

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL**

**INTERACCIONES ENTRE BIM Y LEAN PARA LA INNOVACIÓN DE  
PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN EN ECUADOR**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL MENCIÓN ESTRUCTURAS**

**PAGUAY MONTEROS FRANK MARCOS  
frank.pm1993@gmail.com**

**REYES CRUZ JHONNY DAVID  
jhonnyr94@hotmail.com**

**DIRECTOR: ING. LATORRE AIZAGA HUGO JULIANNY  
hugo.latorre@epn.edu.ec**

**CO-DIRECTOR: ING. JORGE RICARDO VINTIMILLA JARAMILLO, MSc  
jorge.vintimilla@epn.edu.ec**

**Quito, Junio 2020**

## DECLARACIÓN

Nosotros, Paguay Monteros Frank Marcos y Reyes Cruz Jhonny David, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

Paguay Monteros Frank Marcos

---

Reyes Cruz Jhonny David

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Paguay Monteros Frank Marcos y Reyes Cruz Jhonny David, bajo nuestra supervisión.

---

Ing. Latorre Aizaga Hugo Julianny  
DIRECTOR DE PROYECTO

---

Ing. Jorge Vintimilla J. MSc.  
CO-DIRECTOR DE PROYECTO

## DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico principalmente a Dios, por ser guía e inspiración y por darme la fuerza necesaria para continuar en este proceso de obtener uno de los objetivos más anhelados para mí.

A mis padres quienes con amor, trabajo y sacrificio formaron una gran persona, gracias a ustedes he logrado encontrar el camino y llegar hasta aquí para convertirme en lo que hoy soy. He tenido el orgullo y el privilegio de tener a los mejores padres.

A mis abuelitos, seres invaluable, muy queridos y especiales para mí.

Al resto de mis familiares, mi hermana, tíos y primos, por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

Jhonny David Reyes Cruz

Este trabajo de titulación se lo dedico en primer lugar a Dios, por guiar y bendecir mis pasos en el largo recorrido para alcanzar mi objetivo tan anhelado. Y por llenarme de fuerza en los momentos más difíciles de mi carrera Universitaria.

A mis padres quienes con su fortaleza y esfuerzo diario me enseñaron que nada llega por azar del destino, sino que solo el esfuerzo constante y el trabajo duro logran alcanzar los sueños. Por sus ganas de luchar, amor, consejos, guía e inspiración, me permito hoy alcanzar este logro en mi vida profesional, “El honor y la gloria es para mis padres”.

A mis abuelos por ser luz en medio de la oscuridad y ejemplo en medio del ocaso.

Frank Marcos Paguay Monteros

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi agradecimiento y total gratitud a Daniel Moya y a todo el equipo de Constructora Campertech, quienes confiaron en mí y me dieron la oportunidad de comenzar mi vida laboral desde el momento en que me convertí en pasante y posteriormente aceptado como un miembro más de la empresa, gracias a ellos he podido madurar; y formar mi personalidad y criterio profesional.

Jhonny David Reyes Cruz

Mi agradecimiento y total cariño a mis padres por su confianza y apoyo incondicional. A mis hermanos, primos y demás familiares quienes siempre estuvieron en el camino compartiendo esta travesía y haciendo de los días difíciles, momentos muy gratos, que me ayudaron a renovar fuerzas y fortalecer mi espíritu de lucha.

Un agradecimiento muy especial a todos aquellos profesionales y trabajadores que han sido inspiración de lucha y constancia para continuar en la búsqueda del objetivo tan esperado, como es el alcanzar un título universitario en la Escuela Politécnica Nacional.

Frank Marcos Paguay Monteros

Un agradecimiento especial al Ing. Pablo Pinto quien a pesar de estar desvinculado de la de la facultad, nos ayudó con sus notables conocimientos y experiencia, en la codirección y asesoría permanente durante la elaboración de este trabajo de titulación. A nuestro tutor, el Ing. Julianny Latorre quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración nos orientó en el desarrollo de esta investigación.

A la Escuela Politécnica Nacional por ser la sede de todo el conocimiento adquirido en estos años; donde tuvimos la oportunidad de conocer a grandes amistades como: Melissa Ninacuri, Anita Galarza, Darío Guamán, Marcelo Díaz, Sebastián Cadena y demás seres quienes fueron compañía durante el duro proceso que conlleva estudiar en la mejor universidad del Ecuador.

## ÍNDICE

DECLARACIÓN .....	I
CERTIFICACIÓN .....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
ÍNDICE .....	V
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIII
RESUMEN .....	XV
ABSTRACT .....	XVII
CAPÍTULO 1. ....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	2
1.2.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA .....	2
1.2.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	2
1.2.3 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	3
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.4 OBJETIVOS .....	5
1.4.1 OBJETIVO GENERAL .....	5

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN .....	6
2.2 PLANIFICACION DE PROYECTOS .....	8
2.2.1 CONCEPTO.....	8
2.2.1.1 Documentación de un proyecto .....	8
2.2.2 FASES DE UN PROYECTO .....	9
2.2.3 PLANIFICACIÓN DE PROYECTOS .....	10
2.3 FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION .....	12
2.3.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	12
2.3.2 LEAN PRODUCTION .....	13
2.3.2.1 Fundamentos de Lean Production .....	13
2.3.2.2 Lean aplicado a la construcción.....	16
2.3.2.3 Sistema de Producción Efectivo .....	17
2.3.2.4 Metodología de Lean Construction .....	19
2.3.2.5 Herramientas de Lean Construction .....	20
2.4 METODOLOGÍA BIM .....	31
2.4.1 DEFINICIÓN DEL BIM.....	31
2.4.2 OBJETIVOS DEL BIM.....	33
2.4.2.1 Objetivo general.....	33

2.4.2.2 Objetivos específicos.....	33
2.4.3 DIMENSIONES DEL BIM.....	34
2.4.3.1 La idea (1D).....	35
2.4.3.2 El boceto (2D).....	35
2.4.3.3 Modelaje gráfico tridimensional (3D) .....	35
2.4.3.4 El tiempo (4D).....	36
2.4.3.5 El costo (5D).....	36
2.4.3.6 Análisis de sostenibilidad (6D).....	36
2.4.3.7 Gestión del ciclo de vida (7D).....	37
2.4.4 BENEFICIOS DEL BIM.....	37
2.4.4.1 Para los constructores y contratistas .....	37
2.4.4.2 Para los usuarios .....	39
2.4.5 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA CONSTRUCCIÓN ...	41
CAPÍTULO 3. ....	44
SITUACIÓN DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN Y EL USO DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS EN EL ECUADOR .....	44
3.1 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION EN ECUADOR .....	44
3.1.1 MARCO ECONÓMICO DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL ECUADOR ....	48
3.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESEMPEÑO DE LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA.....	50

3.2.1 PRODUCTIVIDAD EN EL ECUADOR .....	50
3.2.2 HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS EN EL ECUADOR.....	53
3.2.3 HERRAMIENTAS DE DIBUJO Y MODELACIÓN .....	53
3.2.3.1 CAD .....	54
3.2.3.2 Autodesk Revit.....	55
3.2.4 HERRAMIENTAS PARA ELABORACIÓN DE PRESUPUESTOS.....	55
3.2.4.1 Excel.....	56
3.2.4.2 Pro Excel .....	57
3.2.4.3 Inter Pro.....	57
3.2.5 HERRAMIENTAS PARA PROGRAMACIÓN DE OBRA .....	57
3.2.5.1 Microsoft Excel .....	58
3.2.5.2 Microsoft Project .....	58
CAPÍTULO 4. ....	60
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	60
4.1 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN .....	60
4.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN .....	61
4.3 CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN:.....	62
CAPÍTULO 5. ....	64
INTERACCIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN Y DE LAS FUNCIONALIDADES BIM BASADA EN LA CULTURA ORGANIZACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN	

EN EL ECUADOR .....	64
5.1 CULTURA ORGANIZACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN EN ECUADOR....	64
5.1.1.1 Organigrama típico de las microempresas y pequeñas empresas ecuatorianas .....	66
5.2 ADAPTACIÓN DE LOS PRINCIPIOS LEAN CONSTRUCTION EN LA CULTURA ORGANIZACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN EN ECUADOR.....	68
5.2.1 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LOS PRINCIPIOS LEAN CONSTRUCTION APLICABLES EN LA CULTURA ORGANIZACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL ECUADOR .....	69
5.3 ADAPTACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS Y FUNCIONALIDADES BIM EN LA CULTURA ORGANIZACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN EN ECUADOR .....	105
5.3.1 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LAS FUNCIONALIDADES BIM APLICABLES EN LA CULTURA ORGANIZACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL ECUADOR .....	106
5.4 INTERACCIÓN BIM – LEAN EN LA CULTURA ORGANIZACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN EN ECUADOR.....	117
5.4.1 ELABORACIÓN DE LA MATRIZ DE INTERACCIONES .....	119
5.4.2 ANALISIS DE RESULTADOS.....	127
CAPÍTULO 6. ....	133

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	133
6.1 CONCLUSIONES .....	133
6.1.1 IMPORTANCIA DE LA ADOPCIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN Y LA METODOLOGÍA BIM .....	133
6.1.2 INTERACCIÓN ENTRE PRINCIPIOS LEAN Y FUNCIONALIDADES BIM .....	134
6.2 RECOMENDACIONES .....	135
BIBLIOGRAFÍA .....	137

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fases de un proyecto.....	9
Figura 2. Esquema de las etapas de la Planificación .....	11
Figura 3. Fundamentos de Lean Production .....	14
Figura 4. Importancia del Flujo .....	15
Figura 5. Línea de tiempo evolución de Lean.....	17
Figura 6. Modelo de Flujo continuo .....	18
Figura 7. Modelo de Flujo eficiente .....	18
Figura 8. Modelo de Proceso Eficiente.....	19
Figura 9. Modelo gráfico de Lean Project Delivery System .....	21
Figura 10. Aplicación práctica del Pull Planning (herramienta del LPS).....	24
Figura 11. Planificación tradicional.....	26
Figura 12. Situación aplicando LPS .....	26
Figura 13. Representación del uso de BIM .....	32
Figura 14. Dimensiones del BIM .....	35
Figura 15. Presencia del BIM en el ciclo de un proyecto.....	42
Figura 16. PIB del sector de la construcción y su valoración .....	46
Figura 17. Permisos de construcción entregados según el tipo de obra 2017 .....	47
Figura 18. Factores que inciden en la productividad .....	52
Figura 19. Herramientas computacionales de dibujo y modelación .....	54

Figura 20. Herramientas computacionales para elaboración de presupuestos .....	56
Figura 21. Herramientas computacionales para control de obra .....	58
Figura 22. Diagrama de flujo de la metodología de investigación .....	63
Figura 23. Clasificación de las empresas según su tamaño .....	66
Figura 24. Organigrama típico de las empresas ecuatorianas .....	67
Figura 25. División y subdivisión de los principios Lean Construction.....	71
Figura 26. Funcionalidades y sub-funcionalidades BIM. ....	107
Figura 27. Etapas de adopción del BIM .....	108
Figura 28. Representación por colores, índice de madurez BIM.....	111
Figura 29. Índice de acuerdo a las etapas de adopción del BIM.....	112
Figura 30. Herramientas destinadas a la industria de la construcción .....	114
Figura 31. Utilización de procesos BIM .....	114
Figura 32. Principales causas de los problemas en un proyecto de construcción...	115
Figura 33. Situación actual del BIM en el Ecuador.....	116
Figura 34. Unión BIM + LEAN .....	118
Figura 35. Formato de la matriz de interacciones .....	120
Figura 36. Ejemplificación de una interacción en la matriz.....	121

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Obtener calidad desde la primera vez .....	73
Tabla 2	Mejorar la variabilidad del flujo aguas arriba .....	74
Tabla 3	Reducir las duraciones del ciclo de producción.....	75
Tabla 4	Reducción de inventario .....	77
Tabla 5	Reducir producción innecesaria .....	78
Tabla 6	Reducir tiempos muertos.....	79
Tabla 7	Utilizar equipos polivalentes .....	81
Tabla 8	Implementación de maquinaria en procesos .....	82
Tabla 9	Nivelar cargas de trabajo.....	84
Tabla 10	Estandarizar procesos.....	85
Tabla 11	Establecer una mejora continua .....	86
Tabla 12	Visualizar el proceso de producción .....	88
Tabla 13	Simplificación de procesos .....	89
Tabla 14	Procesamiento en paralelo.....	91
Tabla 15	Implementación de tecnología en todas las etapas.....	92
Tabla 16	Asegurar la capacidad del sistema de producción .....	94
Tabla 17	Detalle completo de requisitos .....	95
Tabla 18	Centrarse en la selección de conceptos.....	97
Tabla 19	Asegurar requisitos aguas abajo .....	98

Tabla 20	Verificar y validar .....	99
Tabla 21	Comprobar cada detalle en el desarrollo de procesos .....	101
Tabla 22	Decidir por consenso, considerar todas las opciones.....	102
Tabla 23	Manejar una amplia red de colaboradores .....	103
Tabla 24	Lista de principios Lean Construction.....	104
Tabla 25	Clasificación de las funcionalidades BIM.....	112
Tabla 26	Lista de funcionalidades BIM aplicables a la realidad ecuatoriana.....	117
Tabla 27	Matriz de interacciones aplicada a la construcción en el Ecuador .....	123
Tabla 28	Explicación de los índices de interacción .....	124

## RESUMEN

**TÍTULO:** INTERACCIONES ENTRE BIM Y LEAN PARA LA INNOVACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN EN ECUADOR

**AUTORES:** PAGUAY MONTEROS, Frank Marcos & REYES CRUZ, Jhonny David

**PALABRAS CLAVE:** BIM, LEAN, metodología, filosofía, proyecto, sinergia, interacción.

“Vender Lean sin BIM y BIM sin Lean es como vender un Ferrari con un motor de turismo. No estamos dando todos los recursos disponibles al equipo del proyecto para que sea exitoso en eficiencia y en costes”. Luis Fernando Alarcón.

