200 y 250 m<sup>2</sup> y la construcción de edificios públicos, donde se emplearon más de 53,679 m<sup>3</sup> de agregados y 101,200 m<sup>3</sup> de concreto premezclado; además de la instalación de servicios como energía eléctrica, agua y desagüe. El proyecto incluyó también la construcción del palacio municipal, la comisaría, centro de salud, Mercado de abastos, terminal de transporte terrestre, entidades educativas e iglesias, entre otras.

- **Proyecto:** Ciudad Nueva Fuerabambas
- **Ubicación:** Comunidad campesina Fuerabamba, Distrito y provincia de Cotabambas y Grau Apurímac, Perú
- **Cliente:** XSTRATA TINTAYA S.A.
- **Empresa Contratista:** Graña y Montero GyM S.A.
- **Tipo de Contrato:** EPC (Ingeniería, Procura y Construcción o Engineering, Procurement, and Construction)
- **Periodo de ejecución:** 2011-2013
- **Costo:** \$ 500' 000 000.00 (quinientos millones con 00/100 dólares)

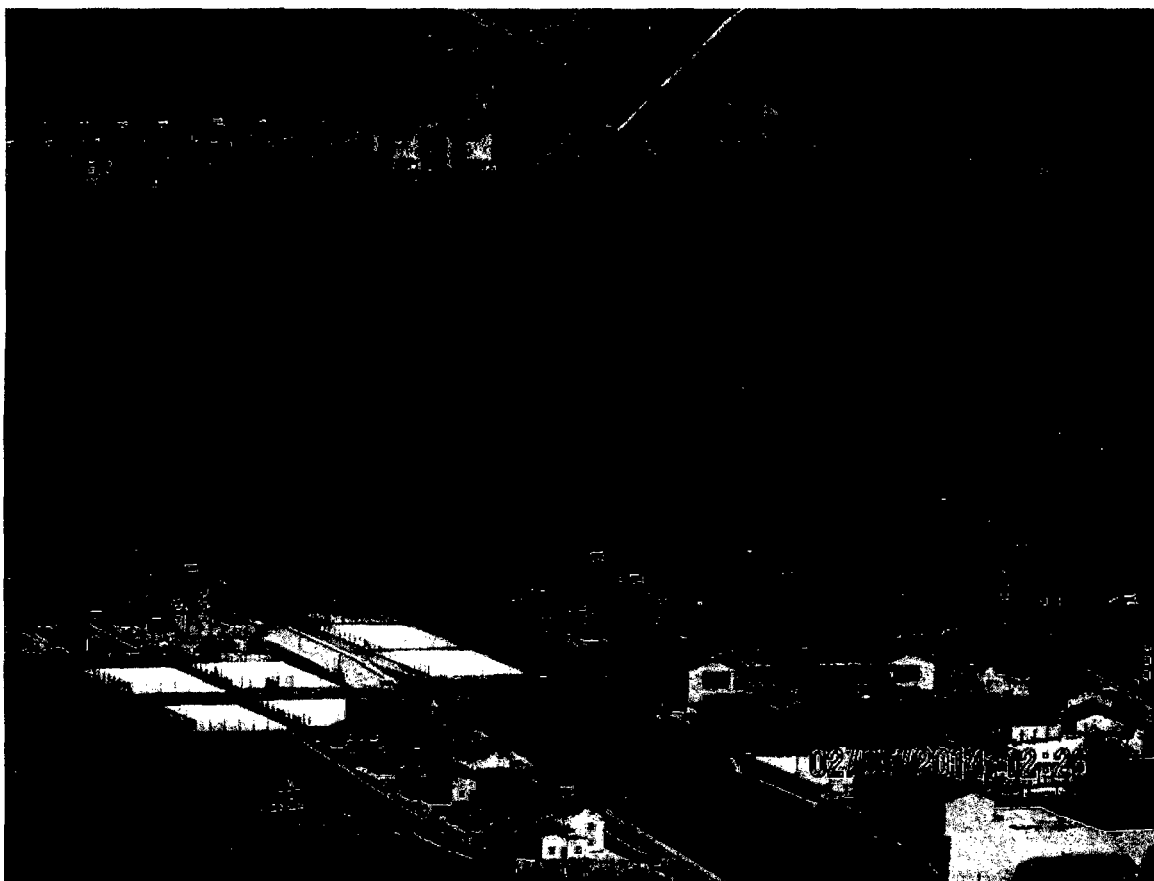


Figura N° 51: Proyecto Nueva Fuerabamba

### 3.3.3. Gestión integral del proyecto

La Gestión del Proyecto Ciudad Nueva Fuerabamba fue integral gracias al modelo de contratación Cliente-Contratista EPC (Engineering, Procurement, and Construction), o también llamado Diseño-Construcción (Design-Construction) (Véase sección 2.2.8.6.); donde el contratista asumió las responsabilidades de la ingeniería, procura, y construcción del proyecto; esto permitió al contratista una gestión integral del proyecto para implementar de manera independiente, los aspectos como BIM, Lean, y Green, desde fases tempranas agregando el concepto de la entrega de valor al cliente y al mismo tiempo se logró un cierto grado de colaboración, comunicación y transparencia entre los principales involucrados que se reflejó en resultados positivos al final del proyecto.

Aunque en este proyecto no se aplicó un Sistema Integrado BLG, con sus características y potencialidades planteadas en esta investigación, se pudo apreciar que cada uno de estos aspectos tiene efectos positivos en el flujo de los procesos de generación de la información en la fase de diseño, aplicado desde fases tempranas y su impacto positivo en la fase de construcción.

### **3.3.3.1. Gestión del Diseño del proyecto**

La Fase de Diseño Preliminar o Concepción fue realizada en paralelo con la Fase de Diseño Detallado, en coordinación con la Fase de Construcción, ya que empresa contratista tuvo el control de la ingeniería, procura, y construcción del proyecto. Esto permitió, establecer un cierto grado de coordinación, colaboración y transparencia en el proceso y empezar con la ejecución del proyecto antes de lo planeado gracias a una integración y traslape de fases (Diseño y Construcción). El aspecto BIM fue clave en la generación de la información y se implementó desde la fase de pre-diseño creando así una plataforma de trabajo donde se pudo discutir una variedad de propuestas y criterios sostenibles de diseño, entre el equipo de diseño, el contratista, el cliente, y los usuarios finales.

Una vez discutida la solución por concesión esta fue mostrada a los usuarios finales (población afectado por la operaciones mineras) quienes fueron su punto de vista en términos de mejoras, que fueron tomadas en consideración por el equipo de diseño para tener así un producto final, *“donde todos los involucrados del proyecto sabían lo que se estaba haciendo”*.

#### **a. Objetivo del diseño del proyecto**

Para el equipo de diseño el objetivo fue claro, “Diseñar una Ciudad” que incluya todos los componentes, servicios, y ambientes que lo caracterizan como tal, así pues las actividades de diseño se encaminaron al diseño de los siguientes componentes:

**Tabla N° 27:** Componentes de diseño para el Proyecto Ciudad Nueva Fuerabamba.

Código	Componentes de diseño	Diseño
000	- Generales	- Plataformas y caminos provisionales, etc.
100	- Preliminares	- Construcción de Campamentos - Facilidades - Obras de protección Naturales - Residuos de obra
200	- Accesos	- Cruces - Plataformados - Caminos de acceso - Puentes
300	- Movimiento de Tierras	- Movimiento de Tierras-Plataformado - Deposito Materiales Excedente (DMEs) - Planes de Manejo Ambiental (en Obras y Explotación de Canteras)
400	- Habilitación Urbana	- Pavimentos y veredas - Obras de arte (muros de contención, etc.) - Comunicaciones - Drenaje pluvial - Agua Potable - Alcantarillado - Señalización - Paisajismo - Mitigación Medio Ambiente
600	- Edificaciones No residenciales	- IE-Primaria Secundaria - Centro de Educación Inicial - Taller ocupacional - Wawawasi - Puesto de Policial-Comisaria - Centro de Salud - Cementerio - Losas Deportivas
700	- Edificaciones Residenciales	- 441 Viviendas (Los tipos de viviendas están en el Tabla N°28)

Fuente: GMI 2011



**Figura N° 52:** Estado natural del terreno antes de la construcción.



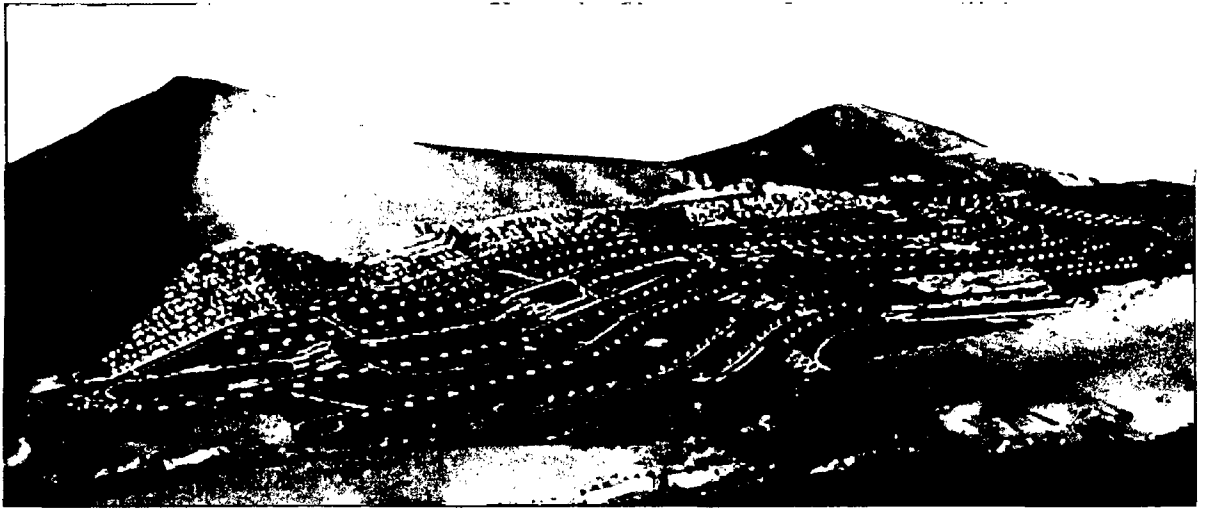


Figura N° 53: Modelo 3D-BIM del Proyecto Ciudad Nueva Fuerabamba Completo.

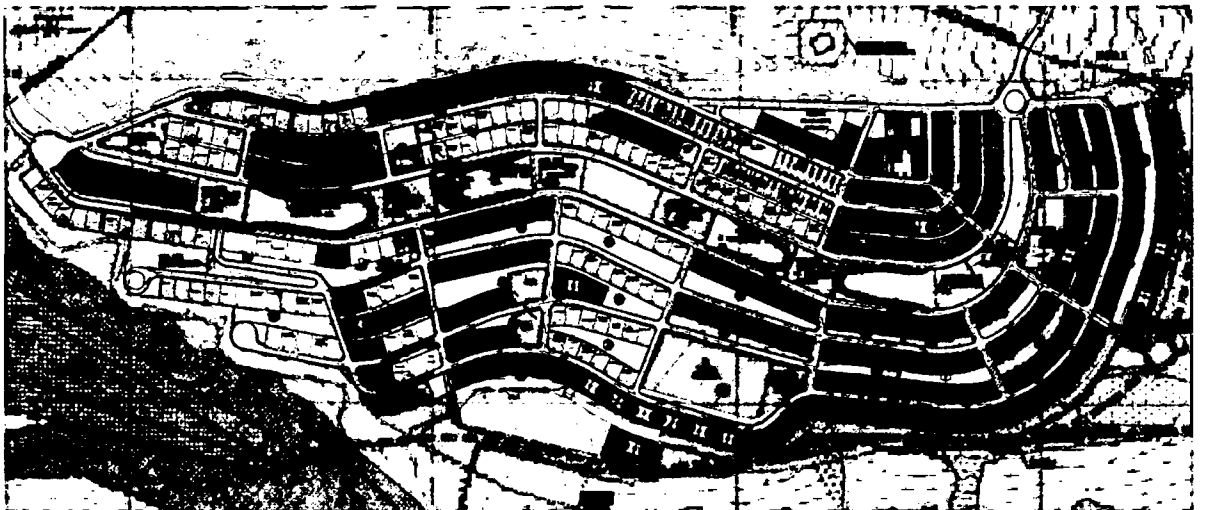


Figura N° 54: Modelo 2D-BIM del Proyecto Ciudad Nueva Fuerabamba Completo

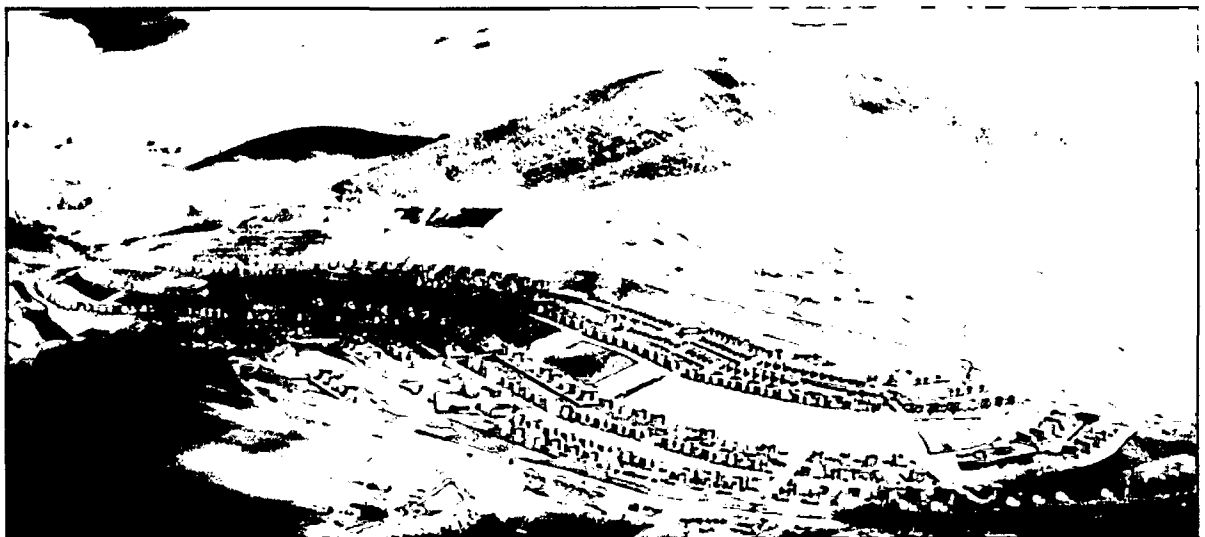


Figura N° 55: Proyecto Nueva Fuerabamba; Objetivo alcanzado

Por razones de limitación de esta investigación, sólo se discutirá los aspectos referentes al componente N°700: Edificaciones Residenciales. Así pues se

detallan brevemente la implementación de BIM en relación al este componente, así como al de paisajismo para ver los aspectos Green.