Lean es una filosofía implementada por Toyota y aplicada a la construcción que espera a través del cambio de ideas, perfeccionamiento de procesos y reducción de desperdicios, alcanzar de esta forma un mayor valor, al igual que BIM, que a través de la innovación tecnológica, gestión de calidad y mejora en el tratamiento de datos e información alcanzar una mayor productividad al finalizar un proyecto.

En este trabajo se realizará un estudio acerca de la convergencia de la metodología BIM y la filosofía Lean aplicadas a los proyectos constructivos, para lo cual los autores tomaron como punto de partida la información existente en bibliografía referente a estos temas entre ellos a dos trabajos realizados por estudiantes de la misma carrera y facultad que brinda información de esta investigación aplicada a la realidad ecuatoriana y con un material de apoyo adicional consistente en un Paper publicado, en el que se desarrolla un estudio de la sinergia existente entre BIM y Lean.

El desarrollo Metodológico de esta investigación de Tesis, radica en la obtención bibliográfica de información correspondiente a la filosofía Lean aplicada en la construcción así como las funcionalidades BIM insertadas en el sistema constructivo, para posteriormente analizar dicho contenido a través de un sistema de disertación

que consiste en comparar las características tanto de la metodología como la filosofía en la realidad económica ecuatoriana y el sistema organizacional de las empresas en Ecuador respectivamente, y posteriormente, se realiza un análisis comparativo entre las directrices de ambas herramientas para obtener finalmente un cuadro de convergencias que puedan ser aplicados a la realidad ecuatoriana.

Una vez culminado el planteamiento de la interacción existente entre dichas herramientas, se procede a la redacción de las respectivas conclusiones y recomendaciones las cuales servirán como guía para el desarrollo de futuros trabajos de investigación así como para la implementación de dicho proyecto de Tesis en actividades de la construcción.

Los autores del presente trabajo concluyen que se deben proporcionar mayor cantidad de recursos para potenciar la eficiencia del uso de BIM en la construcción, debido a que la inversión actual no es suficiente, por lo que es necesario aterrizar la innovación tecnológica con continuas capacitaciones para de esta manera generar un cambio de pensamiento y cultural a través de la implementación de los principios Lean.

## ABSTRACT

**TITLE:** INTERACTIONS BETWEEN BIM AND LEAN FOR CONSTRUCTION INNOVATION IN ECUADOR

**AUTHORS:** PAGUAY MONTEROS, Frank Marcos & REYES CRUZ, Jhonny David

**KEY WORDS:** BIM, LEAN, methodology, philosophy, project, synergy, interaction.

Selling Lean without BIM and BIM without Lean is like selling a Ferrari with a passenger car engine. We are not giving all the available resources to the project team to make it successful in efficiency and cost. ” Luis Fernando Alarcón.

Lean is a philosophy implemented by Toyota and applied to construction that expects through the change of ideas, improvement of processes and reduction of waste, thus achieving greater value, like BIM, than through technological innovation, quality management and improvement in data and information processing achieve greater productivity at the end of a project.

In this work, a study will be carried out on the convergence of the BIM methodology and the Lean philosophy applied to construction projects, for which the authors will take as a starting point the existing information in the bibliography related to these topics, including two works carried out by students from the same career and faculty that provides information from this research applied to the Ecuadorian reality and with additional support material consisting of a published document, in which a study of the existing synergy between BIM and Lean is carried out.

The Methodological development of this thesis research, lies in the bibliographic obtaining of information corresponding to the Lean philosophy applied in construction as well as the BIM functionalities inserted in the construction system, to later analyze said content through a dissertation system consisting of in comparing the characteristics of both the methodology and the philosophy in the Ecuadorian economic

reality and the organizational system of companies in Ecuador, respectively, and subsequently, a comparative analysis is performed between the guidelines of the tools to finally obtain a table of convergences that can be applied to the Ecuadorian reality.

Once the approach of the interaction between various tools has been completed, the respective conclusions and recommendations will be drafted which will serve as a guide for the development of future research work as well as for the implementation of said thesis project in research activities. the construction

The authors of this work conclude that more resources must be provided to enhance the efficiency of the use of BIM in construction, because the current investment is not enough, so it is necessary to land technological innovation with continuous capabilities for this way of generating a change of thought and culture through the implementation of Lean principles.

# **CAPÍTULO 1.**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 ANTECEDENTES**

La construcción de obras es el fiel indicador del crecimiento de pueblos, ciudades y países en todo el mundo. Cada vez, se requiere la ejecución de un proyecto más grande dentro de un cierto período de tiempo para satisfacer las necesidades humanas, aumentando así el desarrollo económico de la región. Para lograr estos objetivos, es importante que la industria de la construcción mejore sus procesos, desarrolle procedimientos y modelos de gestión para aumentar la productividad de los recursos utilizados por el departamento, y así controlar la pérdida o el desperdicio de materiales. (Andrade García & Coba Rodriguez, 2013)

La necesidad de las empresas de construcción del Ecuador de impulsar una serie de políticas para buscar posibles soluciones para reactivar el sector abre paso a la búsqueda de alternativas con la intención de reafirmar el mercado y aportar beneficios económicos al mismo. Actualmente se conoce según varios estudios que la construcción es el quinto sector con mayor participación en el empleo total por lo que existe la necesidad de mantener las plazas de trabajo en este sector y que el país se normalice en la parte política y económica para que la gente pueda seguir invirtiendo con confianza. (Vascones Gabica & Villena Izurieta , 2018)

El gobierno ecuatoriano se ha caracterizado por el establecimiento de proyectos de infraestructura a gran escala en los últimos años. El presupuesto general del Estado destinado al sector vivienda, se incrementó de manera progresiva desde el año 2011 hasta finales del 2014 posterior se dio una tendencia a la baja. El Estado también participa en la industria invirtiendo en infraestructura, carreteras y proyectos de construcción, mientras que el sector privado participa fundamentalmente en la construcción de casas y edificios, y juntos contribuyen al PIB de la economía nacional. Bajo esta premisa obtener mayores índices de productividad se convierte en la

estrategia principal de cualquier actividad económica, siendo importante para una empresa saber calcular, descifrar e implementar alternativas que permitan optimizar su eficacia productiva. (Vascones Gabica & Villena Izurieta , 2018)

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

### **1.2.1 JUSTIFICACIÓN TEÓRICA**

Actualmente en Latinoamérica han aparecido varios estudios técnicos sobre la implementación de la metodología BIM y la adopción de la filosofía Lean en la construcción, pero muy pocos autores se refieren a la unión e interacción entre estas dos herramientas. Por esa razón es de esperarse que en el Ecuador tampoco se encuentra abundante información técnica sobre iniciativas para incorporar la metodología BIM y la filosofía Lean dentro de un mismo tema de estudio. (Duque, 2017)

Debido a la escasa y esporádica información que se puede encontrar en nuestro medio, este proyecto de investigación busca ser el punto de partida para que la comunidad de arquitectos e ingenieros civiles, tanto estudiantes como profesionales, empiecen a generar debates sobre la necesidad de realizar nuevos estudios tomando en cuenta el desarrollo de nuevas tecnologías y los recientes procesos acondicionados para mejorar la eficiencia en la construcción.

### **1.2.2 JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA**

Este proyecto de investigación busca implementar nuevas metodologías para el ejercicio efectivo de la construcción ecuatoriana con el fin de contribuir a una mayor productividad. La recopilación de información bibliográfica será el pilar fundamental para entender los conceptos básicos de la filosofía Lean y las herramientas que BIM ofrece, que son necesarios para comenzar la investigación. Por otro lado un análisis comparativo, luego de haber estudiado a fondo los conceptos involucrados, permitirá determinar las convergencias e interacciones entre ellos. Como resultado, después de

la implementación de las diferentes metodologías se aplicará el estudio dentro de la realidad en la construcción ecuatoriana. (Castillo, 2016)

### **1.2.3 JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA**

En la construcción las ganancias o pérdidas que se generen después de la culminación de un proyecto serán producto de una deficiente o una correcta planificación, desarrollo y gestión de los recursos disponibles durante el tiempo de ejecución. Por ello cada empresa se ve obligada a mejorar en aquellos aspectos para así lograr una mejor utilidad en el negocio. (Castro R. , 2016)

Es de acuerdo a lo anterior, entonces, que por medio de este proyecto de investigación se demostrará que efectivamente al fusionar las herramientas BIM y L.EAN, se lograría una mayor eficiencia en la etapa de la planificación, un buen manejo de los recursos en la etapa de construcción y por ende una satisfactoria culminación del proyecto dando como resultado la satisfacción de sus usuarios.

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La Construcción es la técnica utilizada para materializar proyectos. Una característica fundamental en la construcción es que va acompañada de un proyecto y una planificación previa donde se recogen los detalles de la obra a realizar (Avila, 2015), sin embargo la planificación previa en una obra no proporciona la información suficiente para solucionar problemas de ejecución debido a la falta de comunicación entre los profesionales involucrados.

La construcción ha presentado grandes cambios en base a las necesidades de los profesionales, sin embargo todo este proceso aun presenta ciertas falencias en la planificación y optimización del tiempo. “En la actualidad, durante el desarrollo de un proyecto de construcción no se logra reducir el costo del producto final, ni mejorar el nivel de satisfacción de los participantes, lo que genera poco valor agregado a lo largo del ciclo de vida del proyecto”. (Gallosa, 2017)

El problema de una correcta administración radica en la falta de comunicación entre los profesionales involucrados. “Un proyecto es un proceso que se puede dividir en muchos subprocesos independientes y diferentes” (Baquero, 2007), sin embargo la comunicación en muchas obras resulta deficiente por la falta de herramientas y la filosofía de la Construcción correcta.

Para que la construcción avance en tiempo óptimo es necesario llevar una correcta planificación ya que “cada fase del proyecto está marcada por la terminación de una o más entregas”. (Baquero, 2007)

Por otro lado, en las primeras etapas del proyecto, el desarrollo insuficiente de software, los bajos niveles de innovación y el uso limitado de herramientas de tecnología de la información no podían garantizar el valor objetivo en términos de costo, calidad, operación y mantenimiento. Esta característica se ha reflejado en el bajo nivel de calidad de diseño, ya que en las primeras etapas, no se implementaron más recomendaciones para los clientes, evitando así cambios posteriores en el proyecto. (Castillo, 2016)

Del mismo modo, un informe muestra que las principales causas de problemas durante la fase de construcción son las siguientes: el proyecto no está 100% definido, la información del proyecto no está centralizada y la colaboración entre diseñadores es insuficiente para cumplir con los objetivos de todos los participantes en el proyecto. Además, el informe también reveló la falta de conocimiento del método BIM (Building Information Modeling), porque casi el 70% de los encuestados cree que tienen un nivel muy bajo de conocimiento de esta tecnología. (Gallosa, 2017)

La filosofía Lean y el modelado de información de edificios BIM son iniciativas bastante diferentes, pero ambas tienen profundos impactos en la industria de la construcción. Un análisis riguroso de la multitud de interacciones específicas entre ellos indica que existe una sinergia, que, si se entiende adecuadamente en términos teóricos, puede explotarse para mejorar los procesos de construcción más allá del grado en que podría

mejorarse mediante la aplicación de cualquiera de estos paradigmas de forma independiente. (Sacks, 2010)

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar y analizar las relaciones existentes entre la filosofía de Lean Construction y la Metodología de BIM, mediante la elaboración de una matriz de interacciones, para la implementación en el contexto de la realidad de la construcción ecuatoriana.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Identificar la importancia de la adopción de la Filosofía Lean y de la metodología BIM para un manejo más eficiente de los recursos en una obra civil.
- Realizar un análisis comparativo y determinar las convergencias que existen entre la filosofía Lean y la Metodología BIM.
- A partir de las coincidencias encontradas elaborar una matriz de interacciones que se ajuste a la realidad de la cultura organizacional de la construcción en el Ecuador
- Formular un conjunto de recomendaciones para la implementación de la filosofía Lean y la metodología BIM en la realidad de la construcción ecuatoriana.

## **CAPÍTULO 2.**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN**

A lo largo de la historia se ha podido evidenciar que el ser humano se ha convertido en un usuario recurrente de productos de construcción civil. Muestra de aquello es que aún se puede observar obras civiles, pese a que fueron construidas hace miles de años, hasta el día de hoy siguen en pie y en la actualidad, se consideran verdaderas obras de arte, lo que indica el desarrollo de la sociedad y la industria de la construcción en el tiempo.(Mamani, 2015)

Hoy en día la industria de la construcción está considerada como una pieza fundamental dentro del desarrollo integral y así también en el crecimiento económico de un determinado país. Existen varias razones que explican la importancia que tiene este sector industrial dentro de una sociedad: (Serpell, 2002)

- Satisface necesidades de infraestructura para el comercio, vivienda y otras actividades importantes que solicita una población.
- Es una fuente de trabajo, donde intervienen profesionales y técnicos especializados, mano de obra calificada y mucha mano de obra no calificada.
- Demanda gran cantidad de recursos financieros, ya sean públicos o privados.
- Genera actividad económica en otras industrias relacionadas (transporte, salud, alimentación, manufacturera, etc.).

No obstante, a pesar de ser una actividad económica fundamental, la industria de la construcción, se ha mantenido conservadora mostrando resistencia a los cambios tecnológicos y nuevas metodologías convirtiéndose así en uno de los sectores con menor grado de desarrollo especialmente en varios países de América Latina. (Peralta, 2015)

Algunos autores caracterizan a la construcción como *“una industria que resuelve problemas del pasado razonablemente bien, que no ha aprovechado las oportunidades que brinda el desarrollo tecnológico para resolver adecuadamente los problemas actuales”* (Serpell, 2002, p.13). Esto se refleja en un conjunto acumulado de deficiencias, que a largo plazo generan poca efectividad y menos valor que el esperado en el producto final, asimismo la utilización de los recursos que se emplea en la práctica son excesivos, lo cual limita su evolución frente a otras industrias que sí han sabido aprovechar el avance tecnológico e intelectual de nuestra época. (Mamani, 2015)

Es importante recalcar que la industria de la construcción presenta características muy diferentes frente a las demás industrias. Dichos aspectos, mencionados a continuación, explican pero no justifican los problemas que la construcción posee: (Serpell, 2002)

- Limitado tiempo de aprendizaje debido a la continua movilización que el personal sufre dentro del entorno de trabajo. Al terminar un proyecto, el centro de trabajo desaparece y el constructor, conjuntamente con su mano de obra, en muchas ocasiones se moviliza hacia un nuevo centro donde el trabajo inicia y el ciclo se repite.
- La producción depende mucho del clima, a diferencia de otras actividades, el correcto desarrollo y el cumplimiento de plazos viene condicionado por el comportamiento de la naturaleza debido a que gran parte de la ejecución se la hace al aire libre.
- La mala planificación, la fuerte presión laboral y el deseo de apresurarse para alcanzar los objetivos han llevado a los profesionales a comenzar a trabajar de inmediato, y a menudo realizan trabajos sin la suficiente planificación previa, lo que puede causar serios inconvenientes, como demoras, violaciones de los estándares de calidad e incluso accidentes.

- Se trabaja en base a la experiencia. En la construcción, como en muchas otras actividades, la experiencia de un profesional al mando es fundamental y se la valora excesivamente, como consecuencia de aquello, en algunas ocasiones se desestima la opinión y las ideas que proponen jóvenes profesionales sin experiencia, dando como resultado una falta de motivación para adquirir nuevos conocimientos y tecnologías que podrían servir para mejorar el desarrollo de la actividad.

Aspectos como estos hay muchos y como se dijo antes, no justifican el retraso que la industria de la construcción ha tenido. Aún tiene mucho camino por recorrer y mejorar su rendimiento en relación a la productividad, calidad y competitividad. (Mamani, 2015)

En esta última década la construcción ha tomado una nueva postura frente a metodologías y tecnologías que se puede usar, es por eso que hoy en día es más común encontrar estudios técnicos que hacen alusión y fomentan el uso de nuevas ideas para mejorar las deficiencias y los retrasos que la construcción ha sufrido. (Castillo, 2016)

## **2.2 PLANIFICACION DE PROYECTOS**

### **2.2.1 CONCEPTO**

Se conoce como planificación de proyecto a la ordenación de forma sistemática de todas las tareas necesarias para poder lograr un objetivo propuesto en donde se exponen los pasos necesarios a seguirse y la forma en que estos deberán llevarse a cabo. (MDAP, 2018)

#### **2.2.1.1 Documentación de un proyecto**

Todo tipo de proyecto deberá estar estructurado por la siguiente documentación: (Díaz, 2015)

- **Memoria:** este es un documento rico que contiene descripciones y razones de las soluciones técnicas utilizadas en el proyecto.

- **Planos:** Son documentos que contienen la información gráfica del proyecto. Son documentos de carácter vinculante al pasar a formar parte del contrato de obras entre la propiedad y el contratista. Esta documentación contendrá toda la información requerida para que pueda ser fácilmente comprendido y posteriormente materializado.
- **Pliego de descripciones técnicas particulares:** Este documento establecerá las condiciones de tipo técnico, económico y administrativo para que el proyecto pueda ser ejecutado en base a las especificaciones asignadas evitando interpretaciones erradas o arbitrarias.
- **Presupuesto:** Este documento cumple con la función de reflejar el costo económico de las obras necesarias para poner al proyecto en marcha.

## 2.2.2 FASES DE UN PROYECTO

Las fases genéricas de un proyecto están conformadas por cinco etapas que siguen una secuencia como la que se presenta a continuación:



*Figura 1.* Fases de un proyecto

Fuente: (Terrazas, 2016). Adaptado por los autores

Las fases serán descritas a continuación: (Terrazas, 2016)

- **Iniciación:** En esta fase, se concibe, se discute se analiza y posteriormente se aprueba el proyecto en caso de haber consenso.
- **Planificación:** En esta etapa se definen los objetivos y se delinearé el curso de acción requerido para lograr los objetivos trazados junto con el alcance del proyecto.

- **Ejecución:** En esta fase se lleva a cabo la integración de los recursos humanos y materiales para poder llevar a cabo el plan de gestión del proyecto.
- **Seguimiento y control:** En esta fase se supervisará de forma permanente el avance de las obras para de esta forma poder identificar las distintas variaciones con respecto al plan de gestión del proyecto.
- **Cierre:** En esta fase final se procederá a la formalización del proyecto finalizado una vez que ha sido debidamente verificado y aceptado.

### 2.2.3 PLANIFICACIÓN DE PROYECTOS

Los proyectos de construcción atraviesan por diferentes fases de desarrollo. Desde su origen donde difícilmente se podrá delimitar su alcance, ya que se trata de una idea que debe ser madurada, hasta su materialización donde se ve reflejado el esfuerzo de un equipo de trabajo y donde se visualiza el producto final. Para la ejecución de cualquier proyecto, se debe tomar en cuenta un aspecto fundamental que es la planificación de proyectos. (Campero & Alarcón, 2014)

De acuerdo a la American Management Association *“la planificación consiste en determinar lo que se debe hacer, cómo se debe hacer, qué acción debe tomarse, quién es el responsable de ella y por qué”* (Terrazas, 2016, p. 9). Bajo esta premisa se puede definir a la planificación como una herramienta primordial dentro del proceso de administración en un proyecto de construcción, que a través del desarrollo de una metodología se pueda llegar al cumplimiento de un objetivo establecido, donde una actividad tenga la oportunidad de ser ejecutada correctamente, en el lugar adecuado y en el momento oportuno. Estableciendo un proceso delineado que involucra mano de obra capacitada y comprometida en procura de lograr el objetivo planteado. (Terrazas, 2016)

En este punto, se debe enfatizar que en la vida real, ningún plan puede realizarse plenamente, porque este es solo un modelo de las intenciones de las personas en la forma en que se ejecuta un proyecto. (Mamani, 2015)

Varios autores descomponen a la planificación en diversas etapas que son importantes dentro del desarrollo de un proyecto, como se observa en la Figura 2: (Terrazas, 2016)



*Figura 2.* Esquema de las etapas de la Planificación

Fuente: (Terrazas, 2016). Adaptado por los Autores

- Análisis y definición. En esta etapa es fundamental revisar minuciosamente el proyecto con el fin de delimitar subdivisiones, características y las diferentes actividades a cumplir.
- Planeamiento. A partir de las actividades establecidas, es necesario determinar un orden lógico para mejorar la distribución de los recursos hasta llegar al alcance establecido.
- Programación. Se busca determinar un programa que englobe las duraciones y costos de las actividades antes mencionadas. La programación es la materialización del planeamiento.
- Evaluación y optimización. En esta etapa se espera optimizar de mejor manera los recursos evaluando la eficiencia del programa escogido para lograr el mayor beneficio posible.
- Implantación. Una vez evaluado y optimizado el programa se lo pone en marcha para la obtención del producto final.
- Seguimiento. En esta etapa, verificará el cumplimiento del tiempo de ejecución y los estándares de calidad determinados durante la etapa del planeamiento. Y

de ser necesario se toman las acciones correspondientes para corregir los errores que pudieron haberse cometido.

- Actualización. Es el constante cambio del programa maestro a partir de los nuevos requerimientos para obtener mejoras.

Todas las etapas antes mencionadas son importantes para la correcta ejecución de un determinado proyecto. Hasta hoy, algunas de ellas se han desarrollado empíricamente en base a la experiencia de los equipos de trabajo relevantes, pero los recientes desarrollos tecnológicos nos han permitido implementar nuevas metodologías en cada etapa. Cuando se aplican adecuadamente, estas metodologías pueden mejorar la planificación y la eficiencia de algunos proyectos de construcción civil. Un claro ejemplo de las metodologías que se puede aplicar es el Building Information Modeling (BIM) que se involucra en cada una de las etapas de la planificación y ejecución. Por otro lado se puede inducir una filosofía como Lean Construction que busca agregar valor al producto final, así como la eliminación de las pérdidas y obtención de una mejora continua (Castillo, 2016)

## **2.3 FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION**

### **2.3.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS**

En el año de 1950 de la mano de Shigeo Shingo y Taiichi Ohno, Toyota se catapultó a ser líder en el mercado automotor destronando del puesto a empresas automotrices americanas que dominaban el mercado en la época, debido a que impulsaron un sistema de producción denominado Toyota Production System cuyos objetivos primordiales eran desarrollar e innovar nuevos productos con costos a tendencia decreciente, alta calidad y siempre empleando conceptos e ideologías para la eliminación de desperdicios. (Galgano, 2004)

El rotundo éxito que tuvo Toyota con este nuevo sistema revolucionó el mundo de la industria de la producción, por lo que en años posteriores una comitiva de investigadores del MIT (Massachusetts Institute of Technology) realizó una visita,

donde se pudo constatar los detalles de dicho sistema. Las conclusiones de este estudio revelaron que las empresas japonesas lograron desarrollar un nuevo sistema productivo avanzado a la época, debido a que era capaz de lograr mayor calidad, con un menor costo de producción y en plazos de entrega más cortos. El término que John Krafcik utilizó para definir el conjunto de técnicas del nuevo sistema de producción japonés fue Lean Production. (Pons Achell, 2014)

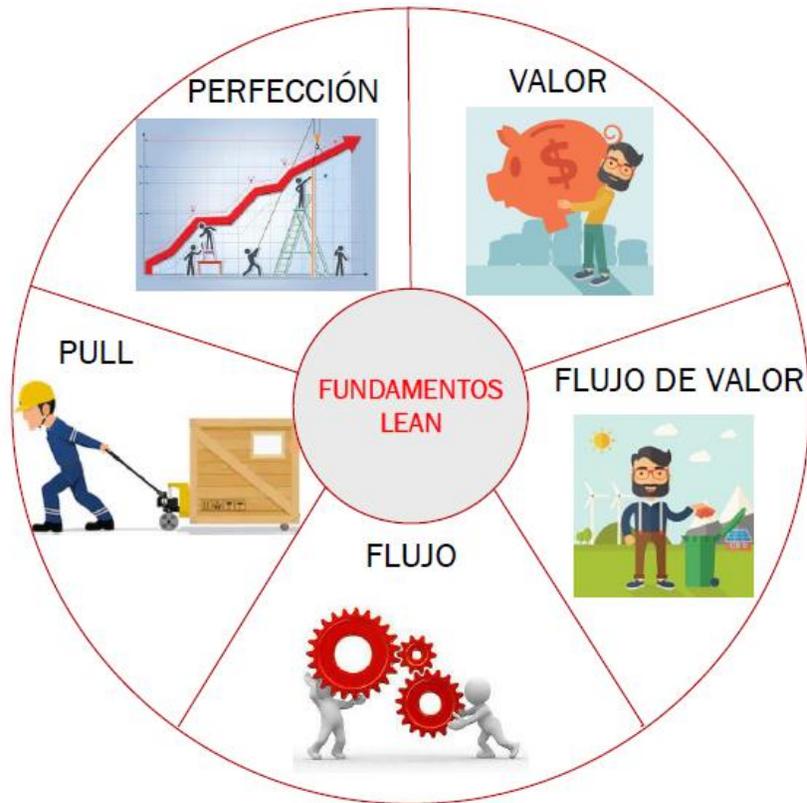
### **2.3.2 LEAN PRODUCTION**

La Filosofía Lean es un método de organización del trabajo diseñado para mejorar y optimizar continuamente los procesos dando como resultado productos que satisfagan necesidades específicas y los entreguen en el momento que los consumidores lo exijan. Se espera llegar a Lean a través de la aplicación de principios y metodologías para restablecer la relación entre los métodos. (Jones & Womack, 2003)

Su finalidad radica en llegar a fomentar un cambio de pensamiento para perfeccionar técnicas de producción a partir de la eliminación de procesos que no aportan valor alguno al producto, utilizando solamente los recursos y procesos que son absolutamente necesarios. De esta manera se eliminan despilfarros y se reducen tiempos y costos. (Jones & Womack, 2003)

#### **2.3.2.1 Fundamentos de Lean Production**

La idea principal de Lean Production es la de llevar una cadena de trabajo con cero desperdicios y generando un producto o servicio de gran valor, para ello se deben seguir ciertos fundamentos que fueron definidos por Womack y Jones en 1996: (Tejeda, 2011)



*Figura 3. Fundamentos de Lean Production*

Fuente: (Tejeda, 2011). Adaptado por los Autores

- El valor definido. Este principio se aplica al producto final para generar un valor que el cliente está dispuesto a pagar, es decir, el productor propone el valor a partir de los requerimientos del cliente. Esto implica entender lo que quiere el cliente a partir de una mejor comprensión de sus necesidades, lo que proporcionará ideas claras para el diseño del producto y un método de fabricación más efectivo.
- Flujo de valor. Es el conjunto de actividades necesarias para llegar a un producto final, desde su idealización en la fase de diseño hasta que es entregado al consumidor. Algunas acciones generan gran valor, otras no, aunque son necesarias y finalmente otras que no agregan valor y que pueden ser descartadas. Con el flujo de valor, lean busca identificar dichas actividades

que no son necesarias y que producen gran cantidad de desperdicios para poder eliminarlas del proceso.