### 3.3.3.2. BIM, Lean y Green en la fase de diseño del proyecto

Con el objetivo de satisfacer los requerimientos del cliente y de los usuarios finales más allá de sus expectativas, el equipo de diseño tomó el diseño de usar primeramente BIM en el proyecto para la generación rápida de alternativas de diseño en base a modelos, consideración criterios sostenibles Green para la presentación al cliente y usuarios finales. Así pues los aspectos de la metodología BIM, criterios sostenibles Green fueron considerados y finalmente ya en el proceso final se emplearon herramientas de gestión Lean el LPS para asegurar el inicio satisfactorio del plan de la fase de construcción en el diseño.

#### a. BIM en el diseño del proyecto

Muy temprano en el proyecto se implementó la Metodología BIM que ayudó a concretar los objetivos de diseño del proyecto, mediante la aplicación de BIM a través de:

- **Visualización, generación, y evaluación rápida de múltiples alternativas de diseño:** Mediante el uso de herramientas de diseño BIM, se pudo generar una gran variedad de propuestas de diseño, que fueron presentadas al cliente y a los usuarios finales. Pero para que los usuarios finales comprendan qué se estaba haciendo y qué es lo que se les ofrecía, para lograr este objetivo se tuvo que realizar modelos 3D-BIM donde el aspecto de visualización fue una gran ayuda para el mutuo entendimiento entre contratista-cliente-usuarios finales. Los modelos de viviendas fueron 7 (Tabla N°28).

**Tabla N° 28:** Viviendas tipo del Proyecto Ciudad Nueva Fuerabamba

VIVIENDA TIPO	ÁREA TERRENO (m <sup>2</sup> )	NÚMERO DE PISOS	CANTIDAD VIVIENDAS	ÁREA TECHADA (m <sup>2</sup> )
2A	500	3	217	246.08
2B	500	3	4	247.53
2C	500	3	32	247.71
3A	500	3	2	248.55
3B	500	3	84	242.4
1R	250	2	59	114.64
2R	250	2	43	114.92
<b>TOTAL</b>			<b>441</b>	<b>94, 880.22</b>

Fuente: GMI, 2011

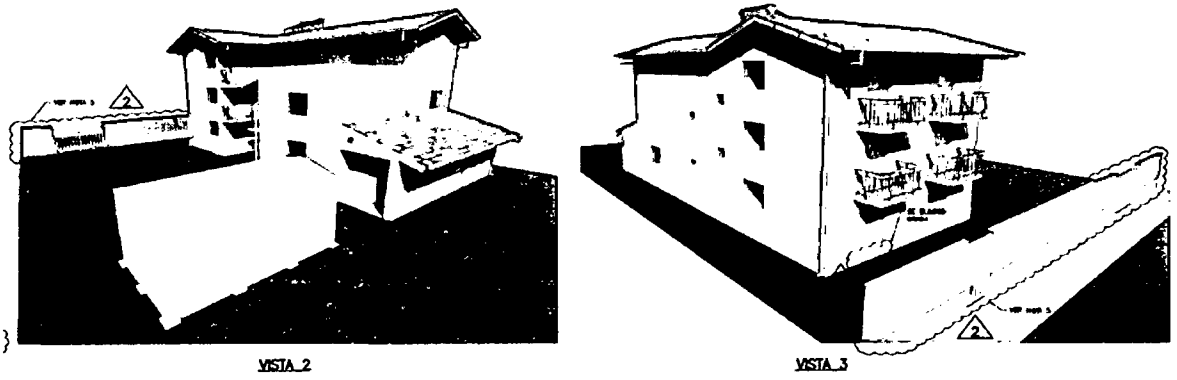


Figura N° 56: Modelo 3D-BIM-Tipo de Viviendas Tipo 2A

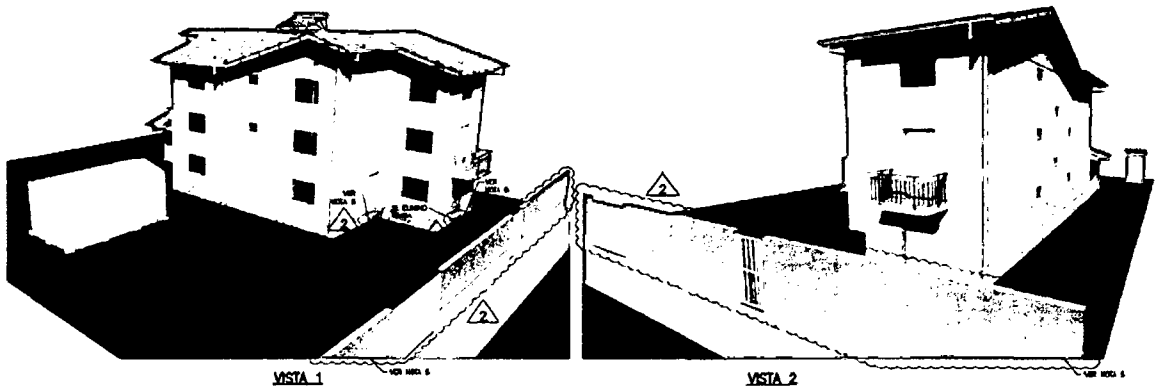


Figura N° 57: Modelo 3D-BIM-Tipo de Viviendas Tipo 2A



Figura N° 58: Modelo 3D-BIM-Tipo de Viviendas Tipo 2C



Figura N° 59: Tipo de Viviendas Tipo 3A

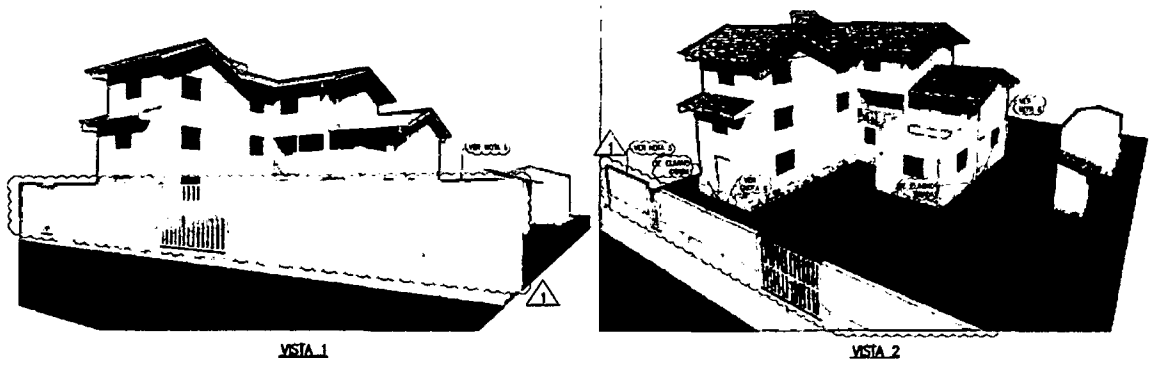


Figura N° 60: Modelo 3D-BIM-Tipo de Viviendas Tipo 3B

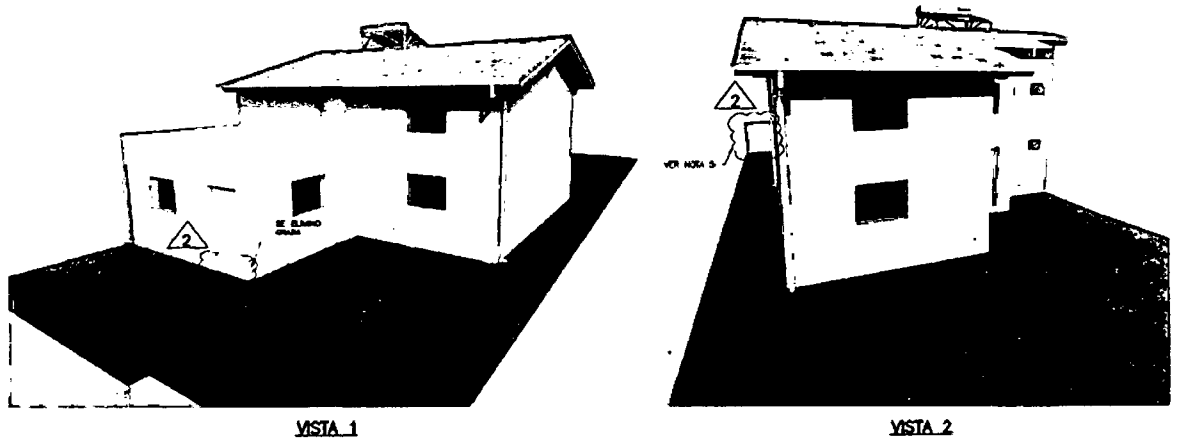


Figura N° 61: Modelo 3D-BIM-Tipo de Viviendas Tipo 1R



Figura N° 62: Modelo 3D-BIM-Tipo de Viviendas Tipo 2R



Figura N° 63: Modelo 3D-BIM-Vista interior y Servicios Higiénicos

- **Mantenimiento de la información y modelo de diseño integral y generación automatizada de la información (planos y documentos):** Toda la información fue almacenada en un modelo integral de donde se obtuvieron, la mayor parte de los documentos contractuales o de ingeniería tales como, metrados, costos, planos, especificaciones y otros, que permitieron una rápida generación del presupuesto y especificaciones del proyecto. Esto fue gracias a que se emplearon modelos paramétricos multidisciplinarios. Además la información integral en un modelo inteligente, paramétrico y multidisciplinario lograron una rápida detección de interferencias, compatibilización y coordinación entre especialidades de arquitectura, estructuras, y MEP, con el objetivo de no realizar cambios de diseño e inesperados en la fase de construcción, reduciendo así el retrabajo y la omisiones de diseño.
- **Colaboración entre las fases de diseño, construcción:** Esto se dio debido a que los equipos de diseño y construcción coincidieron para la discusión de soluciones tanto de diseño como de construcción, en una Sala de Reuniones (Big Room).
- **Generación y evaluación rápida de múltiples alternativas del plan de construcción:** Dado a una visualización en conjunto del proyecto en base a modelos, que permitieron el equipo de producción tener muy en claro cuál era el plan de acción para afrontar la fase de construcción desde la fase de diseño, ahorrando tiempo y dinero.

#### **b. Green en el diseño del proyecto**

Los criterios Green de sostenibilidad en el proyecto fueron tomados en cierto grado, y estuvo más inclinado hacia el entorno paisajístico. Para la construcción de las viviendas previstas en el proyecto, se consideró, entorno y emplazamiento, distribución de lotes de vivienda (Lotización), criterios de diseño sostenibles para las viviendas, tipos de vivienda, y la distribución de ambientes y áreas.

- **Diseño de un entorno sostenible**

Se consideró el criterio de maximizar de las áreas verdes, realizando plantaciones masivas nativas de la zona, como arbustos, herbáceas y gramíneas, y pasto típico de la puna. Esto con el fin de minimizar el impacto, preservar y restaurar las áreas verdes, minimizando la alteración del entorno, hábitats y espacios verdes.

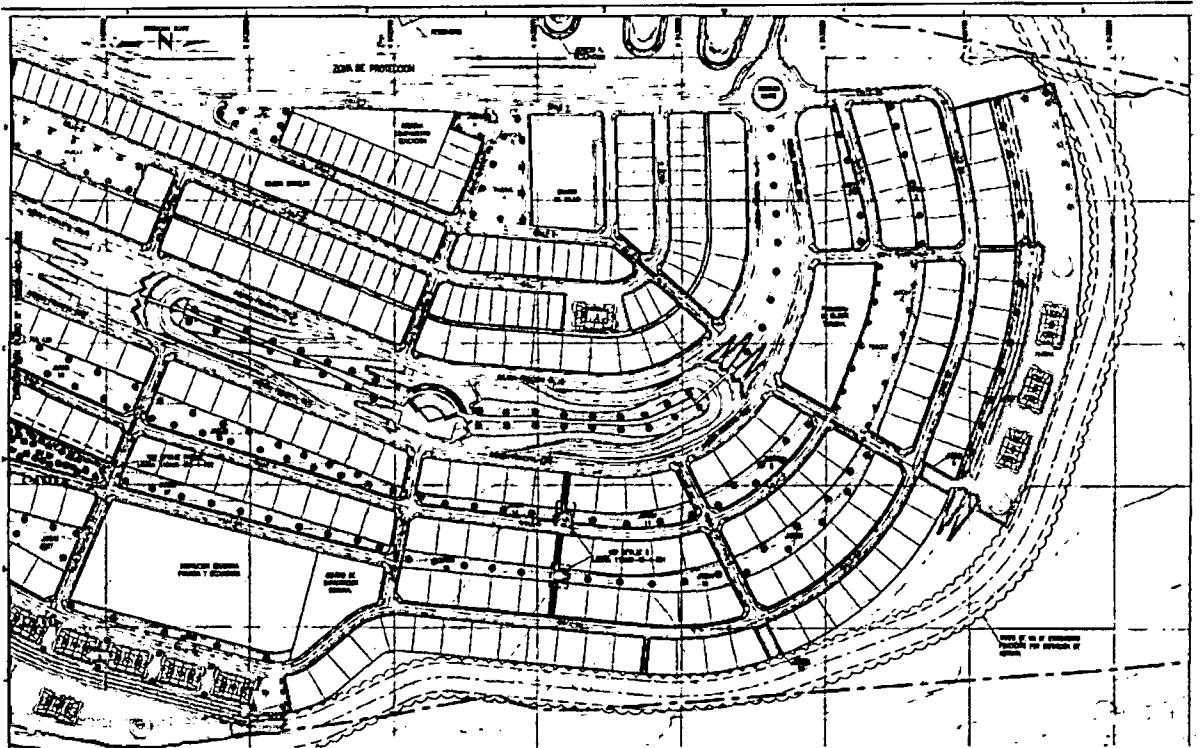


Figura N° 64: Paisajismo y áreas verdes: Sector 1

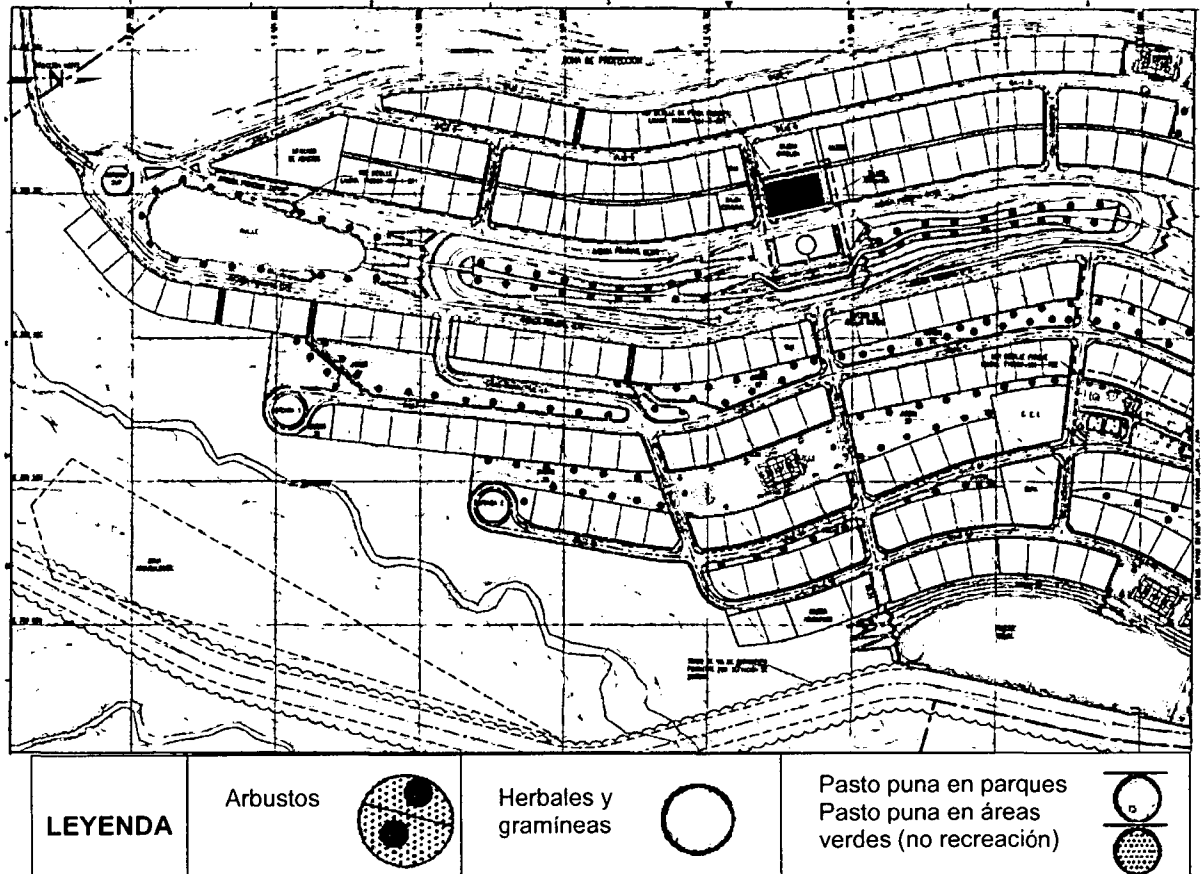


Figura N° 65: Paisajismo y áreas verdes: Sector 2.

- **Eficiencia Energética y Energías Renovables:** Para la eficiencia energética del proyecto se usaron Termas Eléctricas Solares en cada vivienda para el

abastecimiento de agua caliente. Para esto fue necesario un Estudio Solar que dicte la orientación de las termas en los techos de las viviendas.



Figura N° 66: Termas Eléctricas Solares en cada una de las viviendas

- **Calidad ambiental interior:** Este aspecto fue considerado debido a las características climáticas frías del lugar, ya que las temperaturas alcanzan niveles bajo cero en invierno. Es así que se decidió implementar muros de concreto mixtos; es decir, con aislamiento térmico interior a base de Tecnoport (espesor=5cm). Para controlar la temperatura interior, asegurando el confort de los habitantes.

También se tomó en consideración de una adecuada ventilación e iluminación con luz diurna y para esto se diseñó la distribución de las viviendas con una cierta separación entre ellas, permitiendo así una gran iluminación con luz natural.



Figura N° 67: Necesidad de un diseño Green (aislamiento térmico, ventilación e iluminación natural)

- **Mitigación Ambiental:** Con el fin de realizar un Plan de Mitigación Ambiental (PMA) se tuvo que identificar de las variables ambientales que podrían ser afectadas por el proyecto, así como determinación de sus características y las circunstancias que las harían susceptibles a los efectos ambientales previstos durante la ejecución y operación del proyecto sobre el entorno durante la construcción tomando en consideración 3 aspectos de evaluación; Medio Físico, Medio Biológico y el Medio Socioeconómico Cultural. Por otra parte fue necesario la identificación de los aspectos e impactos ambientales del proyecto se consideraron los criterios de diseño adoptados en la ingeniería del proyecto, los procedimientos operativos para la ejecución de las actividades previstas, los requisitos establecidos en la normativa técnica y ambiental, y las características de las variables ambientales en el área de influencia del proyecto.

#### **c. Lean en la fase de diseño**

La participación de Lean fue realizada a lo largo de la fase de diseño mediante la implementación del Sistema Ultimo Planificador LPS, inclinado más al planeamiento de la construcción. Aquí se puede identificar los siguientes principios Lean intervinientes que influyeron en el proceso de diseño, tales como:

- **Reducción de la variabilidad:** dado que se conocía que es lo que se estaba haciendo y hacia donde se quería llegar, identificación temprana del plan de construcción. El riesgo fue controlado desde la fase de diseño.
- **Incremento de la flexibilidad:** El plan de acción era flexible, permitiendo realizar cambios que no afectaran los procesos de diseño y constructivos.
- **Gestión visual:** La producción fue analizada a medida que el diseño llegaba a su fin y los planes ya formados ayudaban a plantear la visualización en conjunto de la ejecución planteando la constructabilidad en la fase de diseño.
- **Diseñar el sistema de producción por flujo y valor:** Dado el sistema de contrato EPC, el contratista tuvo el control de las actividades de diseño y construcción y ambos sistemas fueron diseñados para agregar valor al cliente.
- **Asegurar la captura completa de los requerimientos** y el desarrollo de los mismos a medida que se desarrollaba los procesos de producción de diseño.



- **Decidir por unanimidad y considerar** todas las opciones dado que Lean crea un ambiente colaborativo y esto se dio desde la fase de diseño (equipos de diseño y producción con miras hacia un mismo objetivo), donde cada una de las opiniones y sugerencias fueron tomadas en consideración.

### 3.3.3.3. Gestión de la fase de construcción del proyecto

La gestión integral de la fase de construcción fue en base a dos enfoques:

- *Enfoque de la Filosofía Lean Construction mediante el uso del Sistema Último Planificador LPS.*
- *Enfoque del Instituto Goldratt y su Teoría de las Restricciones.*

Estos dos enfoques fueron combinados para formar una herramienta eficiente de planeamiento y programación, cuyo control fue realizado mediante “*Rutinas de Programación*” semanales; primero entre el Equipo de Producción para ver debilidades y fortalezas del propio equipo; segundo entre el Equipo de Producción, la Oficina Técnica de Control del Proyecto, y el Gerente del Proyecto para soportar los puntos débiles del proyecto a nivel macro; y finalmente entre los representantes del contratista y los representantes del cliente para soportar la relaciones y confianza del que el proyecto está siguiendo su curso previsto.

### 3.3.3.4. Sistema del Último Planificador (LPS) y Análisis de Restricciones

El sistema se puede resumir en los siguientes pasos de la “*Rutina de Programación*”:

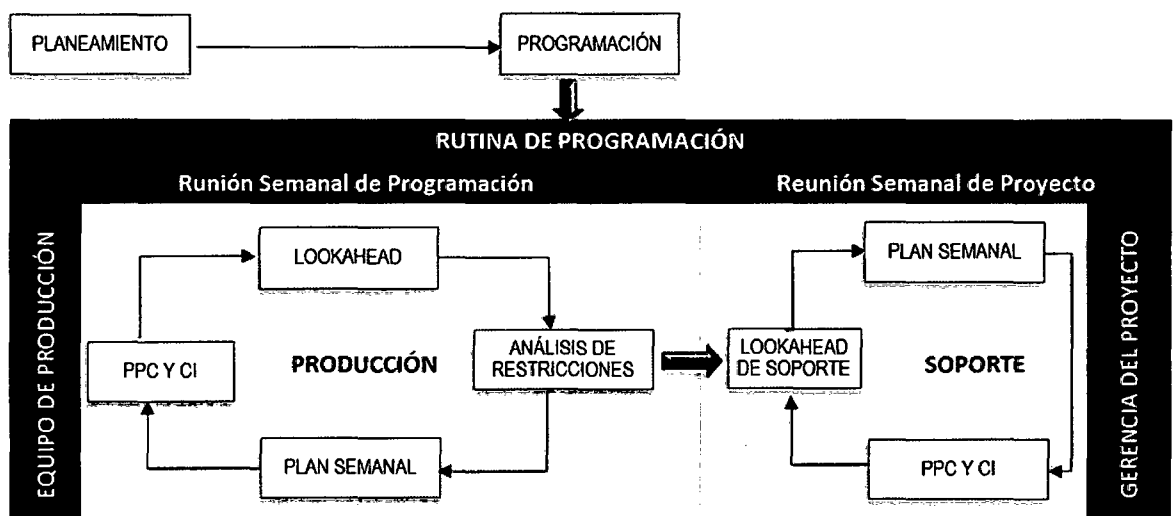


Figura N° 68: Rutina de programación y herramientas de programación en el proyecto Nueva Fuerabamba.

- a. **Planeamiento:** es el análisis macro, visión a largo plazo.
- b. **Rutina de Programación:** basada en la programación con visión a mediano y corto plazo y está estructurada de la siguiente manera:
  - **Lookahead:** cronograma a mediano plazo, obtenido de la cronograma general actualizado con un horizonte de 4 semanas, actualidad semanalmente por el equipo de producción. Un ejemplo del Lookahead en el proyecto está dado en la Tabla N°29.
  - **Análisis de Restricciones (AR):** Análisis anticipado de cada actividad del lookahead, para eliminar problemas contractuales, de ingeniería, logística, etc.; y son asignado a un responsable para el levantamiento con un plazo definido. Un ejemplo del Análisis de Restricciones del proyecto está dado en la Tabla N°30.
  - **Plan Semanal (PS):** Para definir detalladamente las actividades sin restricciones del lookahead que se ejecutaran en la semana.
  - **Plan Diario (PD):** Son las actividades con mayor detalle a realizar durante un día laboral.
  - **Porcentaje Plan Cumplido (PPC):** Para medir la confiabilidad del sistema de programación, expresado en porcentaje de cumplimiento de las actividades del Plan Semanal y Plan Diario.

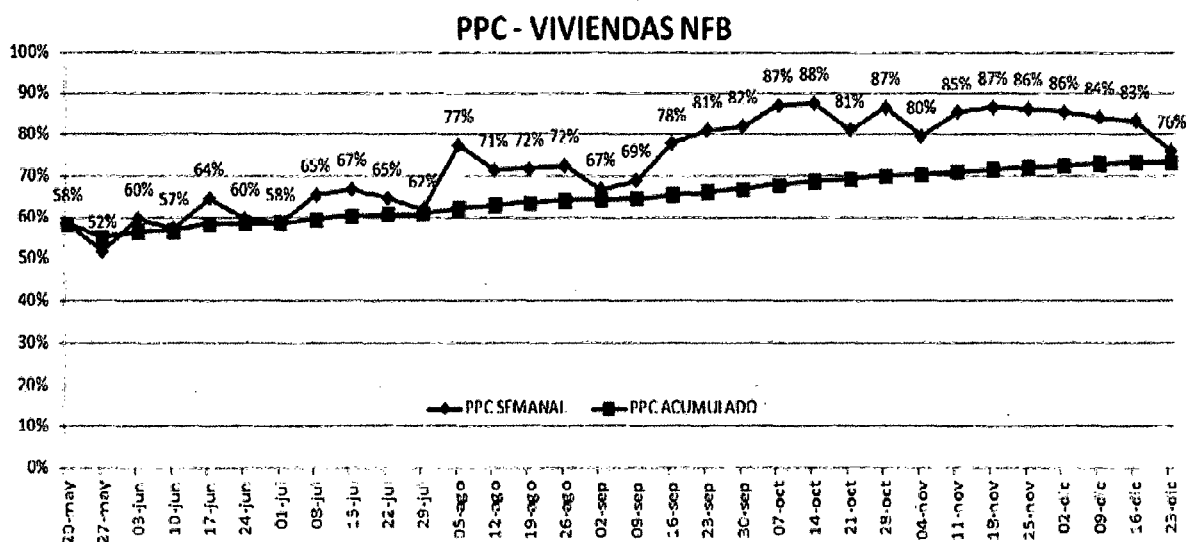


Figura N° 69: Histograma del PPC del Área de Producción-Viviendas del proyecto.