- Continuidad de flujo. Enfatiza las necesidades del cliente al crear una corriente donde las actividades que aportan valor al producto fluyen. Sin embargo, para esta etapa es necesario crear un cambio de mentalidad en el grupo de trabajo, de tal forma que puedan contribuir positivamente a la creación del valor.



*Figura 4. Importancia del Flujo*

Fuente: (Tejeda, 2011). Adaptado por los Autores

- Sistema Pull. Es una cadena que a lo largo del sistema de producción, el cliente interno o externo- figura central del medio- es el encargado de “halar” y llevar a cabo el proyecto de tal forma que cada proceso hale del proceso anterior y solamente se ejecute producción a partir de las necesidades del cliente. De esta manera se elimina la producción excesiva e innecesaria.
- Perfección. Una vez alcanzado un sistema óptimo de producción siempre es necesario una continua perfección ya que durante el proceso; la eliminación de desperdicios, reducción de tiempos y reducción de esfuerzos, constantemente brindara mejores resultados. No hay un límite establecido para la perfección ya que siempre se está en un constante aprendizaje.

### **2.3.2.2 Lean aplicado a la construcción**

En el año de 1992 en la Universidad de Stanford el finlandés Lauri Koskela introduciría por primera vez el término “Lean” dentro de la construcción gracias al estudio que realizó, el mismo fue titulado *“Aplicación de la nueva filosofía de la producción a la construcción”*. En dicho estudio se implantaron los fundamentos de la filosofía Lean Production aplicado a la industria de la construcción. El trabajo de Koskela marca el inicio de muchas más investigaciones las cuales buscarían relacionar el sistema de producción de Toyota y la filosofía Lean Production con la industria de la construcción. Un año más tarde, en 1993, se fundaría el Grupo Internacional de Lean Construcción, quienes designarían oficialmente esta nueva filosofía como Lean Construction. (Pons Achell, 2014)

Lean Construction es una nueva concepción en gestión de proyectos de construcción que se involucra en cada una de las actividades, fases y etapas de un determinado proyecto. Su enfoque primordial se centra en la creación de buenos sistemas productivos que permitan mitigar o erradicar aquellas actividades que no generan valor al propósito y repotenciar aquellas que sí lo hacen a través del uso de herramientas en el proceso de ejecución. (Ordóñez Núñez, 2017)

Es así como en la Figura 5 se muestra la evolución del pensamiento Lean desde su origen en Japón hasta la actualidad donde algunos países ya lo están poniendo en práctica en cada uno de sus proyectos. (Pons Achell, 2014)

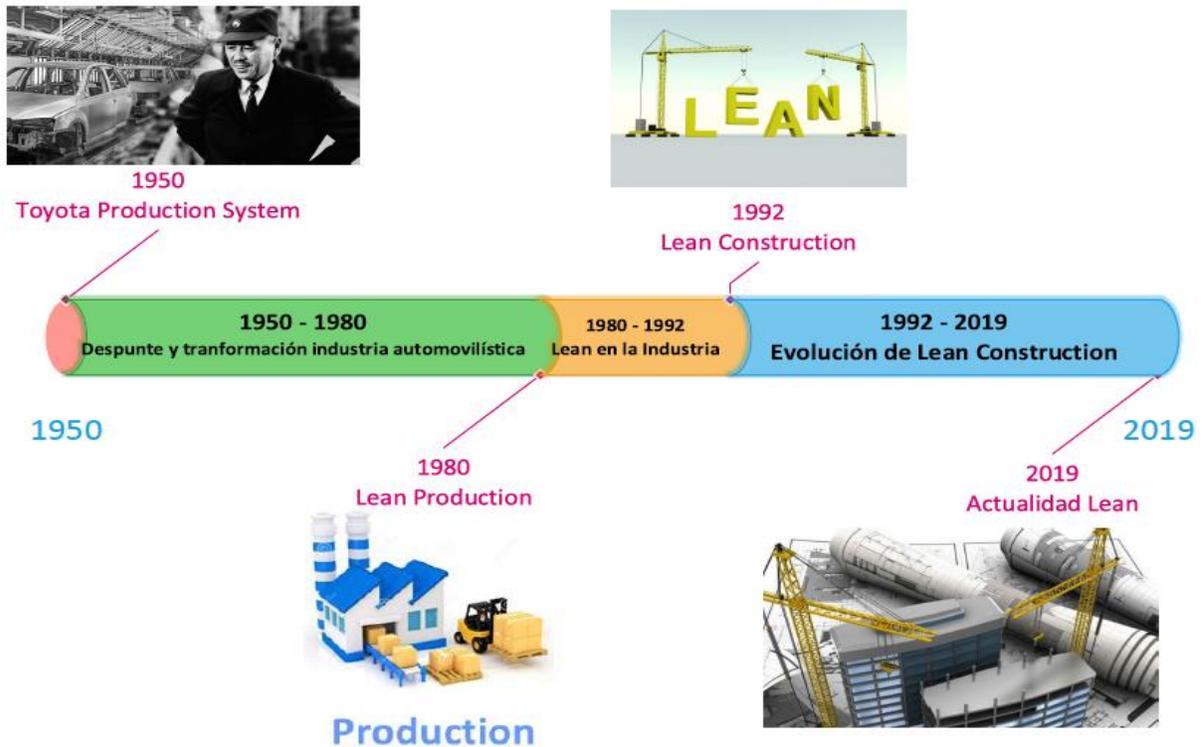


Figura 5. Línea de tiempo evolución de Lean.  
Fuente: (Pons Achell, 2014). Adaptado por los Autores

### 2.3.2.3 Sistema de Producción Efectivo

La filosofía de Lean Construction tiene como objetivo proporcionar soluciones a los problemas de la metodología actual de la construcción en términos de costo, tiempo y productividad. El método propuesto para lograr este objetivo es establecer un sistema de producción efectivo. Para este propósito, primero se deben alcanzar tres objetivos básicos: (Castro & Pajares, 2014)

- Flujo continuo. El objetivo de este paso consistirá en ordenar todos los procesos en forma tal que sean predecesores el uno del otro sin importar la carga laboral, en vista que es suficiente que el proceso constructivo esté definido para que el flujo de trabajo no se detenga. Al implementar un flujo continuo, será posible identificar los defectos que existen en cada proceso para que puedan eliminarse en el siguiente paso.



*Figura 6. Modelo de Flujo continuo*

Fuente: (Castro & Pajares, 2014). Adaptado por los Autores

- Flujo eficiente. Una vez concretada la continuidad del flujo es necesario que estos procesos sean eficientes utilizando la mínima cantidad de recursos. Para lograr este objetivo se requiere el uso de herramientas que distribuyen de forma equitativa la carga laboral, aunque los procesos no resulten ser eficientes.



*Figura 7. Modelo de Flujo eficiente*

Fuente: (Castro & Pajares, 2014). Adaptado por los Autores

- Proceso eficiente. A través de este objetivo se busca uniformizar las actividades en el flujo continuo para que dichos procesos resulten más eficientes. Para ello se espera producir la misma cantidad de trabajo con una menor utilización de recursos. Por lo que se tendrán finalmente flujos continuos y procesos efectivos.



**Figura 8. Modelo de Proceso Eficiente**

Fuente: (Castro & Pajares, 2014). Adaptado por los Autores

#### 2.3.2.4 Metodología de Lean Construction

La metodología que Lean Construction busca desarrollarse en un campo constructivo e involucra a todo el equipo de trabajo participando a través de un proceso sistemático y tiene como objetivo excluir todas las actividades que no generarán valor, para ello se deben atravesar las siguientes etapas: (Ordóñez Núñez, 2017)

- Valoración de la situación actual. Es indispensable realizar una valoración del estado actual de la empresa. Este análisis se lo puede hacer utilizando el sistema de observación FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) el cual busca determinar las fortalezas y debilidades que la empresa presenta, las mismas que pueden derivar en buenas oportunidades o por el contrario en amenazas. De esta manera se identificará el área de trabajo que tenga mayores deficiencias donde se implementará la metodología Lean Construction.
- Compromiso de alta gerencia. Posterior al análisis de la situación actual de la empresa, los resultados estarán sustentados por un grupo de trabajo comprometido con la mejora continua a través de un control y ejecución efectivo de los procesos lo que evitará fallas en el ciclo de vida del proyecto.

- Intervención de Lean Construction. Al aplicar la metodología Lean Construction no es necesario seguir un orden o un conjunto de reglas, y su aplicación varía de acuerdo a los requerimientos de cada empresa o proyecto.

### **2.3.2.5 Herramientas de Lean Construction**

Lean Construction cuenta con varias herramientas que facilitan el entendimiento de sus principios teóricos en la aplicación dentro de la práctica profesional, éstas se han desarrollado para simplificar el uso de la filosofía en los procesos de administración y gestión de una obra. (Despradel, López, Oliver, & Guerrero, 2011)

#### *2.3.2.5.1 Lean Project Delivery System (LPDS)*

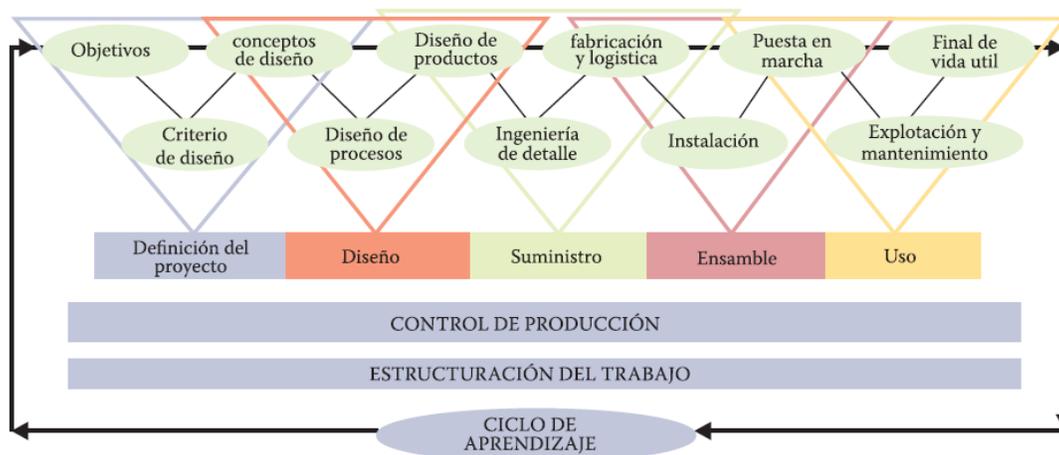
En el año 2000 la herramienta LPDS fue definida por Glenn Ballard y publicada por el Lean Construction Institute (LCI), cuyo enfoque busca desarrollar una mejor integración entre la etapa de diseño y la etapa de producción; y de esta manera abarcar toda la vida de un proyecto de construcción (Brioso & Wilder, 2017).

Alarcón en el artículo “*Organizándose para implementar prácticas Lean en empresas constructoras*” expone las características fundamentales aplicadas al LPDS: (Alarcón & Sven, 2002)

- La gestión y organización de un proyecto enfocado a la generación de valor.
- Los ejecutores del proyecto participan desde la planificación inicial, diseño y posterior ejecución, integrando grupos multifuncionales.
- El flujo de trabajo continuo se consigue a partir de una correcta optimización de los esfuerzos.
- En el desarrollo del proyecto, el control se produce en forma ejecutiva, es decir a lo largo de todas las fases.
- El proceso de información y materiales se realiza a través del sistema “pull” que mantiene el flujo continuo en la cadena.

- La variación de producción se regula a partir de la capacidad del producto y su respectivo almacenamiento.
- En cada nivel, hay un análisis correctivo para realizar los cambios necesarios en el proceso.