Tabla N° 29: Lookahead del proyecto en el Área de Producción-Viviendas

LOOKAHEAD SEMANA 32																																			
DESCRIPCION DE ACTIVIDADES	SEMANA 32							SEMANA 33							SEMANA 34							SEMANA 35							SEMANA 36						
	Len	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Len	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Len	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Len	Mar	Mié	Jue	Vie	Sáb	Dom	Len	Mar	Mié	Jue	Vie		
	05-ago	06-ago	07-ago	08-ago	09-ago	10-ago	11-ago	12-ago	13-ago	14-ago	15-ago	16-ago	17-ago	18-ago	19-ago	20-ago	21-ago	22-ago	23-ago	24-ago	25-ago	26-ago	27-ago	28-ago	29-ago	30-ago	31-ago	01-sep	02-sep	03-sep	04-sep	05-sep	06-sep		
EXCAVACION DE SOLADO	N1-15	N1-15	N1-18	R1-1	R1-2	R1-3	R1-5	R1-6	R1-8	R1-9	R1-10	R1-12	R1-13	R1-15	S1-5	S1-6	S1-8	S1-1	S1-2	S1-4	T1-1	T1-2	T1-3	T1-5	T1-6	T1-7	T1-9	T1-10							
VACIADO DE SOLADO	N1-15	N1-15	N1-18	R1-1	R1-2	R1-3	R1-5	R1-6	R1-8	R1-9	R1-10	R1-12	R1-13	R1-15	S1-5	S1-6	S1-8	S1-1	S1-2	S1-4	T1-1	T1-2	T1-3	T1-5	T1-6	T1-7	T1-9	T1-10							
EXCAVACION DE VIDAS	N1-13	N1-15	N1-16	N1-18	R1-1	R1-2	R1-3	R1-5	R1-6	R1-8	R1-9	R1-10	R1-12	R1-13	R1-15	S1-5	S1-6	S1-8	S1-1	S1-2	S1-4	T1-1	T1-2	T1-3	T1-5	T1-6	T1-7	T1-9	T1-10						
ENCOFRADO DE PLATEA	N1-13	N1-15	N1-16	N1-18	R1-1	R1-2	R1-3	R1-5	R1-6	R1-8	R1-9	R1-10	R1-12	R1-13	R1-15	S1-5	S1-6	S1-8	S1-1	S1-2	S1-4	T1-1	T1-2	T1-3	T1-5	T1-6	T1-7	T1-9	T1-10						
COLOCACION DE ACERO PLATEA	N1-12	N1-13	N1-15	N1-18	R1-1	R1-2	R1-3	R1-5	R1-6	R1-8	R1-9	R1-10	R1-12	R1-13	R1-15	S1-5	S1-6	S1-8	S1-1	S1-2	S1-4	T1-1	T1-2	T1-3	T1-5	T1-6	T1-7	T1-9	T1-10						
ISS EN PLATEA	N1-12	N1-13	N1-15	N1-18	R1-1	R1-2	R1-3	R1-5	R1-6	R1-8	R1-9	R1-10	R1-12	R1-13	R1-15	S1-5	S1-6	S1-8	S1-1	S1-2	S1-4	T1-1	T1-2	T1-3	T1-5	T1-6	T1-7	T1-9	T1-10						
REE EN PLATEA	N1-12	N1-13	N1-15	N1-18	R1-1	R1-2	R1-3	R1-5	R1-6	R1-8	R1-9	R1-10	R1-12	R1-13	R1-15	S1-5	S1-6	S1-8	S1-1	S1-2	S1-4	T1-1	T1-2	T1-3	T1-5	T1-6	T1-7	T1-9	T1-10						
VACIADO DE PLATEA	N1-10	N1-12	N1-13	N1-15	N1-18	R1-1	R1-2	R1-3	R1-5	R1-6	R1-8	R1-9	R1-10	R1-12	R1-13	R1-15	S1-5	S1-6	S1-8	S1-1	S1-2	S1-4	T1-1	T1-2	T1-3	T1-5	T1-6	T1-7	T1-9	T1-10					
DESENCOFRADO DE PLATEAS	N1-9	N1-10	N1-12	N1-13	N1-15	N1-18	R1-1	R1-2	R1-3	R1-5	R1-6	R1-8	R1-9	R1-10	R1-12	R1-13	R1-15	S1-5	S1-6	S1-8	S1-1	S1-2	S1-4	T1-1	T1-2	T1-3	T1-5	T1-6	T1-7	T1-9	T1-10				
<b>CASCO</b>																																			
TRAZO DE MUROS - TOPOGRAFIA	E1-7-2	E1-8-2	E1-9-3	E1-4-3	E1-7-3	E1-8-3	L1-6-1	L1-7-1	L1-8-1	L1-9-1	L1-6-2	L1-7-2	L1-8-2	L1-9-2	L1-6-3	L1-7-3	L1-8-3	L1-9-3	L1-10-2	L1-11-2	L1-12-2	L1-13-2	L1-14-2	L1-15-2	L1-16-2	L1-17-2	L1-18-2	L1-19-2	L1-20-2	L1-21-2	L1-22-2				
	L1-5-2	L1-2-3	L1-3-3	L1-4-3	L1-5-3					R1-1-1	R1-2-1	R1-3-1	R1-4-1	R1-1-2	R1-2-2	R1-3-2	R1-4-2	R1-2-3	R1-3-3	R1-4-3	R1-6-1	R1-7-1	R1-5-2	R1-6-2	R1-7-2	R1-5-3	R1-6-3	R1-7-3	S1-1-1	S1-2-1	S1-3-1	S1-4-1			
	L1-1-3															R1-1-3					R1-5-1														
COLOCACION DE AISLAMIENTO TERMICO	E1-11-3	E1-12-3	E1-13-1	E1-14-1	E1-15-1	E1-16-1	E1-13-2	E1-14-2	E1-15-2	E1-16-2	E1-14-3	E1-15-3	E1-16-3	S1-5-1	S1-6-1	S1-7-1	S1-8-1	S1-5-2	S1-6-2	S1-7-2	S1-8-2	S1-5-3	S1-6-3	S1-7-3	S1-8-3	T1-4-1	T1-5-1	T1-6-1	T1-7-1	T1-8-1					
	R1-3-1	R1-10-1	R1-11-1	R1-8-2	R1-9-2	R1-10-2	R1-11-2	R1-3-3	R1-10-3	R1-11-3	R1-12-1	R1-13-1	R1-14-1	R1-15-1	R1-12-2	R1-13-2	R1-14-2	R1-15-2	R1-12-3	R1-13-3	R1-14-3	R1-15-3	R1-16-1	R1-17-1	R1-18-1	R1-19-1	R1-16-2	R1-17-2	R1-18-2	R1-19-2					
	E1-6-2	E1-7-2	E1-8-2	E1-5-3	E1-6-3	E1-7-3	E1-8-3	L1-6-1	L1-7-1	L1-8-1	L1-9-1			R1-1-1	R1-2-1	R1-3-1	R1-4-1	R1-1-2	R1-2-2	R1-3-2	R1-4-2	R1-5-2	R1-6-2	R1-7-2	R1-5-3	R1-6-3	R1-7-3	R1-8-3	R1-9-3	R1-10-3	R1-11-3				
COLOCACION DE ACERO DE MUROS	L1-4-2	L1-5-2	L1-2-3	L1-3-3	L1-4-3	L1-5-3								R1-1-1	R1-2-1	R1-3-1	R1-4-1	R1-1-2	R1-2-2	R1-3-2	R1-4-2	R1-5-2	R1-6-2	R1-7-2	R1-5-3	R1-6-3	R1-7-3	R1-8-3	R1-9-3	R1-10-3	R1-11-3				
	E1-10-3	E1-11-3	E1-12-3	E1-13-1	E1-14-1	E1-15-1	E1-16-1	E1-13-2	E1-14-2	E1-15-2	E1-16-2	E1-14-3	E1-15-3	E1-16-3	S1-5-1	S1-6-1	S1-7-1	S1-8-1	S1-5-2	S1-6-2	S1-7-2	S1-8-2	S1-5-3	S1-6-3	S1-7-3	S1-8-3	T1-4-1	T1-5-1	T1-6-1	T1-7-1					
	R1-3-1	R1-3-1	R1-10-1	R1-11-1	R1-8-2	R1-9-2	R1-10-2	R1-11-2	R1-3-3	R1-10-3	R1-11-3	R1-12-1	R1-13-1	R1-14-1	R1-15-1	R1-12-2	R1-13-2	R1-14-2	R1-15-2	R1-12-3	R1-13-3	R1-14-3	R1-15-3	R1-16-1	R1-17-1	R1-18-1	R1-16-2	R1-17-2	R1-18-2	R1-19-2					
ISS EN MUROS	E1-6-2	E1-7-2	E1-8-2	E1-5-3	E1-6-3	E1-7-3	E1-8-3	L1-6-1	L1-7-1	L1-8-1	L1-9-1	L1-6-2	L1-7-2	L1-8-2	L1-9-2	L1-6-3	L1-7-3	L1-8-3	L1-9-3	L1-10-2	L1-11-2	L1-12-2	L1-13-2	L1-14-2	L1-15-2	L1-16-2	L1-17-2	L1-18-2	L1-19-2	L1-20-2					
	L1-4-2	L1-5-2	L1-2-3	L1-3-3	L1-4-3	L1-5-3								R1-1-1	R1-2-1	R1-3-1	R1-4-1	R1-1-2	R1-2-2	R1-3-2	R1-4-2	R1-5-2	R1-6-2	R1-7-2	R1-5-3	R1-6-3	R1-7-3	R1-8-3	R1-9-3	R1-10-3	R1-11-3				
	E1-10-3	E1-11-3	E1-12-3	E1-13-1	E1-14-1	E1-15-1	E1-16-1	E1-13-2	E1-14-2	E1-15-2	E1-16-2	E1-14-3	E1-15-3	E1-16-3	S1-5-1	S1-6-1	S1-7-1	S1-8-1	S1-5-2	S1-6-2	S1-7-2	S1-8-2	S1-5-3	S1-6-3	S1-7-3	S1-8-3	T1-4-1	T1-5-1	T1-6-1	T1-7-1					

Tabla N° 30: Análisis de restricciones del Lokahead del proyecto

				N° TOTAL DE RESTRICCIONES				1	
				% DE RESTRICCIONES POR SEMANA				100%	
Tipo	Responsable Asignación	Descripción de la Actividad	Descripción de la Restricción	Fecha de Levantamiento (PROD) SOLICITA	Responsable Levantamiento	Anticipación en Identificar Restricción	Compromiso de Levantamiento (AS)	Estado	OBSERVACIONES - AS (Impedimento de las Áreas de Soporte para levantar la restricción, comentarios, etc)
<b>PRODUCCION</b>									
<b>CAMPAMENTOS</b>									
A	ADMINISTRACION	Almacenes	Cobertura y techado incompletos	30/11/2011	SUPERINTENDENCIA CAMPAMENTO		25/11/2011	EN PROCESO	
<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>									
A	SUPERINTENDENCIA MT	Reellenos Ciudad	Habilitación de un DME de material común	18/11/2011	SUPERINTENDENCIA MT	27 días		POR INICIAR	Bobadero 14 dentro en POD 2919 (entre DME 1 y 11). Diseño pendiente por mayores prioridades del proyecto (canal de coronación). En STAND-BY por XG.MT ENTITICA RFI. Ingeniería debe de enviar la documentación necesaria.
<b>VIVIENDAS</b>									
A	SUPERINTENDENCIA VIVIENDAS	ALMACENES	Plan de almacenes - implementación de almacén satélite	01/12/2011	ADMINISTRACION		01/12/2011	EN PROCESO	
A	SUPERINTENDENCIA VIVIENDAS	ALMACENES	Se indicarán instalaciones necesarias en el almacén satélite	01/12/2011	ADMINISTRACION		01/12/2011	POR INICIAR	
<b>AREAS DE SOPORTE</b>									
<b>OFICINA TÉCNICA</b>									
A	SUPERINTENDENCIA CAMPAMENTO	Camp 2000 - F1- Bandejas y Tapas Metálicas	SUMINISTRO (Suministro estimado en 3 semanas y 1 de traslado) - METCO .GRUPO 1 ELECTROGENO	30/10/2011	JEFE DE OFICINA TECNICA		14/11/2011	EN PROCESO	EL 14 INGRESA EL MATERIAL A LOS ALMACENES DE LA AV. ARGENTINA SEGUNTO PROCURA
<b>PROCURA</b>									
A	SUPERINTENDENCIA MT	Lineas de Conduccion de Agua	Llegada de 02 Equipos de Termofusion y Operadores.	14/10/2011	JEFATURA PROCURA		10/11/2011	EN PROCESO	Status: 02 ya se encuentra en obra, la 3ra la entregan en Lima el lunes 07 y la 4ta el miércoles 08, por lo que las 02 restantes recién se movizarán el Jueves 10
<b>INGENIERIA</b>									
A	SUPERINTENDENCIA MT	Mantto de Vías	Diseño de sistema de drenaje Pluvial-Accessos Provisionales	01/11/2011	INGENIERIA		18/11/2011	POR INICIAR	GMAA validará los diseños, a la espera del RFI correspondiente. REV DEL RFI 073
<b>ADMINISTRACIÓN</b>									
A	SUPERINTENDENCIA CAMPAMENTO	Construccion de Plantas de Concreto y agregados	Status de Licencia Interna de Operadores	18/10/2011	ADMINISTRACION		01/11/2011	LEVANTADA	UNICON SUSCONTRATA A LOS OPERADORES DE HAGENSA, SE REALIZO EL TRAMITE RESPECTIVO PARA EL PROYECTO , 08 OPERADORES CUENTAN CON PERMISO DE MANEJO Y 02 EN CURSO DE CERTIFICACION / SE TERMINO DICHA GESTION HABILITANDO 12 OPERADORES
<b>EQUIPOS</b>									
A	SUPERINTENDENCIA CAMPAMENTO	MONTAJE DE CONTAINERS (8 UNDS DE 20P3: 7 ALMACEN Y 1 DE OFICINAS)	LIBERACION DE CONTENEDORES DE OFICINA Y UNO DE ALMACEN QUE DEBEN SER REUBICADOS, ACTUALMENTE UTILIZADOS PARA EL TALLER DE AVANZADA. TALLER DE MECANICA	08/10/2011	JEFATURA EQUIPOS		21/11/2011	LEVANTADA	Los contenedores estan liberados, para que sean ubicados en el taller de avanzada.
<b>CALIDAD</b>									
A	SUPERINTENDENCIA CAMPAMENTO	Cierre contractual de campamento	Documentación requerida para cierre contractual.	25/10/2011	JEFATURA CALIDAD		14/11/2011	POR INICIAR	PENDIENTE DE CONFIRMACION CON XTSRATA 2519
A	INGENIERIA	Estudio de mecanica de suelos con fines de pavimentacion.	Ejecucion de calicatas y muestreo, resultados de ensayos de laboratorio.	12/11/2011	JEFATURA CALIDAD				Ingeniería debe de especificar la ficha de inicio y el apoyo que requiere por parte del área de calidad.
<b>CONTRATOS P/R GEOMÁTICA</b>									

- **Causas de Incumplimiento (CI):** Identificar y eliminar las causas que no permitieron obtener el 100% de cumplimiento del plan semanal, así como aprender sistemáticamente de las experiencias de se obtuvieron en el proyecto con el fin de no cometer errores repetitivos (mejora continua).