La herramienta LPDS tiene como objetivo elevar el valor del proyecto, inculcando un compromiso orientado a una mejora continua con el fin de poder elevar la eficiencia, disminuir costos y tiempos de ejecución. En la Figura 9 se muestra la descripción gráfica del modelo del LPDS en el cual se descompone al proyecto en cinco fases y once etapas las cuales están ligadas entre si y que son observadas permanentemente por un módulo de control de producción y un módulo de estructuración del trabajo, dichos módulos permiten crear un ciclo de aprendizaje continuo para asimilar los errores cometidos en cada una de las etapas del proyecto. (Porrás Díaz, Sánchez Rivera, & Galvis Guerra, 2014)



*Figura 9. Modelo gráfico de Lean Project Delivery System*  
Fuente: Lean Construction Institute

Las 5 fases que propone el LPDS son: (Ordóñez Núñez, 2017)

- Definición del proyecto. En esta fase se implementan tres etapas, que son indispensables en todo proyecto previo al inicio del trabajo de diseño como tal. En primera instancia se plantean los objetivos, para ello se requiere la

intervención del equipo de diseño, compuesto por ingenieros, arquitectos y constructores; quienes deben reunirse con el cliente o inversor que expone sus necesidades y expectativas con respecto al proyecto. En la siguiente etapa después de analizar las necesidades del cliente se plantean los criterios de diseño, como pueden ser las normas técnicas y experiencias adquiridas en proyectos relacionados. Finalmente se empieza a desarrollar una idea conceptualizada dando como resultado un anteproyecto.

- Diseño Lean. Teniendo como base las ideas plasmadas conceptualmente en el anteproyecto, se procederá a desarrollar el conjunto de alternativas que a partir de ciertas limitaciones se espera establecer en el diseño conceptual definitivo a desarrollar. Simultáneamente se designa el proceso constructivo a ejecutar, acorde a las necesidades del cliente que será el encargado de gestionar de mejor manera los recursos. Posteriormente, una vez establecido el diseño y el camino, las reuniones entre las partes serán fundamentales para tomar la decisión final y establecer las especificaciones del diseño.
- Suministro Lean. Para dar paso a esta fase es indispensable que el diseño final y el proceso a ejecutar estén definidos previamente, con esto los profesionales que llevan a cabo el proyecto podrán desarrollar los detalles de ingeniería en donde se cuantifica la cantidad y calidad de los materiales que serán necesarios para llevar a cabo el proyecto de construcción. Posteriormente con la lista de materiales enumerados se entra en la etapa de logística donde se crea una cadena de suministros que distribuye únicamente lo necesario en cantidades idóneas y respetando el tiempo de entrega. En este punto el trabajo con los proveedores es muy importante ya que de ellos depende que los suministros lleguen a tiempo a la obra y el flujo continuo no se detenga, evitando así desperdicios y tiempos muertos.
- Montaje o ensamblaje Lean. Una vez que se han gestionado los recursos necesarios para la ejecución de la obra, se puede empezar a materializar el

proyecto in situ instalando módulos de trabajo creando así un ambiente controlado y predecible. Esta etapa es netamente productiva en la cual se ejecuta el plan definido en la fase de diseño. Consecuentemente la fase de ensamblaje termina con la puesta en marcha de la infraestructura, aquí es donde se realizan pruebas de calidad y se corrigen fallas para finalmente entregar el inmueble al cliente.

- Uso y mantenimiento. Esta es la última fase que propone la herramienta LPDS, que inicia después de haber hecho las respectivas pruebas de calidad de la obra terminada. En esta fase el cliente goza de los beneficios que el producto final le ofrece, debiendo realizar las actividades de mantenimiento necesarias, hasta el día final de la vida útil de la estructura.

#### *2.3.2.5.2 Último planificador (LAST PLANNER SYSTEM - LPS)*

Esta herramienta fue desarrollada en el año 2000 por Glenn Ballard y Greg Howell, la misma que tiene como principio fundamental lograr la reducción de la incertidumbre asociada a la programación de actividades. Mediante la implementación de sistemas de planificación y control de proyectos. Al asignar actividades en un proyecto de construcción dado, este elemento buscará promover la mejora del flujo de trabajo y la toma de decisiones oportuna, de esta manera se busca incrementar la productividad así como la reducción de los tiempos en obra. (Rojas López , Henao Grajales, & Valencia Corrales, 2016)

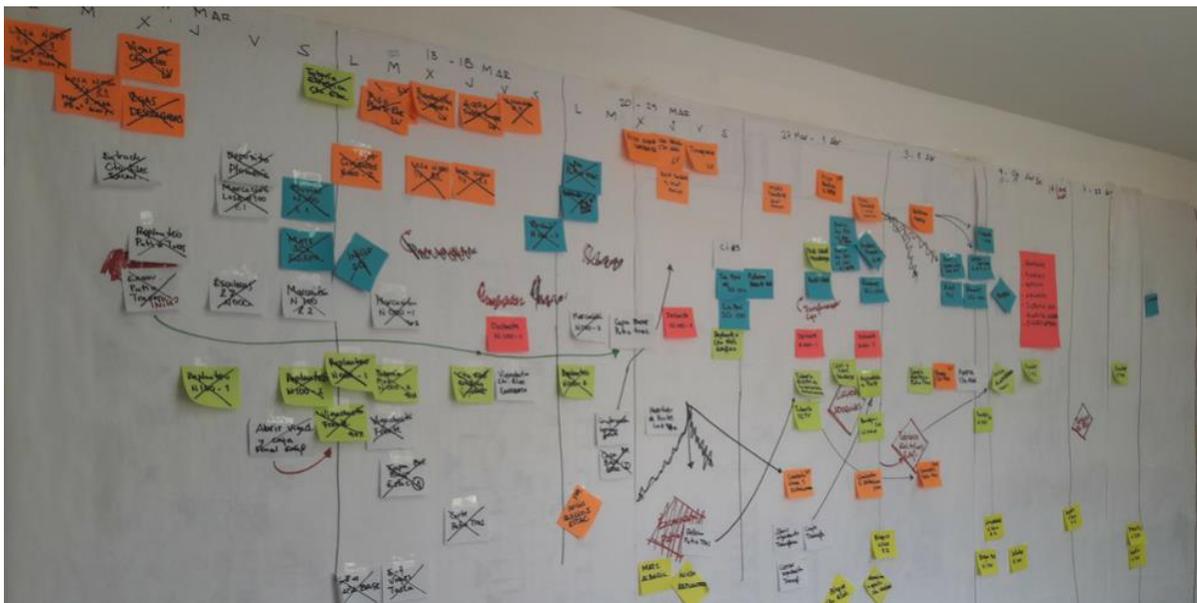


Figura 10. Aplicación práctica del Pull Planning (herramienta del LPS)

Fuente: (Rodríguez, 2018)

El LPS agrega un agente de control de producción dentro de la organización tradicional de un proyecto, mismo que actúa como un mecanismo de paso de lo que se debe hacer a lo que se puede hacer. Para ello a través de un enfoque práctico todos los involucrados se reúnen para desarrollar planes de trabajo que permitan lo siguiente: (Soler Severino, Pelliser Armiñana , & Álvarez Pérez , 2017)

- Optimizar los recursos disponibles, reducir costos de ejecución y mejorar la producción.
- Disminuir la incertidumbre en la producción.
- Detectar riesgos y oportunidades a tiempo.
- Facilitar la comunicación e integración con empresas homólogas obteniendo un mejor ambiente laboral.
- Promover esta metodología colaborativa con empresas subcontratadas.
- Identificar y eliminar las restricciones que evitan el flujo de trabajo del equipo.

- Comprender la dependencia existente con relación a otras empresas subcontratadas.

Para la implementación de esta herramienta es necesario efectuar el monitoreo de cada una de las actividades comprendidas en el proyecto por lo que deberá designarse al último planificador que es la persona o grupo encargado de asignar tareas de trabajo directamente a los trabajadores para controlar las interdependencias entre las actividades de un proyecto e involucrar a las personas gestoras del proyecto para promover tiempos y metas reales bajo la coordinación de un líder. (Porrás Díaz, Sánchez Rivera, & Galvis Guerra, 2014)

A continuación se presentan dos situaciones dentro de la planificación de proyectos, que explican la influencia del LPS al aplicarlo en el desarrollo de las actividades: (Guamán Sanaguano , 2018)

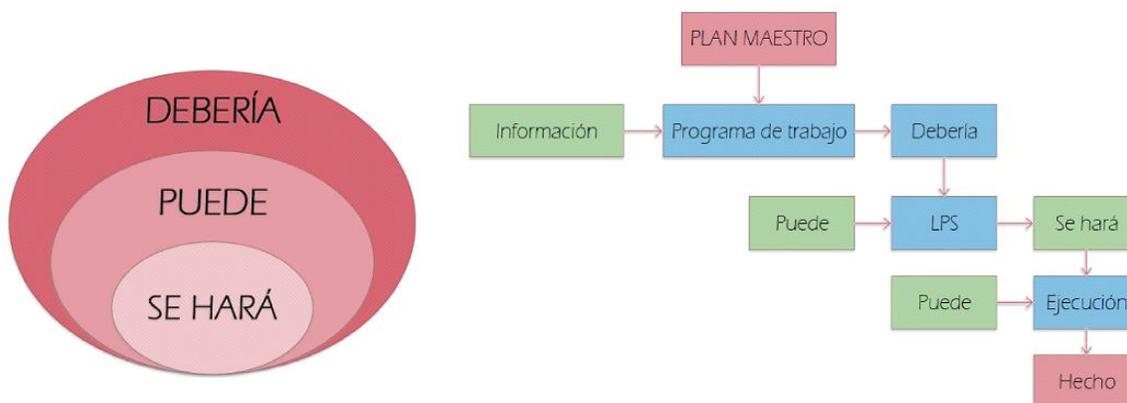
- Situación tradicional en proyectos de construcción. En la Figura 11 se esquematiza el comportamiento de la planificación tradicional que no cuenta con un control exhaustivo de las actividades. Donde el plan maestro abarca lo que se “debe” hacer siendo el conjunto más grande establecido, dentro de éste se presenta el subconjunto lo que “se hará” que propone metas exageradas sin considerar lo que se “puede” hacer que es el subconjunto final, y en definitiva se ejecuta únicamente la intersección entre lo que se hará y se puede hacer.



*Figura 11. Planificación tradicional*

Fuente: (Castro & Pajares, 2014). Adaptado por los Autores

- Situación aplicando LPS. En la Figura 12 se puede observar un mejor planteamiento, aunque no se puede cumplir con todo lo planeado debido a que existen ciertas restricciones en las actividades. Este caso presenta un esquema general que es lo que se “debería” hacer, siendo este el plan maestro que presenta todavía ciertas incertidumbres en su desarrollo, dentro de este conjunto se encuentra el subconjunto se “puede” encaminado a analizar las restricciones y propone metas no muy exigentes pero reales que finalmente “se harán”. Este último es la planificación diaria y detallada de las actividades a desarrollar.



*Figura 12. Situación aplicando LPS*

Fuente: (Castro & Pajares, 2014). Adaptado por los Autores

### *2.3.2.5.3 Administración de procesos por demanda (PULL DRIVEN PROCESS MANAGEMENT)*

Tanto en la industria de la construcción como en todo negocio debe efectuarse la administración de sus recursos de la forma más eficaz posible, pues sólo de esta forma se estará garantizado el éxito tanto del negocio como de la actividad productiva, caso contrario, el llevar a cabo una gestión eficaz será poco menos que imposible y las consecuencias serán preocupantes y hasta cierto punto irreversibles. (Baquero, 2007)

Por medio de la planificación de la demanda podrá conocerse la capacidad real de la cobertura de porcentaje del servicio prestado y de acuerdo con ello establecer el volumen de la demanda real que será posible satisfacer, expresado de otra forma, se medirá el esfuerzo que será necesario realizar para vender un servicio de calidad que satisfaga por completo a los clientes.

La planificación de la demanda coordina la cadena de valor mediante tres pasos, los mismos que se describirán a continuación: (Baquero, 2007)

- Por medio de un sistema de software de previsión de demanda, el mismo que deberá tener como punto de partida el análisis histórico de datos que podrá proceder de un sistema BI (Business Intelligence) o de cualquier otra fuente de inteligencia de negocio. A través del software de previsión de demanda, se cruzarán datos relacionados con posibles acciones y eventos necesarios a tomarse en cuenta y que puedan influir en la planificación de demanda.
- El siguiente paso consistirá en efectuar una reunión transversal de consenso entre la mayoría de departamentos con la finalidad de aprobar la planificación. En el caso de que se hubiere aprobado el proyecto, se procederá a notificar la decisión a las demás áreas de la empresa.
- En el último paso se procederá con la medición de los resultados en donde se efectuarán mediciones de forma frecuente. La mejor forma de recolectar y posteriormente ordenar la información es por medio de un cuadro de mando

integral de la compañía, siendo esta una herramienta que receptorá los indicadores más representativos de la información en cada área de la actividad que ha sido analizada y posteriormente aprobada.

Si estos tres pasos se llevan a cabo de manera ordenada y correcta, el proceso de producción definitivamente se optimizará, por lo tanto, la empresa constructora obtendrá una tasa de ganancia más alta.

#### *2.3.2.5.4 Reingeniería en el proceso de negocio (BUSINESS PROCESS REENGINEERING)*

La reingeniería de procesos de negocio es todo acto encaminado a recrear un proceso comercial central con el objetivo primordial de mejorar el o los procesos productivos de un producto, así como su calidad junto con la correspondiente reducción de costos de producción. (Avila, 2015)

En este proceso generalmente está implicado el análisis de los flujos de trabajo de la empresa, así como la búsqueda de procesos de calidad inferior o ineficiente para que una vez hallados y reunidos - si es que hay varios – buscar sustituirlos, mejorar su calidad o descartarlos. (Gallosa, 2017)

La reingeniería de procesos se ideó de acuerdo al principio del uso de nuevas tecnologías por parte de muchas empresas para de esta forma automatizar procesos que se presume sean lentos y poco eficaces en lugar de reemplazarlos basándose en las nuevas tecnologías.