Tabla N° 31: Análisis de las causas de incumplimiento del proyecto

		CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO																													
Semana	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51				
Último día de la Semana	24-Jul	31-Jul	07-Ag	14-Ag	21-Ag	28-Ag	04-Sep	11-Sep	18-Sep	25-Sep	02-Oct	09-Oct	16-Oct	23-Oct	30-Oct	06-Nov	13-Nov	20-Nov	27-Nov	04-Dic	11-Dic	18-Dic	25-Dic	01-Ene	08-Ene	15-Ene	22-Ene				
PROG [Programación GyM]	20		33	6	45	8	14	25	40	17	65	60	45	11	8	20	22	20	20	15	25	20	34	45	45	45	84				
LOG [Logística GyM]				2																											
QA/QC [Control de Calidad]																															
EXT [Externos]	5	22				47														33		11			7	7					
CLI [Cliente/Supervisión]																	4					2			26	25					
EJEC [Errores de Ejecución]				5																											
SC [Subcontratistas]			3	3	10	10	14	12	3	4	23	12	12	4	35	24	8	11	33	20	35	16	7		17						
EQ [Equipos GyM]																															
ADM [Administrativos GyM]	4						8																								
<b>TOTAL INCUMPLIDAS</b>	<b>29</b>	<b>25</b>	<b>38</b>	<b>21</b>	<b>55</b>	<b>69</b>	<b>34</b>	<b>28</b>	<b>44</b>	<b>40</b>	<b>77</b>	<b>72</b>	<b>49</b>	<b>46</b>	<b>32</b>	<b>32</b>	<b>33</b>	<b>53</b>	<b>40</b>	<b>63</b>	<b>41</b>	<b>40</b>	<b>34</b>	<b>62</b>	<b>78</b>	<b>73</b>	<b>84</b>				

		PORCENTAJE DE PLAN CUMPLIDO [PPC]																													
TOTAL ACTIVIDADES	72	60	110	63	155	180	150	93	155	145	231	231	220	242	177	250	265	280	300	405	280	299	246	430	490	455	350				
PPC SEMANAL	39%	40%	45%	47%	58%	61%	67%	62%	65%	62%	64%	64%	65%	66%	67%	68%	69%	69%	70%	70%	71%	72%	72%	72%	73%	73%	79%				
PPC ACUMULADO	59%	58%	59%	60%	61%	61%	62%	63%	63%	64%	64%	64%	65%	66%	67%	68%	69%	69%	70%	70%	71%	72%	72%	72%	73%	73%	73%				

CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO ACUMULADAS - VIVIENDAS NFB

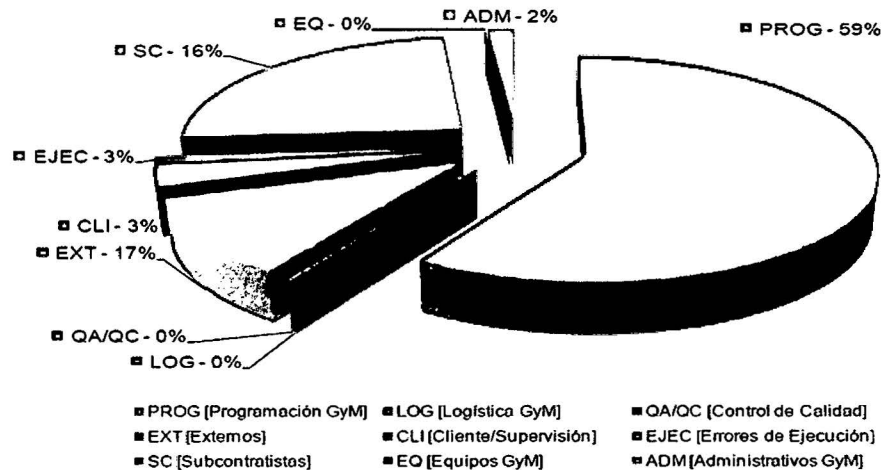


Figura N° 70: Causas de Incumplimiento Acumulado

**c. Reuniones de soporte**

Esta reuniones como su propio nombre lo indica fueron de “soporte” y sirvieron para apoyar las decisiones de todas las áreas del proyecto como Gerencia del proyecto, Diseño, Producción, Oficina Técnica, Procura, Logística, Seguridad, Calidad, Recursos Humanos, en coordinación con el cliente para cumplir con el objetivo principal del proyecto. Así se tienen las siguientes reuniones:

- **Reuniones semanales de producción**

Estas reuniones son con el objetivo de:

- Revisión del Lookahead y restricciones.
- Revisión del PPC y CIs para el soporte y la toma de medidas correctivas del equipo de producción (proceso de mejora continua)
- Alinear objetivos de producción.
- Coordinar tareas de campo para que no existan interferencias.

- **Reuniones de semanales de proyecto**

Estas reuniones fueron a un nivel gerencial y con los representantes de las áreas del proyecto y su objetivo fue la revisión estado global del proyecto en términos de productividad, avance acumulado y control de costos, así como tomar decisiones que ayuden a las áreas del proyecto.

- **Reuniones diarias cliente-contratista (POD)**

En estas reuniones diarias tenían la participación activa de los representantes del cliente y de los representantes del contratista. El objetivo era alinear objetivos y levantar restricciones que impedían el flujo normal de actividades en el proyecto completo.

**d. Objetivo de la programación basada en LPS y AR:** Los objetivos de tras de esta rutina de programación son:

- Proteger el plan.
- Evitar que el plan sea reactivo.
- Asegura la productividad y el cumplimiento del plazo establecido, incluso plantear una entrega antes de plazo.
- Cumplir con el objetivo principal del proyecto.

**e. Beneficios obtenidos:** Los benéficos obtenidos son muchos, pero resaltaremos el aspecto más importante que es la productividad en obra.

- **Control de la productividad**

La productividad en la fase de construcción se vio afectada positivamente debido a la implementación del Sistema Último Planificador LPS, desde el diseño, expresada como la relación en ratios de producción o índices de productividad (IP) de las partidas más influyentes (comodines) establecidos entre el cliente y el contratista. Estos ratios de producción expresados en unidades de producción (hh/m<sup>3</sup>, hh/kg, etc) y se emiten en el Informe de Productividad (Tabla N°32).

Tabla N° 32: Indicador de productividad

REPORTE DE CONTROL DE PRODUCTIVIDAD (IP DE MO)															
Proyecto: CIUDAD NIIFVA FUJERARAMBA Semana: 1 Fecha: 23/12/2012 Frente: EDIFICACIONES RESIDENCIALES				Filtrar											
CÓDIGO	PARTIDAS DE CONTROL	UND	INFLUY E	AVANCE			HORAS HOMBRE				PRODUCTIVIDAD (RATIO)				
				METRADO TOTAL	METRADO ACUM REAL	% ACUM REAL	HH TOTAL PREVISTO	HH ACUM PREVISTO	HH ACUM REAL	HH PROY SALDO	RATIO META C-T	RATIO ACUM REAL	RATIO SEMANA ACTUAL	RATIO META SALDO	RATIO PROY SALDO
				Y											
1103	Eliminación de Material Excedente (Solo transporte a punto de acopio)	m3	S	7,364.48	2,402.96	32.63%	18,377	6,120	5,023	12,257	2.55	2.51	-	2.47	2.47
1104	Estructuras metálicas	kg	S	630,566.78	-	0.00%	313,577	-	2,507	313,577	-	Falta avance	Falta Avance	0.50	0.50
1105	Paneles y Coberturas	m2	S	51,249.06	12,792.12	24.96%	55,708	13,370	29,114	41,803	1.05	2.78	0.47	1.10	1.09
1107	Excavación Localizada	m3	S	9,697.38	3,569.19	36.81%	30,909	11,396	41,094	19,513	3.19	11.51	-	3.18	3.18
1108	Transporte de Movimientos de Tierras	m3-km	S	0.00	-	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1109	Relleno Localizado	m3	S	3,822.04	1,360.63	35.60%	22,673	8,072	8,161	14,601	5.93	6.00	-	5.93	5.93
1110	Concreto en Obra	m3	S	0.00	-	0.00%	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1111	Colocación de Concreto	m3	S	47,855.94	17,083.96	35.70%	84,452	30,401	44,750	55,697	1.78	2.62	Falta HH	1.82	1.81
1112	Encofrado	m2	S	403,816.43	118,651.29	29.38%	434,264	127,610	175,320	285,165	1.08	1.43	-	1.08	1.00
1113	Acero de Refuerzo	kg	S	2,776,430.22	945,471.76	34.05%	279,095	100,648	107,490	177,409	0.1065	0.1137	-	0.0975	0.0970
1115	Muros de Albañilería	m2	S	8,761.70	2,529.56	28.87%	11,397	3,032	18,363	8,113	1.22	7.26	Falta Avance	1.33	1.30
1116	Revoques y Enlucidos	m2	S	416,243.33	115,470.74	27.75%	382,713	102,845	150,418	275,935	0.89	1.33	0.94	0.93	0.92
1117	Pisos y Contrapisos de Cemento	m2	S	22,450.00	3,859.22	17.19%	34,107	5,876	2,780	28,204	1.52	0.72	0.17	1.52	1.52
1118	Terminaciones	und	S	339.00	1.40	0.41%	14,125	58	589	14,067	41.67	420.35	-	41.67	41.67
1119	Revestimiento cerámico o similares	m2	S	73,514.84	8,340.72	11.35%	92,691	7,188	12,953	82,144	0.86	1.55	3.90	1.31	1.26
1120.1	Carpintería de madera (incl. puertas y cerrajería)	und	S	8,384.00	1,975.77	23.57%	45,765	7,903	38,011	34,911	4.00	19.24	35.32	5.91	5.45
1120.2	Carpintería de madera (incl. barandas)	ml	S	9,916.06	-	0.00%	53,674	-	-	53,674	-	-	-	5.41	5.41

Cada comodín es controlado diariamente por su Ratio o IP a lo largo de la fase de construcción con el fin de ver su desarrollo y estos a su vez se pueden ser resumidos en semanas y/o meses. Esto ayudó al equipo de proyecto a identificar sus capacidades de control de cada actividad en el proceso y compararlo con el ratio meta o ratio retorico (previsto) que fue fijado por el equipo de diseño.

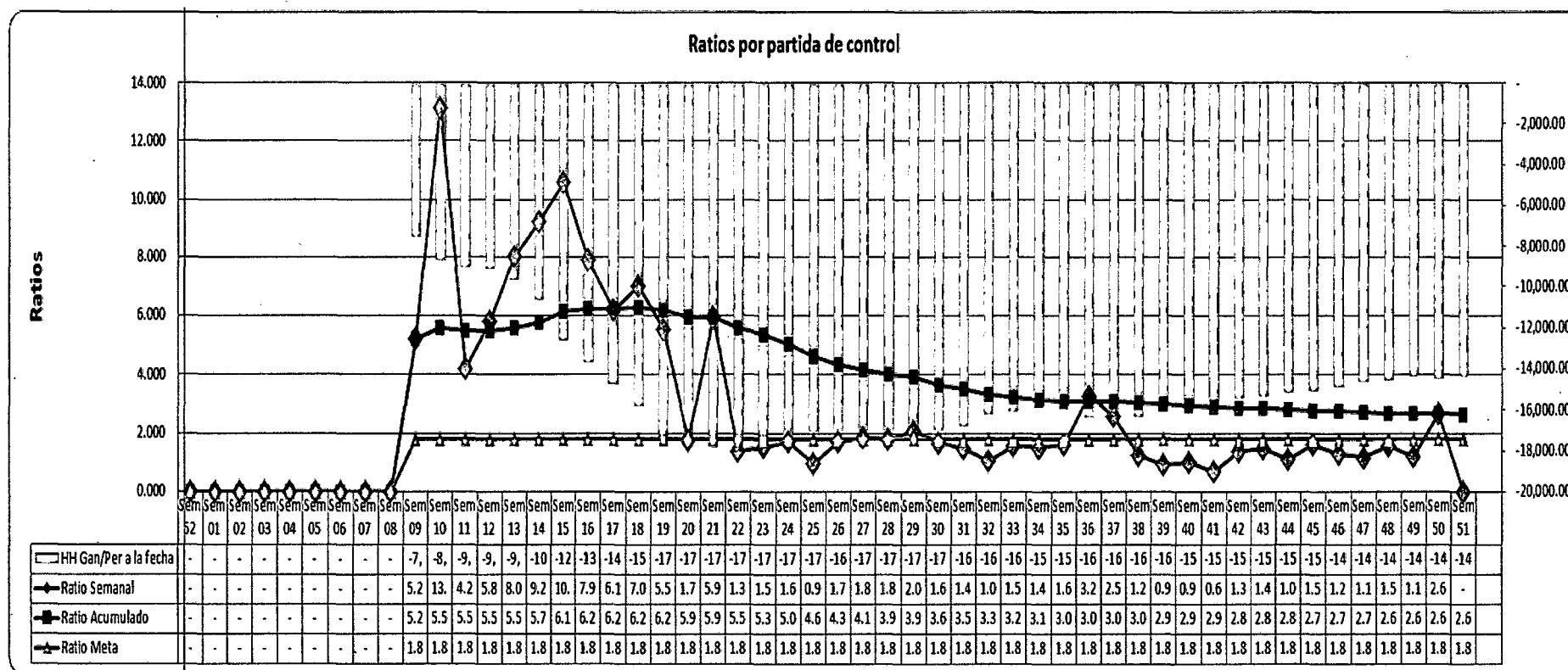


Figura N° 71: Histórico de Ratio Real o IP Real con relación al Ratio Meta o Previsto



## CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1. Análisis y discusión de resultados

- Los errores y deficiencias del modelo tradicional de diseño como incompatibilidades e interferencias en los documentos contractuales y sus efectos en las fases subsecuentes como ampliaciones de plazo y presupuesto, abandono de obra, etc.; son minimizados con la implementación del Sistema Integrado BLG, ya que el trabajo estructurado en base a “modelos” que fusionen principios Lean, fundamentos BIM y criterios sostenibles Green aseguran una alta calidad de información desde fases tempranas del proyecto donde los involucrados tienen la capacidad de manejar el riesgo, incertidumbre, y el costo; caso que en el modelo tradicional es imposible de realizar debido a la fragmentación de procesos de diseño y construcción.
- El modelo actual está fragmentado y muchos de los problemas en el ciclo de vida del proyecto son debidos a esta fragmentación, ya que los interesados y sus intereses son diferentes en cada fase; por lo tanto, no existe una comunicación, colaboración, creatividad y mejora continua en el proceso; así pues sólo una reconfiguración contractual del Sistema tradicional de Entrega de Proyectos (Diseño-Licitación-Construcción y Diseño-Construcción), permitirá un cambio para la implementación exitosa del Sistema Integrado BLG, así como una reducción de tiempo y costo dado a la eficiencia de trabajar con procesos continuos en base a modelos.
- El Sistema Integrado BLG fomenta el uso de “modelos virtuales”, interoperables y multidisciplinarios para realizar la “simulación de procesos antes de construir” alejándose del modelo tradicional basado en diseño 2D. Esto permite evaluar múltiples alternativas de diseño y planes de construcción mediante la simulación y visualización de conjunto del flujo de procesos de actividades de la fase de construcción que eran imposibles en el modelo tradicional dado que la información se basaba en el papel y en planos 2D, donde la información es ambigua y poco clara.
- BIM, Lean, y Green comparten en esencia un mismo objetivo, el cual es “reducir los desperdicios, agregar valor al producto, mejorar la comunicación, colaboración, y la transparencia en el proceso de generación de la información en el Sistema de Entrega de Proyectos de Construcción”, para minimizar

errores y deficiencias del diseño tradicional causadas por la falta de comunicación, colaboración entre los involucrados. Un sistema Integrado basado en BIM, Lean y Green, a diferencia del modelo tradicional de diseño; va a crear un ambiente donde la comunicación, colaboración y transparencia se concreta entre las personas adecuadas en el momento adecuado, lo que permite que se considere una información correcta ingresada a los modelos BLG para la entregar eficiente de la información de diseño.

- Las capacidades del Sistema Integrado BLG facilitarán el desarrollo de moldeos 3D-BIM, 4D-BIM, 5D-BIM, 6D-BIM y 7D-BIM que permita a la industria de la construcción, utilizar y aplicar información de la que nunca ha sido capaz de hacer antes en el modelo tradicional, ya que estos tipos de información era utópicos antes de BLG.