De acuerdo con lo anterior, entonces, la reingeniería de procesos se fundamenta en la búsqueda de ciertos procesos productivos que se presume tengan falencias y en base al uso de las nuevas tecnologías poder mejorar su rendimiento o proceder a rediseñarlas de forma íntegra obteniendo como resultado un producto de calidad y rendimiento superior al primitivo. (Peralta, 2015)

Es necesario mencionar que la reingeniería de procesos tanto en la industria de la construcción como en los negocios en general es un proceso que requiere mucho trabajo previo, puesto que, a diferencia de la gestión o mejora de procesos, los mismos

que se basan en operar con procesos existentes, la reingeniería de procesos en cambio busca cambiar el formato y operatividad de los procesos siendo posible reformarlos por completo y de esta forma garantizar la operatividad y eficiencia del proceso. Sin embargo, se requiere de arduo trabajo llevar a cabo el referido proceso innovador de tecnologías puesto que debido al grado de alcance de sus objetivos demanda en sí, su complejidad y extensión son muy elevados junto con su costo productivo. También es necesario advertir que a menos que logren llevarse a cabo exitosamente cada uno de los pasos, esto no se conseguirá en el primer intento, sino que el resultado final se lo logrará después de varias pruebas, lo que demandará un gasto fuerte tanto en recursos monetarios como en energía.

Sin embargo, a pesar de las desventajas que acaban de mencionarse, la reingeniería de procesos es una técnica que vale la pena adaptarla en los negocios y proyectos. A continuación, se detallan los pasos a seguir para alcanzar el objetivo final: (Peralta, 2015)

- **Primer paso.** – Este paso está relacionado con la identidad y comunicación de la necesidad de cambio ya sea en proceso particular o general. En el plano corporativo este constituye un filtro bien complicado para ser superado en la mayoría de los casos, puesto que existirán discrepancias en lo que respecta a la situación actual del proceso: un grupo creerá que está bien tal como está y se opondrá a que sea reformado, mientras que otro en cambio demandará cambios inmediatos en su estructura por considerarlo bien sea inadecuado, obsoleto o muy limitado. Por lo anterior, en este paso la acción preliminar y esencial se centrará en lograr convencer a la mayoría del personal acerca de la imperiosa necesidad de reformar las gestiones productivas para que de esta forma se logre repuntar los efectos del modelo de gestión. Pese a lo anterior, existe el riesgo de fracaso si es que no cuenta con la aceptación general de la organización, sin embargo, para la empresa es conveniente aceptar el pre proyecto caso contrario estaría poniendo en riesgo la efectividad de los

esfuerzos de la reingeniería de procesos creando así un estado de incertidumbre que afectará de forma grave el desenvolvimiento de la entidad.

- **Segundo paso.** - Una vez que haya logrado superarse el paso anterior, se procederá con la elaboración de un plan, el mismo que deberá ser de una muy completa estructuración, por tal motivo, en su delineación deberán intervenir los directivos de todos los departamentos para que de esta forma el aporte de ideas sea completo y el desempeño de la organización resulte completamente satisfactorio. Para que este paso resulte exitoso, deberá reunirse un equipo de personas altamente calificadas que representen a cada uno de los departamentos que conforman la entidad, además de capacitadas deberán estar motivadas para llevar en la mejor forma posible cada uno de los pasos a realizarse. Un equipo de reingeniería del proyecto está genéricamente estructurado de la siguiente forma:

- **Gerente senior:** Su responsabilidad recaerá en supervisar el proceso de reingeniería a la vez que dirigirá la toma de decisiones.
- **Gerente de operaciones:** Tendrá a su cargo la dirección operativa del proceso en donde supervisará la marcha de aquel además de aportar con su experiencia y conocimientos.
- **Expertos en procesos de reingeniería:** Los procesos de reingeniería requieren de profesionales con sólidos conocimientos en el área junto con la experiencia adquirida en el transcurso de su vida profesional. Dichas acciones deberán llevarse a cabo por un equipo multi disciplinario de acuerdo con la complejidad que presenten, por lo que no deberá escatimarse el empleo de los recursos humanos que sean necesarios para obtener un modelo de reingeniería óptimo.

En este paso, si no se cuenta con las personas adecuadas, se producirán efectos no deseados, lo que obligaría a suspender el proceso de reingeniería o a establecer un nuevo equipo de trabajo. Problemas que en cualquier caso generarían costos extras a la compañía.

- **Tercer paso.** - Este paso consiste en hallar los procesos que se presuman de calidad ineficiente para en base a ello comenzar a definir los indicadores clave de rendimiento (KPI).

En este paso el principal riesgo de fracaso radica sobre todo en la falta de paciencia y metodismo para analizar los procesos. La reingeniería en el proceso de negocios (BPR) se solicita en caso que las entidades empresariales se encuentren fuera de control por lo que requieran reestructurarse de forma drástica para de esta forma poder reflotar y recuperar o alcanzar el liderazgo corporativo.

- **Cuarto paso.** - Una vez que se han cumplido con todas las etapas de análisis y planificación, podrá comenzarse con la implementación de soluciones y cambios a pequeña escala. Luego de haberse llevado a cabo dichas implementaciones, deberán mantenerse las mismas sin descuidar su consistencia manteniendo un monitoreo constante, pues solo de esta forma se podrá verificar su efectividad y en caso de que éstas resulten favorables, se las mantendrá y perfeccionará, caso contrario, se efectuará un análisis de los factores que las vuelven inviables para en base a los resultados obtenidos proponer soluciones adecuadas que permitan mejorar su contenido y estructuración. Si los KPI demuestran que la solución propuesta ha dado resultados satisfactorios, ésta comenzará a escalar paulatinamente y en consecuencia llegará a ponérsela en práctica dentro de muchos más procesos de la compañía. Caso contrario, deberán volver a reestructurarse los KPI y volverse a comprobar la efectividad de los mismos hasta que satisfagan los requerimientos necesarios.

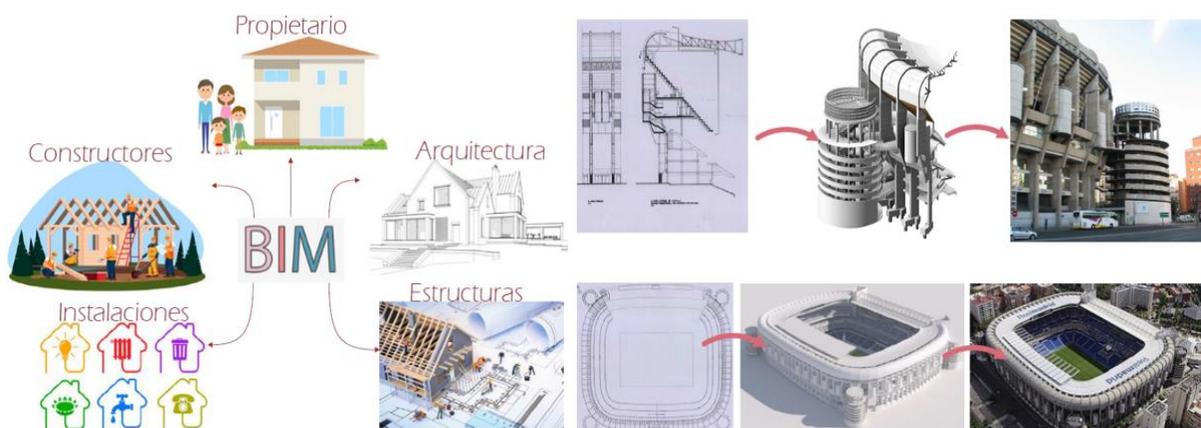
## **2.4 METODOLOGÍA BIM**

### **2.4.1 DEFINICIÓN DEL BIM**

BIM (Building Information Modelling) es una metodología que permite hacer simulaciones digitales de diseño por medio del manejo coordinado de la información que determinará la ejecución de un proyecto constructivo.

Es un sistema de gestión de información, el mismo que se encarga de producir y almacenarla para de esta forma poder operar en todas las fases de la vida útil de los proyectos. (Choqueza López, 2019)

La metodología BIM incorpora muchas especialidades, como arquitectura, ingeniería estructural, ingeniería sanitaria, energía eléctrica, construcción, decoración, etc. Estas especialidades se fusionan en modelos virtuales que almacenan información, que va desde los factores interventores en el proceso, el modelaje propio de la construcción, programación, administración, financiamiento, mantenimiento, entre las más importantes, por ello, la metodología BIM es considerada como un modelo de tipo multidimensional y multidisciplinario. (Choqueza López, 2019)



*Figura 13. Representación del uso de BIM*

Fuente: Elaborado por los autores

Como metodología de trabajo, BIM se considera un método cooperativo además de estar considerado como una herramienta que fusiona los factores más influyentes en los procesos de planificación, diseño, construcción, fiscalización y mantenimiento del proyecto, por lo tanto, se obtendrá una gestión comunicativa satisfactoria y con ello se

facilitará enormemente la toma de decisiones lo que agilizará cada etapa del proyecto lo que reducirá considerablemente su tiempo de entrega.

El BIM viene siendo el conjunto de metodologías de trabajo basadas en el uso de la información de forma coordinada y continua en donde se aplicarán una o varias bases de datos compatibles en donde pueda almacenarse toda la información necesaria acerca del proyecto que se pretende ejecutar. (Coloma, 2008)

A diferencia de CAD, tecnología que sólo permite efectuar el diseño en 2D y 3D, y que no permite distinguir ningún elemento ni sus propiedades; el BIM incorpora mucha información en su modelo 3D, además de otras dos dimensiones: 4D equivalente a tiempo y 5D equivalente a costos. De esta manera podrá gestionarse la información de manera inteligente durante todo el transcurso de la vida útil del proyecto.

## **2.4.2 OBJETIVOS DEL BIM**

### **2.4.2.1 Objetivo general.**

Consolidar toda la información de un determinado proyecto en un único modelo de información digital creado por todos sus agentes. (BIM community, 2018)

### **2.4.2.2 Objetivos específicos**

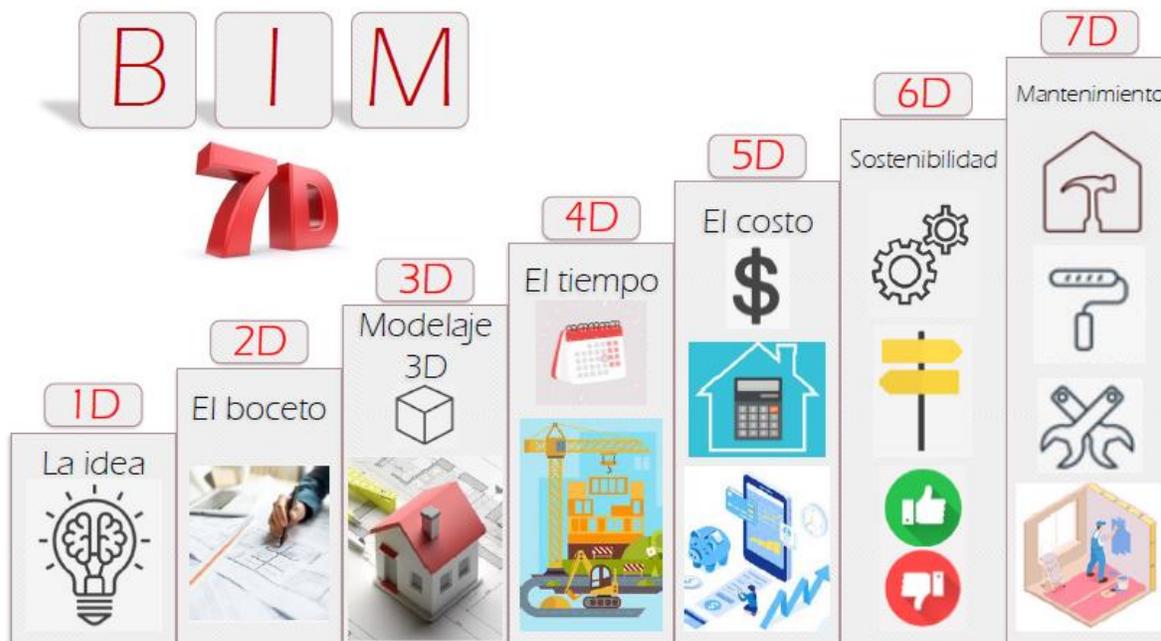
- Cuantificar y organizar todos los elementos que componen una edificación o proyecto.
- Caracterizar o identificar a todos los elementos de una determinada edificación o proyecto; con datos como su ubicación, magnitud, cantidad, propiedades mecánicas y físicas, costo y escala.
- Predecir el comportamiento de los elementos de una edificación o proyecto ante las solicitaciones a los que estarán sometidos durante el transcurso de su vida útil.

- Verificar o comprobar la exactitud de la información de cada uno de los elementos de una edificación o proyecto.
- Generar una representación lo más realista posible de los elementos de una edificación o proyecto.
- Codificar la información de modo que esta tenga compatibilidad en otros programas informáticos en los que se requiera intercambio de información con BIM.
- Representar de forma gráfica y descriptiva los elementos de una edificación o proyecto específicos.
- Llevar un registro documental de todos los elementos que conforman una edificación o proyecto determinados.
- Controlar las actividades que integran el proyecto por medio de la información característica de cada uno de los elementos que conforman una determinada edificación o proyecto.

Como se puede observar, los objetivos del uso del BIM son múltiples lo que permite inducir que se trata de una herramienta de gran valía en el proceso del diseño, construcción, operación y disposición final de proyectos durante todo su período de vida útil. (Gallosa, 2017)

### **2.4.3 DIMENSIONES DEL BIM**

El BIM se basa en siete dimensiones, que se representan a continuación en la Figura 14: (Cantó Carpetano, 2017)



*Figura 14. Dimensiones del BIM*

Fuente: (Cantó Carpetano, 2017). Adaptado por los autores

#### 2.4.3.1 La idea (1D)

En esta dimensión predominarán dos factores: la determinación de la localización y las condiciones iniciales del proyecto junto con las estimaciones preliminares de la geometría del proyecto, del costo del mismo, la cantidad de material, planes preliminares de ejecución inicial.

#### 2.4.3.2 El boceto (2D)

En esta dimensión se determinarán las características genéricas del proyecto. Esta fase está integrada por cinco factores: **1.-** Modelación del proyecto por medio del software BIM, **2.-** Disposición de los materiales, **3.-** Determinación de las cargas estructurales, **4.-** Determinación de la dimensión energética del proyecto, **5.-** Establecimiento de las bases para la sostenibilidad general del proyecto.

#### 2.4.3.3 Modelaje gráfico tridimensional (3D)

Corresponde a la representación digital del proyecto, donde se ha obtenido y reunido toda la información de las dimensiones antes planteadas. La utilización de esta

dimensión en BIM permite visualizar elementos inteligentes que brindan una gran lista de detalles ya que están representados en el proyecto a través de reanimaciones, render y la incorporación de características propias de cada material, que permite a los involucrados en la construcción tener información suficiente y necesaria para tomar decisiones antes de ejecutar el proyecto.

#### **2.4.3.4 El tiempo (4D)**

Esta dimensión distingue BIM de otros métodos a través del siguiente factor clave: dinámico. A diferencia del método convencional de exponer modelos puramente estáticos, el método BIM proporciona una nueva dimensión de tiempo, de modo que se puede obtener un plan de tiempo que describa la fase del proyecto. La representación es de carácter variable más no constante en donde las características del proyecto variarán de acuerdo con la variación de sus factores de acuerdo con su ejecución.

#### **2.4.3.5 El costo (5D)**

Esta fase está comprendida por dos factores: el análisis y estimación de costo de un determinado proyecto, incluyendo su control el mismo que variará de acuerdo con la etapa evolutiva del proyecto. Al integrar información detallada en el modelo BIM, es relativamente fácil generar informes presupuestarios de manera automática en cualquier momento del ciclo de vida de la infraestructura.

#### **2.4.3.6 Análisis de sostenibilidad (6D)**

Esta dimensión comprende las fases de planteamiento y simulación de las alternativas contingentes con su respectivo análisis para de esta forma decidir acerca de la opción más adecuada para que la ejecución del proyecto resulte óptima. Expresado de otra forma, esta dimensión se encarga de seleccionar la alternativa que mejor convenga para que así se acople a todas las dimensiones del proyecto. Además se puede simular el comportamiento de los sistemas de ahorro de energía y la gestión de recursos para proporcionar la información necesaria para la toma de decisiones. Por lo tanto, se

puede seleccionar la mejor tecnología para cada proyecto para optimizar el consumo de energía y minimizar el daño al medio ambiente. (Gallosa, 2017)

#### **2.4.3.7 Gestión del ciclo de vida (7D)**

Por medio de la metodología BIM se puede localizar y almacenar información relacionada con un proyecto a lo largo de toda su vida útil. Se recolecta la información relacionada con las características de cada uno de los componentes del proyecto como medidas, costos, planificación. En esta dimensión se posibilitarán los procesos de modificación y retroalimentación continua en donde se registrarán todas las variaciones existentes entre el proyecto real y el ideal para de esta forma obtener una total correspondencia entre el modelo BIM y el proyecto en la realidad. (STRUCTURALIA, 2018)

#### **2.4.4 BENEFICIOS DEL BIM**

Tras una implementación madura de la metodología BIM dentro de una empresa y su posterior aplicación práctica en un determinado proyecto de construcción se puede identificar que ésta influye positivamente durante todo el ciclo de vida de la edificación, es así que tanto constructores, contratistas e incluso los usuarios se ven beneficiados gracias a BIM. (González Guamán, 2014)

##### **2.4.4.1 Para los constructores y contratistas**

- **Los modelos en 3D facilitan la comprensión de los proyectos:** El modelaje tridimensional proporciona una concepción realista al edificio o proyecto, por lo tanto, se tendrá un grado de comprensión bastante alto y por lo tanto se afianzarán los procesos constructivos, así como la determinación de tiempos y presupuestos lo que facilitará los procesos de programación y planificación de obras.
- **Optimiza la planificación de costos y plazos:** BIM permitirá conocer con amplitud el proyecto de acuerdo con todas sus características que lo definen al

mismo y por ello los constructores y planificadores estarán en condiciones de definir los componentes que integran los proyectos en cada una de sus etapas, lo que facilitará la optimización de los costos, y, por lo tanto, de los plazos de entrega.

- **Permiten simular y planificar medidas de seguridad y prevención de riesgos:** BIM tiene la capacidad de enfocar los proyectos de acuerdo con sus diversas componentes espaciales, lo que permitirá conocer con total exactitud los principales aspectos dimensionales que conforman su infraestructura para de esta forma implantar las medidas de seguridad adecuadas, así como elaborar los respectivos planos de evacuación en caso de suscitarse algún tipo de emergencia, además de elaborar las normativas de prevención de riesgos que exigen las municipalidades.
- **Permiten solucionar y prever los problemas de manera anticipada:** Por medio de la herramienta BIM, tanto los constructores como los contratistas estarán en condiciones de visualizar las diferentes características que rodean el entorno del proyecto, lo que les permitirá detectar las posibles falencias que encierre el mismo y de esta forma podrán tomar las medidas necesarias para corregir los yerros que vulnerarán la funcionalidad del proyecto antes de su aprobación definitiva. La herramienta BIM garantizará a los planificadores realizar su trabajo de forma exitosa y a la vez simplificar el tiempo de entrega lo que les generará prestigio y rentabilidad profesional.
- **Permiten simular el comportamiento de un proyecto:** Las herramientas BIM brindan a los diseñadores la conveniencia suficiente para que puedan diseñar diferentes aspectos funcionales, de modo que puedan enfocarse en múltiples componentes que determinan la eficiencia durante la vida del proyecto. Por medio de la metodología BIM, entonces, se obtendrá una visualización preliminar del desempeño que presentará el proyecto, y de esta forma el profesional encargado estará en capacidad de determinar las principales

correcciones con su respectiva comprobación hasta que se obtenga un modelo de funcionamiento óptimo que satisfaga el bienestar y seguridad de los usuarios.

- **Facilitan la coordinación, integración y actualización de toda la información generada por los actores del proyecto:** Por medio de la metodología BIM será posible fusionar los criterios individuales de cada uno de los profesionales que conforman el equipo multi disciplinario, y de esta forma podrá haber sinergia entre los referidos criterios lo que conferirá al proyecto eficiencia y calidad para que pueda brindar un servicio acorde con las necesidades demandadas por los usuarios del mismo. De acuerdo con lo anterior, entonces, BIM tiene la facultad de combinar los diferentes componentes que intervienen en la planificación y ejecución de un proyecto determinado para así dar como resultado final un producto de calidad que satisfaga a sus usuarios.
- **Mejora la administración de datos, así como la información compleja de proyectos:** Por medio de BIM, se podrán administrar de forma adecuada y eficiente los diversos proyectos sin importar el grado de complejidad que encierren, por lo que constituye una base de datos eficaz y confiable que garantizará la administración de proyectos con su consecuente eficiencia. De acuerdo a lo anterior, entonces, BIM constituirá un recurso indispensable tanto para el área técnica como administrativa que fusionará los criterios de las mismas dando como resultado su sinergia que proporcionará la calidad y garantía que sustentará la eficiencia del proyecto.

#### 2.4.4.2 Para los usuarios

- **Permite reducir los plazos de entrega y costos de proyectos:** La metodología BIM tiene la facultad de proporcionar resultados inmediatos por lo que el proyectista estará en capacidad de satisfacer las necesidades inmediatas del o los clientes, puesto que con solamente cambiar los datos o parámetros

podrán obtenerse las modificaciones del proyecto en función de los requerimientos que haya decidido el cliente.

- **Permite el desarrollo de proyectos más eficientes y sustentables:** Por medio de la herramienta BIM, el proyectista podrá tener la seguridad que la concepción que le dé a su trabajo estará enfocada en los requerimientos de los clientes y de los usuarios del proyecto, y, por lo tanto, éste estará garantizado como un producto de alta funcionalidad que responderá a las exigentes solicitudes que de acuerdo a su carácter deba aceptar y posteriormente asimilar reflejando así su idoneidad.
- **Permite reducir la emisión y generación de residuos:** Uno de los grandes riesgos a los que se enfrentan los proyectistas es el referente a los posibles impactos ambientales que estos puedan llegar a generarse tanto en su fase de ejecución como en su posterior fase operativa, BIM entonces, permite optimizar los procesos constructivos, de modo tal que tanto los procedimientos empleados en la etapa constructiva como en la operaria genere un muy bajo índice de contaminación que perjudique al entorno ambiental que rodea al proyecto. Para que un proyecto cumpla enteramente con su cometido de servicio deberá satisfacer las necesidades de los usuarios a la vez que mantener el entorno ambiental, por lo tanto, con ayuda de BIM el proyectista podrá encontrar los métodos más adecuados que le permitan modelar sus proyectos de forma apropiada para que estos brinden una entera satisfacción a sus usuarios y sean amigables con el medio ambiente.
- **Permite mejorar la calidad de los proyectos:** Todo proyecto deberá ofrecer y brindar a sus usuarios calidad, funcionalidad y seguridad, por lo tanto, para que pueda cumplir con cada uno de estos tres cometidos, el proyectista deberá emplear pautas de diseño que le permitan garantizar al proyecto el fiel cumplimiento de su misión para de esta forma poder llegar a ver materializada su respectiva visión. Por todo lo anteriormente mencionado, entonces, el hecho

de que el proyectista cuente con la herramienta BIM facilitará enormemente la obtención de un producto avalado por la garantía que le permitirá ofrecer un servicio acorde con su misión y visión proporcionando satisfacción a sus beneficiarios y prestigio profesional a sus proyectistas.

#### **2.4.5 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA BIM EN LA CONSTRUCCIÓN**

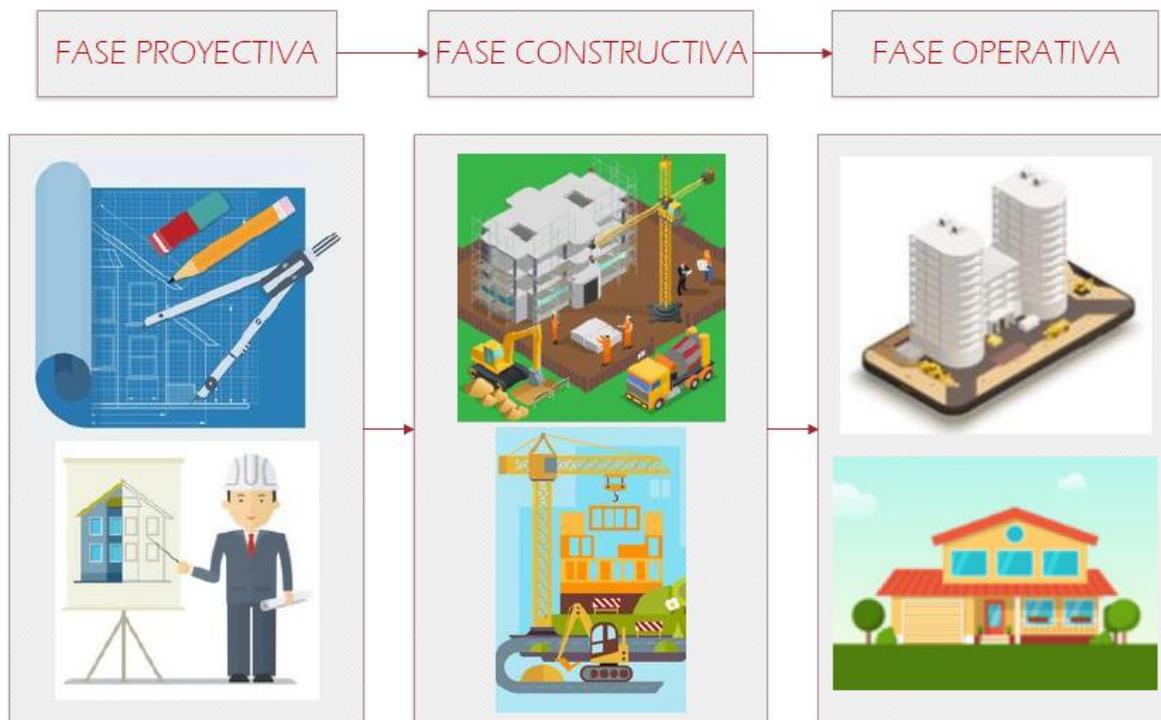
La metodología BIM permite modelar el ciclo de vida de un proyecto desde su fase misma de proyección hasta la fase de mantenimiento y operaciones, la eficiencia del proyecto dependerá como llegue a aplicarse la metodología BIM.