La idea general detrás de BIM, Lean, y Green es visualizar los problemas para solucionarlos antes de que una solución de diseño vaya a la fase de producción o construcción. Esto podría asemejarse a un río donde se tiene que bajar el nivel de agua para poder ver las rocas, lo que significa que una línea de producción, por ejemplo, identificar si un proyecto está destinado al fracaso. El aspecto que causa el fracaso es entonces el eslabón más débil de la cadena de producción. Si los problemas no se cortan en el diseño que finalmente se revelarán en cualquier producción, construcción o, peor aún en funcionamiento en el que se va a ser a la vez más lento y costoso para arreglar los problemas. El problema de los errores revelados en un proyecto convencional, es que no hay lugar para los errores; alguien siempre tiene que ser hecho responsable de inmediato por el error. Las personas tienden a pasar más tiempo en limpiar su propia imagen y *"tirar la pelota"* a la otra persona en lugar de pensar *"que el sistema no es lo suficientemente bueno, y que era posible cometer un error, y por lo tanto el sistema tiene que ser rediseñado para ser más sólido"*

*"Es posible que los Directores de Proyectos necesiten un poco menos de aprendizaje en materias cuantitativas, pero algo más en capacidad de juicio y en conocimiento de sí mismos, así como en una comprensión más profunda de la naturaleza humana."*

Los efectos positivos de una integración de BIM, Lean, y Green como un Sistema Integrado BLG basado en el análisis de la teoría y del caso de estudio se pueden mencionar:

- Disminuir errores y deficiencias en la calidad, estimación de costos y programación, logística y procura.
- Mejorar la eficiencia de la productividad en la fase de ejecución
- Minimiza el costo del proyecto.
- Minimiza el tiempo del ciclo de vida del proyecto.
- Mejora la calidad del producto final.
- Incrementa la confiabilidad y transparencia mediante la comunicación y colaboración.
- Disminuye la variabilidad y el riesgo a niveles controlables.
- Mejora seguridad en obra en la fase de construcción.
- Mejores posibilidades de operación y mantenimiento
- Crea una cultura sostenible responsable
- Crea Flujo y valor durante el proceso de diseño.
- Impulsa a la prefabricación como planteamiento para reducir desperdicios y acelerar el proceso constructivo.

El Sistema Integrado BLG se basa en la confianza, la colaboración y la transparencia los cuales son todos nuevos en comparación con el método convencional y ahora se necesita cambiar esta realidad. El objetivo de cada involucrado en el proceso debe ser la "*predicción y proactividad*" y nunca la reacción.

El Sistema Integrado BLG propuesto exige en conclusión, que los involucrados cambien su perspectiva hacia una nueva forma de realizar el proceso de diseño, para ver al sector construcción no como un medio de obtener beneficios personales, sino como un instrumento para el desarrollo colectivo del país; considerando que la educación es la base del cambio que necesita la sociedad, así pues el contexto actual y la proyección futura en el sector construcción en el país tendrá muchos desafíos que enfrentar:

- Proyectos cada vez mayores y más complejos;
- Tiempos cada vez más cortos;

- Dependencia creciente de tecnologías avanzadas;
- Gran número y heterogeneidad de Involucrados o stakeholders;
- Escasez de recursos (profesionales) cualificados;
- Condiciones contractuales más exigentes;
- Condiciones y acceso a la financiación, volátil y difícil;
- Mayor componente multinacional: equipos, directores, gestores, consultores y auditores, proveedores, ámbito geográfico (local vs global);
- Combatir la ignorancia en base a la educación basada en competencias;
- Combatir la corrupción que no deja que los proyectos de desarrollen de una manera eficiente;
- Regulaciones de estado.

#### **4.2. Contrastación de hipótesis**

Dada las características de esta investigación, la Hipótesis planteada se contrasta con la realidad observada de la integración e implementación de estudio planteado.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- La Integración BIM, Lean, y Green (BLG) como un “*sistema integrado*” se concreta en base al análisis de interrelación entre los principios de la filosofía Lean, fundamentos de la metodología BIM y criterios de sostenibilidad Green, que resultan en diez relaciones de interacción soportados en diez fundamentos que son la base del Sistema Integrado BLG. Así que, la implementación del sistema aumentará la calidad de la información generada en la fase de diseño, minimizando errores y deficiencias del modelo tradicional, pasando de modelos 2D a modelos 3D inteligentes, interoperables y multidisciplinarios.
- La implementación del Sistema Integrado BLG exige por lo tanto, una reconfiguración contractual del Sistema tradicional de Entrega de Proyectos (Diseño-Licitación-Construcción y Diseño-Construcción), para la implementación exitosa del sistema desde fases tempranas de un proyecto y para que el efecto sea positivo en términos de reducción de tiempo y costos.
- El Sistema Integrado BLG mediante el uso de modelos virtuales, interoperables y multidisciplinarios realiza un Diseño y Construcción Virtual para *simular procesos antes de construir* alejándose del modelo tradicional de diseño basado en 2D. Esto permitirá evaluar múltiples alternativas de diseño y planes de construcción mediante la simulación y visualización de conjunto del flujo de procesos de actividades de la fase de construcción que eran imposibles en el modelo tradicional.
- La implementación temprana de un Sistema BLG minimiza el tiempo y costo del ciclo de vida de un proyecto de construcción debido a que los procesos de la generación de la información de diseño se aceleran gracias a la creación de un equipo BLG dentro de un ambiente de trabajo BLG, con uso de *modelos BLG* que las herramientas TIC modernas permiten realizar hoy en día.

## **5.2. Recomendaciones**

- Se recomienda a la Facultad de Ingeniería, incentivar la investigación relacionado al Sistema Integrado BLG, en proyectos de construcción, a efectos de obtener una base de datos cuantitativa, que resulte en porcentajes medidos de la realidad, en términos de tiempo costo y calidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AGC, 2006. The Contractors' guide to BIM. 1° Edicion, The Associated General Contractors of America, US., P 1-48.
- AGI, 2009. The Theory of Constraints and its Thinking Processes. Avraham Y. Goldratt Institute, LP, New Haven, Estados Unidos. Disponible en página web: <http://www.goldratt.com/pdfs/toctpwp.pdf>.
- AIA, 2014. A Working Definition – Integrated Project Delivery. Dodge Sweets Architectural Records ENR Regional Publications. Disponible en la página web: <http://www.aia.org/groups/aia/documents/pdf/aiab083423.pdf>
- Alcántara, P. 2013. Metodología para Minimizar las Deficiencias de Diseño Basada en la Construcción Virtual Usando Tecnologías BIM. Tesis de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional De Ingeniería, Lima, Perú.
- Autodesk, 2014. Navisworks. Disponible en <http://www.autodesk.com/products/navisworks/overview>
- Autodesk-Revit, 2014. Sobre El entorno Revit 2015, Publicado en el blog “Everything Autodesk Revit & BIM”, consultado en línea el 4 de Septiembre de 2014 en: <http://autodesk-revit.blogspot.com/>
- Azhar, S. 2011. Building Information Modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. Leadership and Management in Engineering.
- Ballard, G. 2000. The Last Planner System of Production Control. Ph D Dissertation, School of Civil Engineering, Facultad de Ingeniería, Universidad de Birmingham, Birmingham, U.K. Disponible en página web: <http://www.leanconstruction.org/media/docs/ballard2000-dissertation.pdf>.
- Ballard, G. y Howell, G. 2005. Relational Contracting and Lean construction. Lean Construction Journal 2005, U.K., P 1-112.
- Ballard, G. y Reiser, P. 2004. The st. Olaf college fieldhouse project: A case study in Designing to Target Cost. IGLC-2004 Denmark, U.K.
- Ballard, G. 2006. Rethinking project definition in terms of target costing, Proceedings IGLC– 14 July 2006, Santiago, Chile.
- Ballard, G., Liu, M., Kim Y. W., Jang, J.W. 2007. Roadmap for Lean Implementation at the Project Level. Construction Industry Institute, Universidad de Texas, U.S.
- Bradley, A. y Hyatt, P. 2011. A Case Study in Integrating Lean, Green, BIM into an Undergraduate Construction Management Scheduling Course. Universidad de California, California, Estados Unidos. Disponible en la página web: <http://ascpro0.ascweb.org/archives/cd/2011/paper/CEUE304002011.pdf>
- Building smart, 2010. The Industry Foundation Classes (IFC). Disponible en la página Web: [http:// www. buildingsmart.org/standards/ifc/model-industry-foundation-classes-ifc](http://www.buildingsmart.org/standards/ifc/model-industry-foundation-classes-ifc).
- Eastman, C. 1975. The use of computers instead of drawings in building design, Journals of the American institute of architects.
- Eastman, C., Teicholz P., Sacks, R., Liston, K., 2008. BIM Handbook A guide to building Information Modeling for owners, Managers, Designers engineers, and Contractors. John Wiley & Sons, Inc.
- EPA, 2014. Disponible en página web: <http://www.epa.gov/greeningepa/projects/index.htm#greenbuildings>.
- GGGC, 2014. What is a Green Building? Governor's Green Government Council, Pennsylvania, U.S. Disponible en página web:

[http://www.epa.gov/statelocalclimate/documents/pdf/12\\_8\\_what\\_is\\_green\\_GG\\_GC.pdf](http://www.epa.gov/statelocalclimate/documents/pdf/12_8_what_is_green_GG_GC.pdf).

- IPMA, 2006. ICB: IPMA Competence Baseline.** 3° edición, International Project Management Association, Disponible en página web: <http://www.ipma.ch/assets/ICB3.pdf>
- IPMA, 2011. ICBC Addition to the IPMA Competence Baseline for PM Consultants.** 1° edición, International Project Management Association, Disponible en página web: [http://www.gpm-ipma.de/fileadmin/user\\_upload/Qualifizierung\\_\\_\\_Zertifizierung/Berater\\_im\\_PM/ICBC\\_final\\_web.PDF](http://www.gpm-ipma.de/fileadmin/user_upload/Qualifizierung___Zertifizierung/Berater_im_PM/ICBC_final_web.PDF).
- IVM, 2014. What is Value?** Disponible en página Web: <http://ivm.org.uk/what-is-value-management>
- Izadi, H. 2013. Integrating BIM and Lean in the design Phase Investigating Collocated Design Meetings (iRoom).** Departamento de Ingeniería Civil y Medioambiente, Chalmers University Of Technology, Göteborg, P-1-52.
- Jeffrey, H. 2012. Adoption and implementation of BIM,** skanska, P 1-29. Disponible en la página web: <http://live.scri.salford.ac.uk/wp-content/uploads/2011/05/1.-H-Jeffrey-SCRI-Forum-Contractors-BIM-Skanska.pdf>.
- Joseph, L., Badaracco, J. 2006. Questions of Character: Illuminating the Heart of Leadership.**
- Koskela, L. 1992. Technical Report #72: Application of the New Production Philosophy to Construction,** CIFE, Universidad de Stanford, California, U.S., P 1-81. Disponible en la página web: <http://www.ce.berkeley.edu/~tommelein/Koskela-TR72.pdf>.
- Koskela, L. 1999. Management of Production in Construction: A Theoretical View** CIFE, Universidad de Stanford, California, Disponible en la página web: [http://usir.salford.ac.uk/9429/1/1999\\_Management\\_of\\_production\\_in\\_construction\\_a\\_theoretical\\_view.pdf](http://usir.salford.ac.uk/9429/1/1999_Management_of_production_in_construction_a_theoretical_view.pdf).
- Koskela, L. 2000. An Exploration Towards a Production Theory and its Application to Construction,** VIT Publications, Espoo 2000, Finlandia, P 1-298. Disponible en la página web: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2000/P408.pdf>
- Kunz, J., Fisher, M. 2012. Virtual Design and Construction: Themes, Case Studies and Implementation Suggestions.** CIFE working Paper #097, Universidad de Stanford, US, P 1-97.
- LCI, 2014. What is Lean Design & Construction.** Disponible en página web: <http://www.leanconstruction.org/about-us/what-is-lean-construction/>
- OSCE, 2012. Ley de Contrataciones del Estado y su Reglamento.** Primera Edición 2012, Ley N° 29873 de Contrataciones del Estado aprobada mediante D.L. N° 1017 y su Reglamento, aprobado por D.S. N° 184-2008-EF.
- Li, H., Huang, T., Kong, C. W., Guo, H. L., Baldwin, A., Chan, N., & Wong, J. 2008. Integrating design and construction through virtual prototyping.** Automation in Construction. P 1-19. Disponible en página web: <http://repository.lib.polyu.edu.hk/jspui/bitstream/10397/620/1/Integrating%20Design%20And%20Construction%20Through%20Virtual%20Prototyping.pdf>
- McGraw\_Hill Construction, 2010. Green BIM. for Construction.** SmartMarket Report, McGraw Hill Construction, US.P 1-56.
- McGraw\_Hill Construction, 2014. The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets.** SmartMarket Report, McGraw Hill Construction, US.P 1-64.



- Martínez, P., Gonzalez, V., Fonseca, E., 2009.** Integración Conceptual Green-Lean en el Diseño, Planificación y Construcción de Proyectos. Universidad de Valparaíso, Chile.
- Morris, P. W. G., 1994.** The management of projects. London: Thomas Telford.
- Neyra, G. 2008.** Asegurando el Valor En Proyectos de Construcción: Un Estudio de las Técnicas y Herramientas Utilizadas en la Etapa de Diseño. Tesis de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad Católica del Perú, Perú.
- Orihuela, P. 2011.** Lean Construction en el Perú. VII Corporación Aceros Arequipa. Construcción Integral, Boletín N°12, abril 2011, Perú.
- PMI, 2013.** Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK)", 5° edición, Project Management Institute, Pennsylvania, US. P 1-568.
- Porwal, V. 2014.** BIM+LEAN+GREEN. Publicado en el Blog "BIM+LEAN+GREEN" Enero 2011. Consultado en línea 5 de mayo de 2013 en: <http://bimleangreen.blogspot.com/>
- Price2.com, 2014.** Disponible en página web: <http://www.prince2.com/rest-world/training>
- Projectsmart, 2014.** A Brief History of Project Management. Disponible en página web: <http://www.projectsmart.co.uk/brief-history-of-project-management.php>.
- Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. A., & Owen, R. 2010.** Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction. Journal of construction engineering and management.
- Sacks, R. 2014.** BIM and Lean Construction, Can BIM remove waste from construction processes? Tekla European BIM Forum 2014.
- SNIP, 2000.** Ley N° 27293. Ley que crea el Sistema Nacional de Inversión Pública, Publicada el 28 de junio de 2000; modificada por las Leyes N°s. 28522 y 28802, publicadas el 25 de mayo de 2005 y el 21 de julio de 2006, respectivamente y por los Decreto Legislativo Nos. 1005 y 1091, publicados el 3 de mayo de 2008 y el 21 de junio de 2008, respectivamente.
- SNIP, 2011.** Directiva General del SNIP, Aprobada por Resolución Directoral N° 003 2011-EF/68.01, Publicada el 09 de abril de 2011, Modificada por: R.D. N° 002-2011-EF/63.01 (23 de julio de 2011).
- Tjell, A. J. 2010.** Building Information Modelling (BIM) in Design Detailing with Focus on Interior Wall Systems. University of California at Berkeley, US.
- USGBC, 2003.** Building Design and Construction. White Paper on Sustainability. Us., P4. Disponible en la página web: <http://www.usgbc.org/Docs/Resources/BDCWhitePaperR2.pdf>
- USGBC, 2014.** LEED Reference Guide for Building Design and Construction. 4° edición, U.S. Green Building Council, Estados Unidos. P 1-154.
- Vicosoftware, 2014.** What is 2D BIM, 3D BIM, 4D BIM and 5D BIM. Consultado el 5 de junio de 2014 en: <http://www.vicosoftware.com/what-is-grayscale-bim/tabid/88203/Default.aspx>
- Vries, J. 2006.** Los retos de la construcción sostenible en el Perú. Foro Ciudades para la Vida 2006, Lima, Perú.
- WEF, 2014.** The Global Competitiveness Report 2014–2015. World Economic Forum, P 322-323, Disponible en página web: [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_GlobalCompetitivenessReport\\_2014-15.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_GlobalCompetitivenessReport_2014-15.pdf).

## ANEXOS

El autor de esta investigación brinda tres ejemplos adicionales de proyectos donde se empleó el Sistema Integrado BLG, haciendo énfasis en la simulación, análisis y visualización de conjunto en base a moldeos integrales, inteligentes, multidisciplinarios e interoperables para impulsar la colaboración, comunicación y transparencia entre los principales involucrados en un proceso, todos esto encaminados a un único objetivo realizar un diseño eficientemente usando el uso razonable de los recursos.

(i) **PROYECTO:** Construcción del Skate Park- Cajabamba.

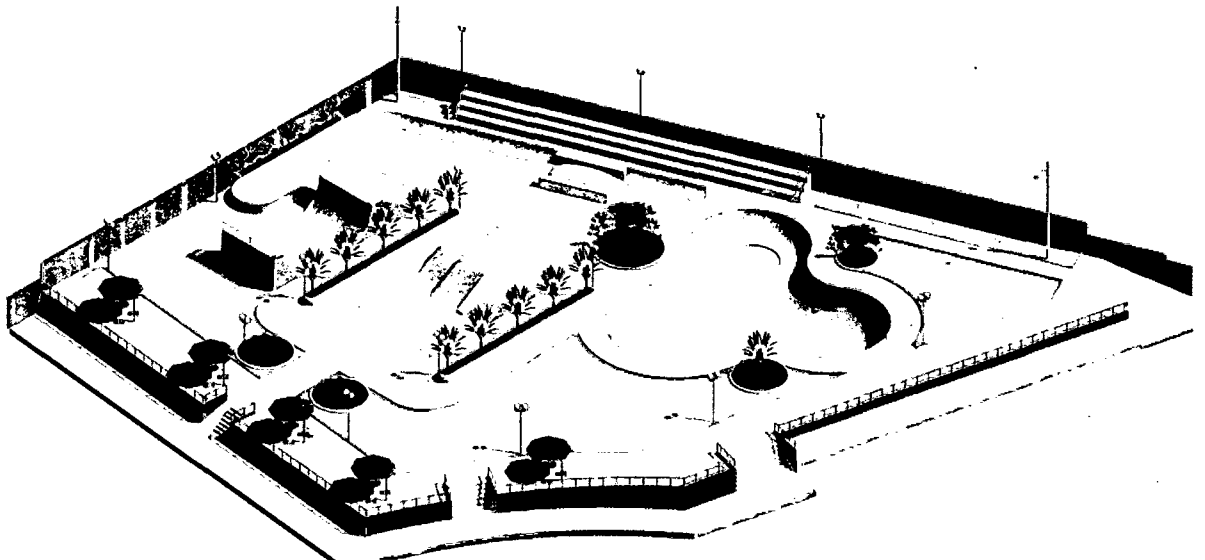


Figura N° 72: Modelo BIM, Sakate Park-Cajabamba visualización de conjunto (día)

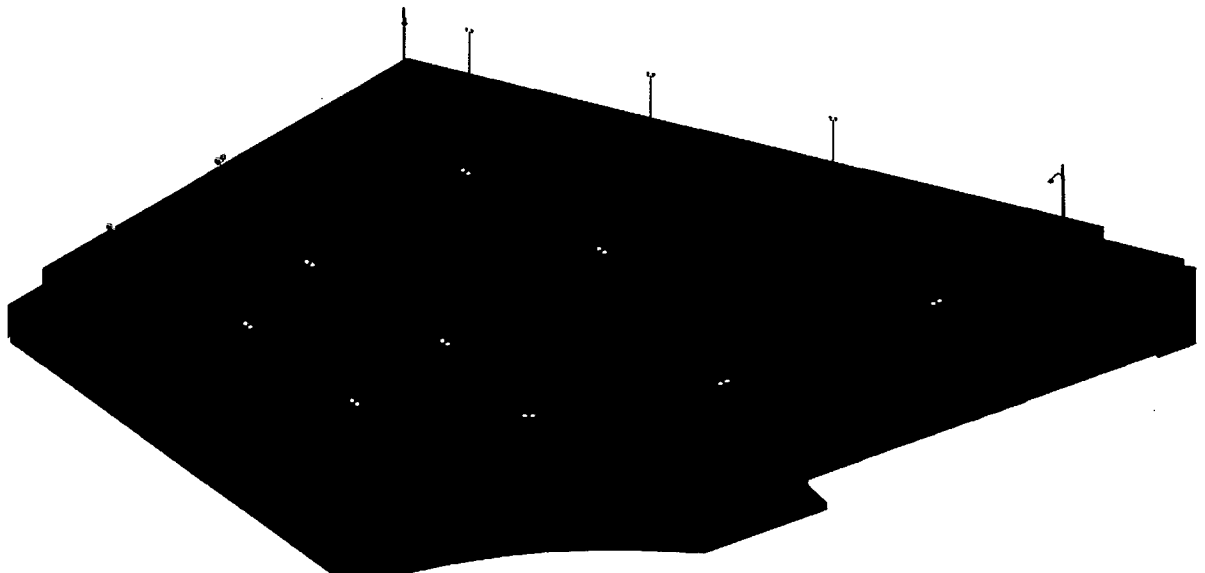


Figura N° 73: Modelo BIM, Sakate Park-Cajabamba visualización de conjunto (noche)

(ii) **PROYECTO:** Mejoramiento del Albergue de Niños Pampa Grande Cajabamba.

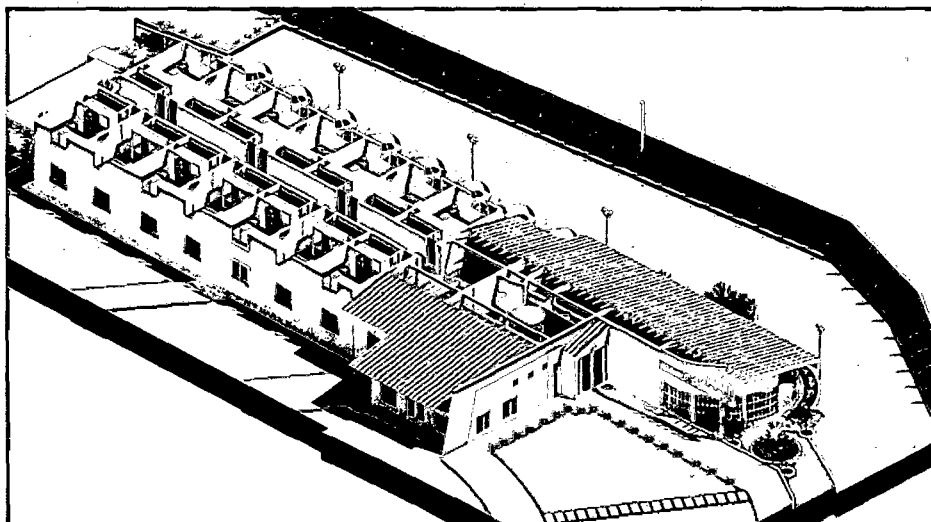


Figura N° 74: Corte horizontal del modelo BIM - Segundo Nivel

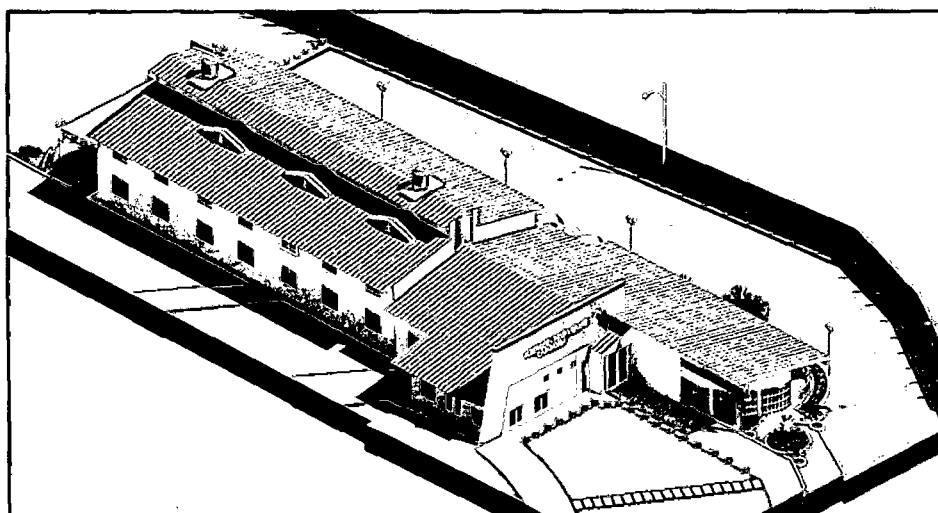


Figura N° 75: Modelo BIM Isométrico, Vista-1

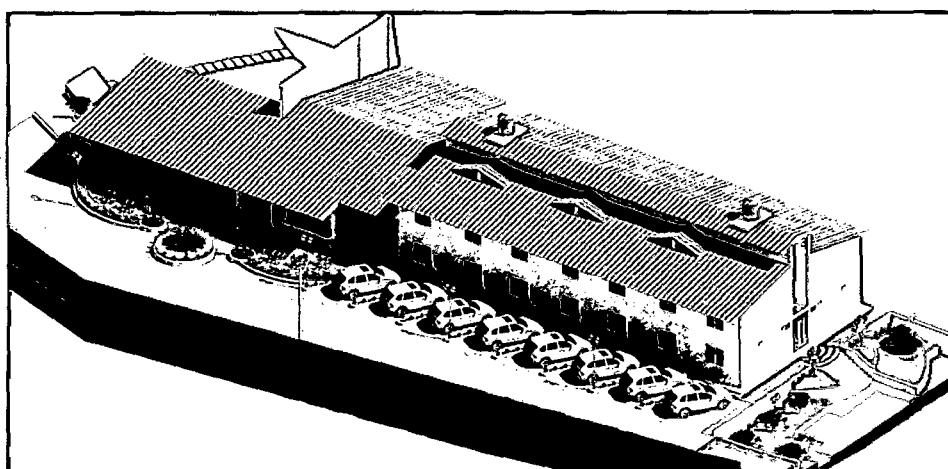


Figura N° 76: Modelo Isométrico, Vista-2



Figura N° 77: Análisis y simulación de iluminación artificial

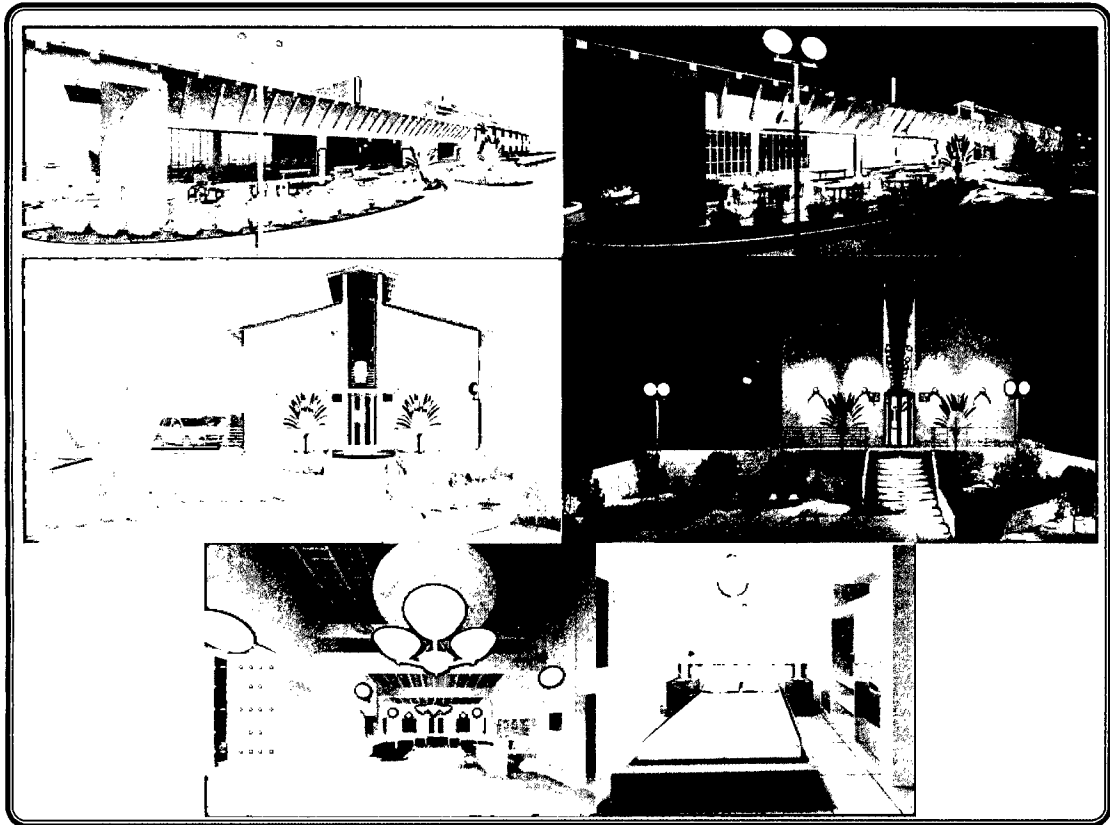


Figura N° 78: Diferentes Vistas extraídas del Modelo BIM

(iii) **PROYECTO:** Construcción de la Tribuna Preferencial del Estadio Municipal en el Distrito Cajabamba-Cajabamba-Cajamarca.

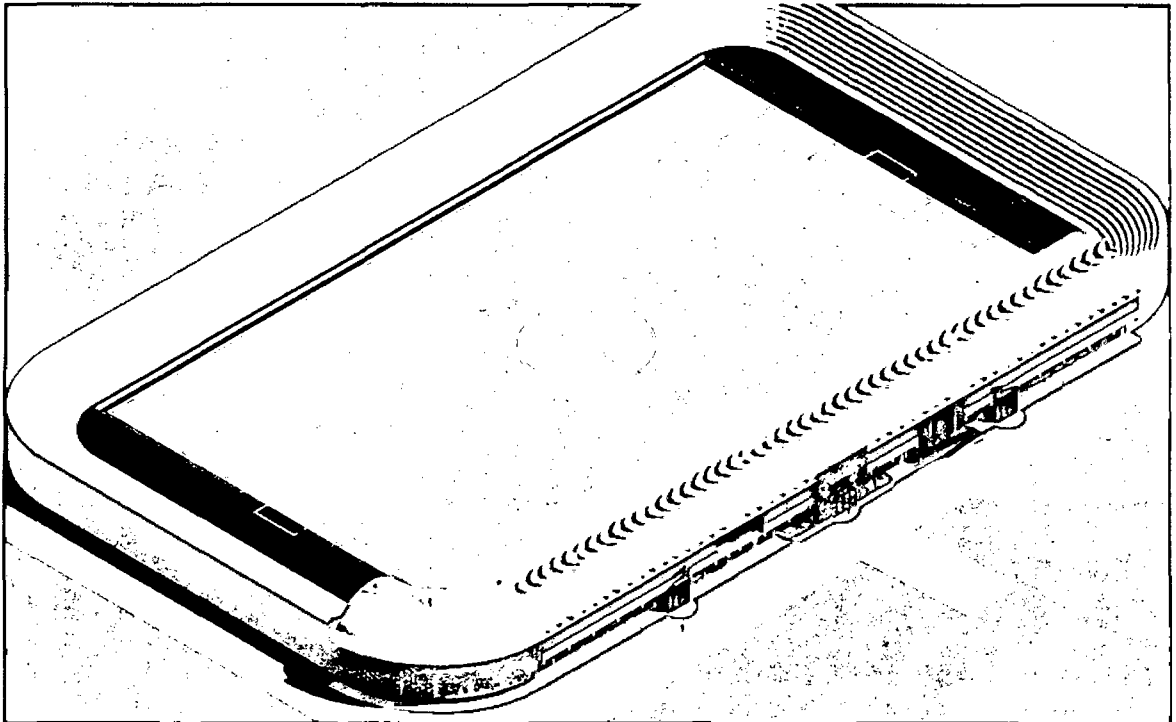


Figura N° 79: Modelo BIM del proyecto completo

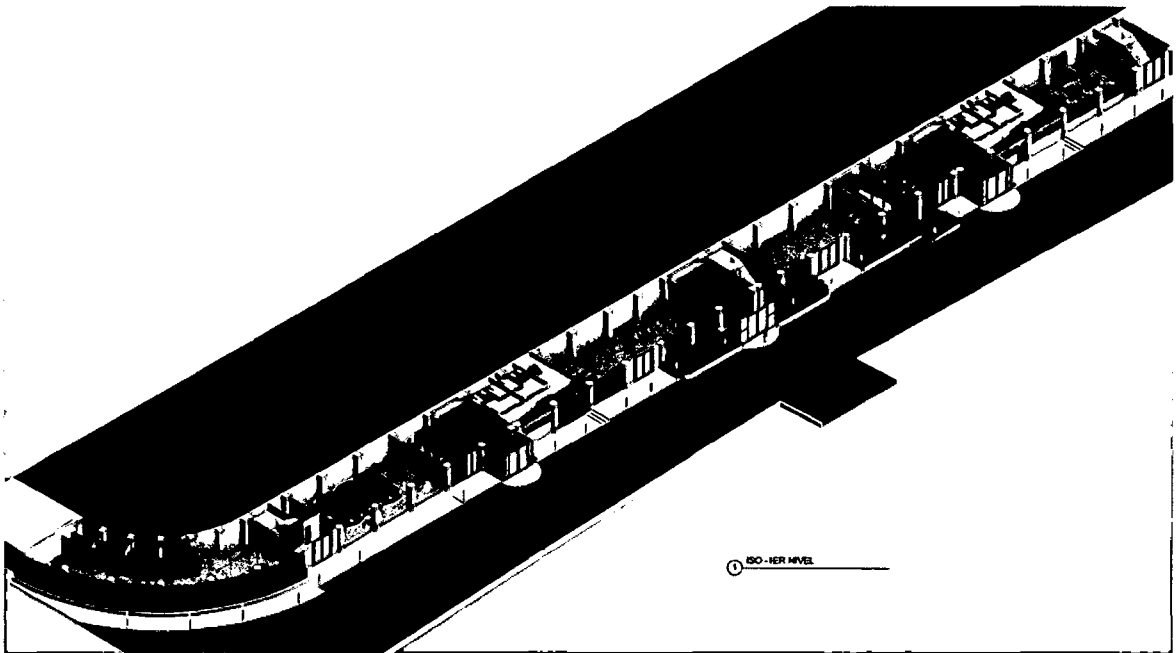


Figura N° 80: Corte horizontal del modelo - Primer Nivel

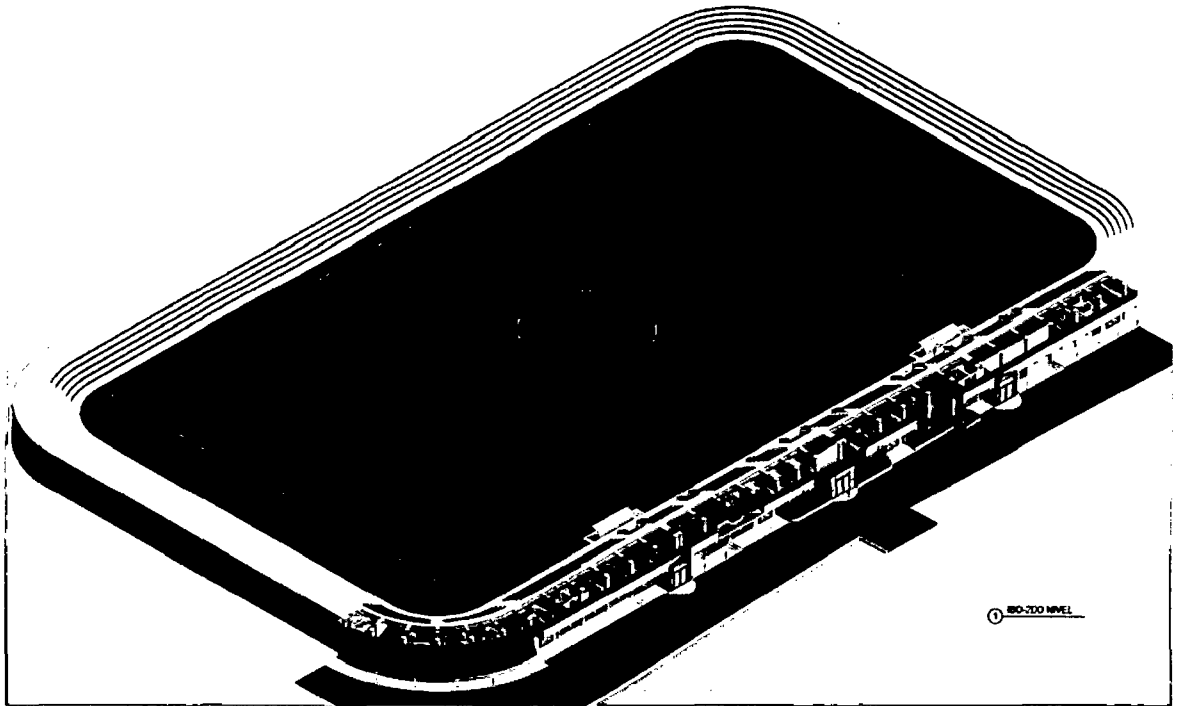


Figura N° 81: Corte horizontal del modelo BIM - Segundo Nivel

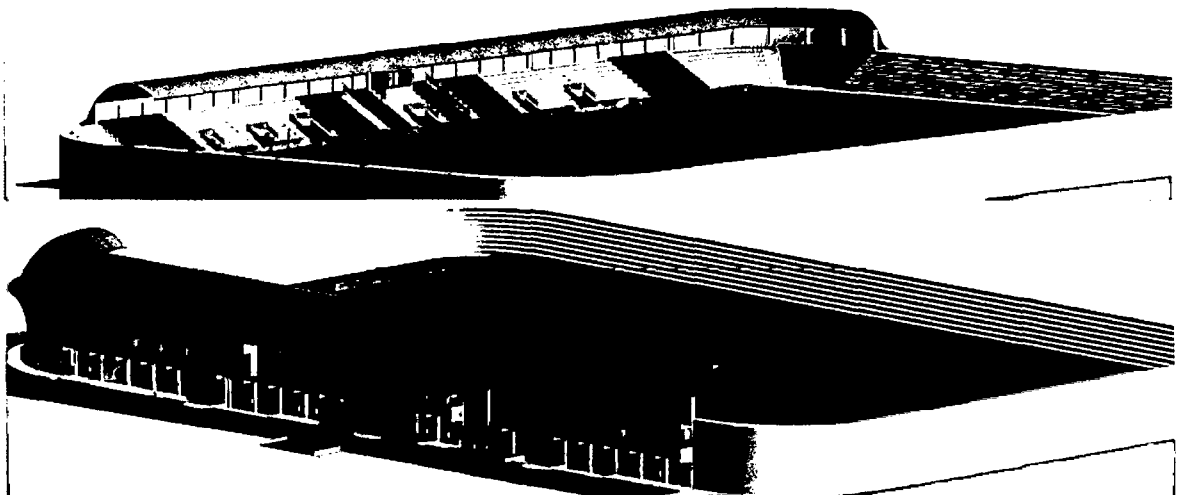


Figura N° 82: Isométrico del modelo BIM (fachada y tribunas del estadio)

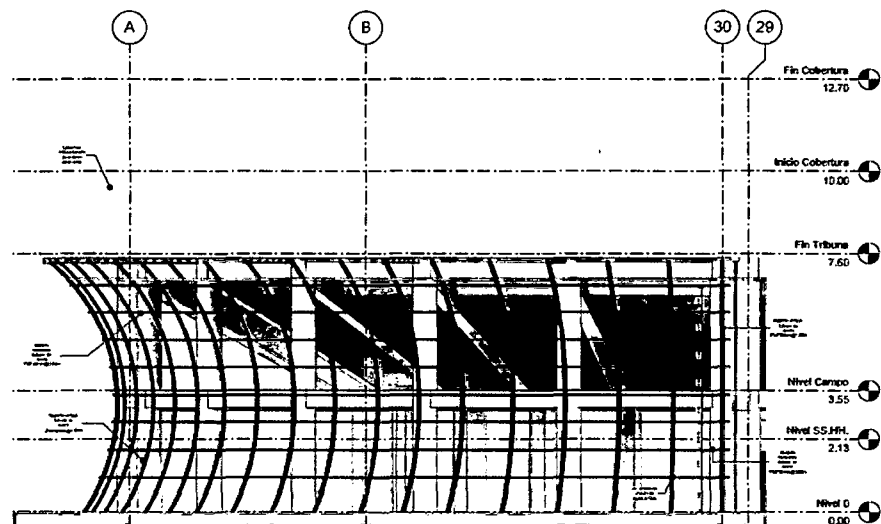


Figura N° 83: Extracción de planos desde el modelo BIM

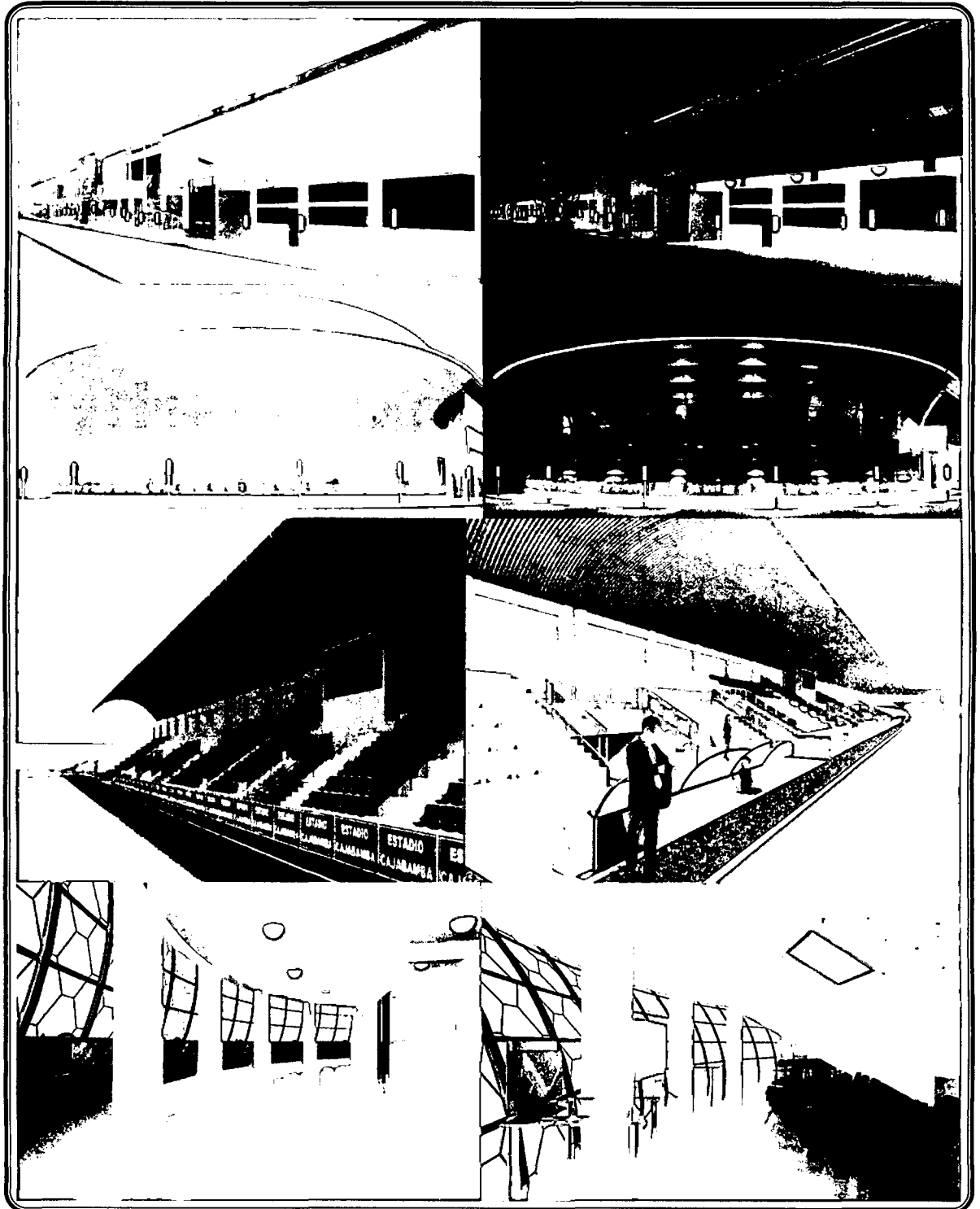


Figura N° 84: Diferentes Vistas extraídas del Modelo BIM