En la etapa de construcción, a simple vista parece que todos los factores involucrados en el proceso constructivo desempeñarán su función correspondiente de forma adecuada, sin embargo, es fundamental la correcta planificación de cada una de las etapas constructivas, así como sus tiempos de ejecución para de esta forma evitar retrasos en el cumplimiento del cronograma y ahorrar lo mayor posible en los costos de proyecto. (Osca, Celia, 2017)

De acuerdo con la experiencia de los constructores, es cada vez más alta la tendencia del número de proyectos que sufren modificaciones con respecto a la planificación inicial, por lo tanto, para evitar ser parte de esta estadística alarmante, el BIM viene siendo una importante herramienta que mejorará la planificación de los proyectos.

Al modelar en BIM en la fase previa del proyecto, se facilitará la construcción del mismo, así como los procesos de contratación y licitación, el BIM, además tiene una gran utilidad en el desarrollo de planillas de avance de obra y su posterior presupuestado junto con la planificación de todos los factores que forman parte del proceso constructivo. (Osca, Celia, 2017).

A continuación, en la Figura 15 se esquematizará la aplicación del BIM en el proceso constructivo:



*Figura 15. Presencia del BIM en el ciclo de un proyecto*

Fuente: (Osca, Celia, 2017). Adaptado por los autores

- **Fase proyectiva:** En esta fase el BIM trabajará en base a los datos ingresados de acuerdo con los requisitos y especificaciones conforme a las normativas de diseño y construcción vigentes. Dando como resultado un modelo 3D con información relevante de todos los elementos que lo conforman.
- **Fase constructiva:** En esta etapa comenzarán a materializarse los componentes delineados en la fase anterior, por lo que el BIM permitirá efectuar seguimientos en la etapa de construcción para de esta forma cumplir con el cronograma establecido y así el proceso constructivo no presente desfases. Por lo anterior, el BIM viene siendo un sistema que permite fiscalizar las acciones llevadas a cabo durante el proceso constructivo y así podrán detectarse oportunamente las falencias cometidas y ser inmediatamente corregidas. Como puede observarse en la Figura 15, la fase constructiva está concatenada tanto con la fase productiva como con la fase operativa, en el nexo entre la etapa

proyectiva y constructiva existirá traspaso de información proyecto – construcción y viceversa, de esta forma podrá verificarse el cumplimiento de las normativas y especificaciones técnicas.

- **Fase operativa:** Esta etapa es la última, así como también la más larga puesto que comprende todo el lapso de la vida útil del proyecto la cual puede extenderse por períodos medio, largos y muy largos, de acuerdo con el uso para el que ha sido concebido el proyecto. Como puede observarse en la Figura 15, la fase operativa está concatenada con la fase constructiva por lo que puede afirmarse que en el proceso de construcción con la ayuda del BIM se vislumbrará en cierta forma el funcionamiento del proyecto y así podrán detectarse los posibles yerros en la fase constructiva.

## **CAPÍTULO 3.**

# **SITUACIÓN DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN Y EL USO DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS EN EL ECUADOR**

### **3.1 INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION EN ECUADOR**

La industria de la construcción desempeña un papel importante dentro de la economía en el Ecuador debido a que constituye el tercer rubro más representativo en el Producto Interno Bruto (PIB) ecuatoriano. El sector ha manifestado un elevado desarrollo e impulso, por lo cual se lo ha reconocido como el mayor generador de empleo en la última década. Asimismo, su influencia directa e indirecta en sectores relacionados dinamiza el crecimiento económico nacional. (Yandun, 2018)

A continuación se presenta un análisis realizado a la situación económica de la industria de la construcción en el Ecuador durante la última década (2010 – 2019). En la Figura 16 se puede observar el gráfico de barras proporcionado por el Banco Central del Ecuador en donde se presentan los datos estadísticos pertenecientes a este período de estudio.

Entre los años 2010 y 2011 en este sector se presentó un crecimiento del 25%, el porcentaje más alto de crecimiento del período de análisis. Esta tendencia de crecimiento se mantuvo desde 2009, donde se reflejó un crecimiento del 10% para el año 2010. Esto fue posible gracias a la implementación de una serie de políticas gubernamentales, cuyo objetivo esencial fue el de fomentar el desarrollo a través de proyectos de construcción en el sector público, desarrollo vial y sobretodo facilitando la obtención de créditos hipotecarios. (Merizalde, 2017)

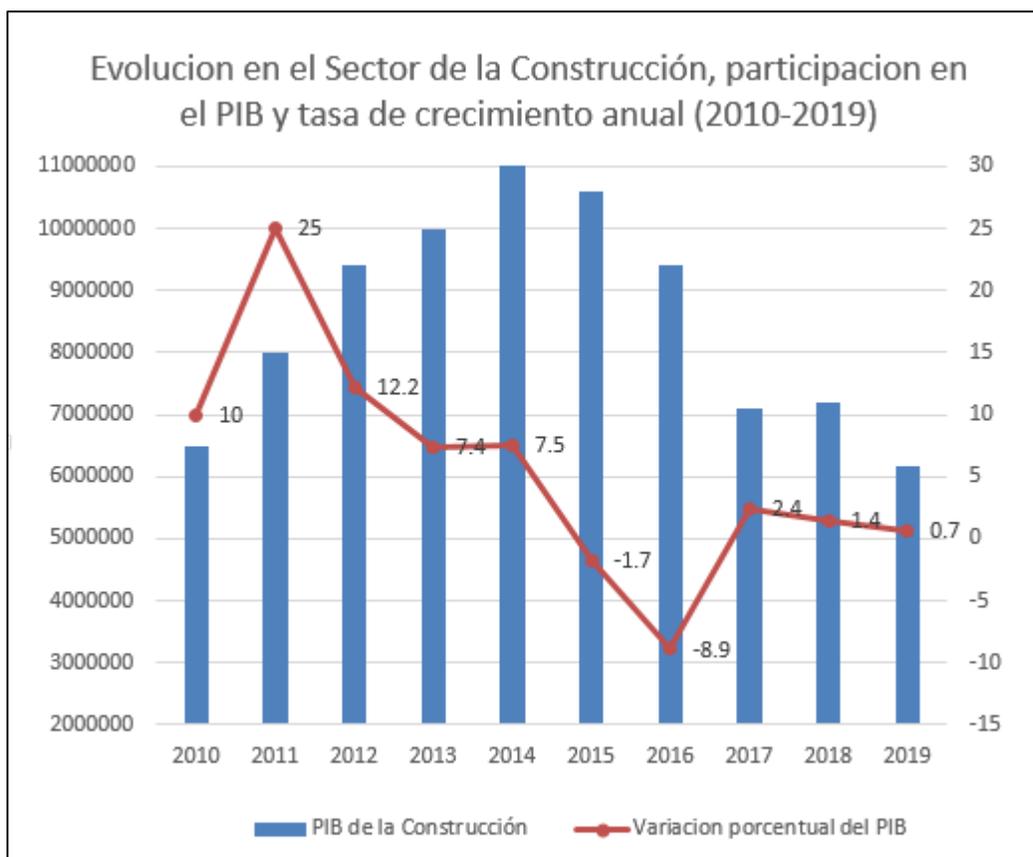
En 2012, esta tendencia se mantuvo, los números iban en aumento, sin embargo la tasa de crecimiento no fue tan dinámica como en años pasados. Para el año 2013 el Banco Central, en uno de sus informes, declaró que la industria de la construcción fue

la que más contribuyó al crecimiento económico del país, con un aumento del 7,4%. Fue el rubro que más contribuyó al PIB, solo superado por las industrias manufactureras y petroleras. (Merizalde, 2017)

Para el año 2014, los ingresos generados por la industria de la construcción excedieron los US \$ 100.500 millones, un aumento del 9% con respecto a 2013. La cantidad de préstamos hipotecarios en los sistemas financieros públicos y privados aumentó un 6,8% este año. Una de las principales razones de este aumento fue la disminución del tiempo en que estas entidades bancarias entregaban el dinero a los prestatarios. Esto alentó a las personas a solicitar créditos. (Bermudez Barrezueta, Camino Mogro, & Chalen Vera, 2018)

Al contrario en 2015, la industria cayó en recesión, proyectos de vivienda listos para construir se paralizaron, las ventas de ferreterías se redujeron a la mitad y algunos constructores decidieron reducir el salario de su equipo de trabajo a la mitad. Las ventas de casas y apartamentos fueron canceladas. Esto se debió principalmente a las decisiones que el Gobierno implementó, provocando incertidumbre en el mercado nacional, con proyecto de la ley de redistribución de la riqueza, que agrega un incremento del Impuesto a la Herencia y la Ley de Plusvalía, que tiene como objetivo gravar los edificios y las tierras sobre las ganancias excesivas en las ventas. Estas fueron las causas que llevaron a una desaceleración en las actividades de construcción en todo el país. (Bermudez Barrezueta, Camino Mogro, & Chalen Vera, 2018)

La tendencia de baja se mantuvo durante el 2016. En abril de este año ocurrió el terremoto de Pedernales, lo que llevó a la implementación de la ley de solidaridad, la misma que comenzó a aplicar el aumento del Impuesto al Valor Agregado al 14%, consecuencia de esto los precios aumentaron desde de los materiales de construcción hasta la construcción final. Este año, la crisis golpeó a este sector, las medidas del gobierno causaron temor y la gente prefirió a no invertir en bienes. (Bermudez Barrezueta, Camino Mogro, & Chalen Vera, 2018)



*Figura 16.* PIB del sector de la construcción y su valoración

Fuente: Banco Central del Ecuador. Adaptado por los Autores

Con el cambio de gobierno en mayo del 2017, el panorama fue nuevamente favorable para el sector de la construcción, mientras que 2018 y 2019 han sido años de recuperación, gracias a las medidas que el actual gobierno ha tomado como la derogatoria de la Ley de Plusvalía. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) el número de permisos de construcción aumentó en el último año, lo que confirma la recuperación de la industria. Como se puede observar en la Figura 17, la mayor cantidad de permisos entregados en el 2017 fueron para edificar nuevas construcciones. (Merizalde, 2017)



*Figura 17.* Permisos de construcción entregados según el tipo de obra 2017  
Fuente: Datos INEC. Adaptado por los autores

Bajo esta premisa, lograr mayores índices de productividad se convierte en el principal reto que atraviesa la industria de la construcción en el Ecuador, siendo importante para cualquier empresa implementar nuevas alternativas que permitan optimizar su eficacia productiva. (Vascones, 2017)

Dicho esto la industria de la construcción en el Ecuador necesita cambiar de mentalidad e incentivar estudios que enfoquen sus objetivos en la adaptación de nuevas filosofías y metodologías a su realidad económica, que le permitan mejorar la eficiencia durante la etapa de la planificación, realizar un buen manejo de los recursos disponibles en la etapa de desarrollo y en consecuencia una satisfactoria culminación del proyecto. (Merizalde, 2017)

Existen algunas metodologías y filosofías que mejoran y armonizan el proceso constructivo, las mismas que ya están siendo estudiadas y aplicadas en algunos países de la región, claro ejemplo es el de Chile y Perú que con la aplicación de Building Information Modeling (BIM) están mejorando su eficiencia y productividad en la industria de la construcción.

Lamentablemente la situación actual de la construcción ecuatoriana no es muy alentadora considerando las medidas de distanciamiento social que el país ha tenido que implementar para afrontar la emergencia sanitaria provocada a nivel mundial por

el COVID-19. A raíz de esto todas las actividades económicas que no tengan relación directa con temas de salud y alimentación se han visto obligadas a cerrar sus puertas temporalmente, consecuentemente la planificación y compra de bienes no será una prioridad. Esto se verá reflejado a fin de año cuando las estadísticas muestren nuevamente un declive en la evolución del sector de la construcción y su participación en el PIB nacional.

### **3.1.1 MARCO ECONÓMICO DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL ECUADOR**

En los últimos 10 años (2010-2019), el sector de la construcción experimentó un período de inestabilidad, resulta evidente el nivel de desarrollo positivo experimentado desde el 2010 hasta el 2014, en donde en el 2011 hubo un mayor crecimiento con una tasa del 25% del PIB. Y el lamentable declive en años posteriores.(Gallosa, 2017)

Mantener la estabilidad ha resultado una tarea muy compleja, sin embargo, los elevados niveles de inversión pública y de liquidez en la economía fueron los factores fundamentales para que el referido sector y otros más crezcan, estando dicho crecimiento a la par de mayores recursos públicos.

La industria de la construcción reportó en el año 2013 un crecimiento del 8,6%, mientras que en el 2014 fue del 5,5%; de acuerdo con lo anterior, la construcción fue uno de los sectores que mayor aportación ha generado al aparato productivo estatal, y, por lo tanto, uno de los que ha dado mayor impulso a la economía.

Sin embargo, el sector de la construcción presentó un quiebre durante los años 2016 y 2017 en donde las tasas de dicho sector productivo fueron negativas, lo que trajo como consecuencia el que la variación comprendida entre 2014 a 2017 haya presentado un decrecimiento del 10,51%. Como se ha manifestado, si bien 2017 fue un año muy difícil para la industria de la construcción, de acuerdo con informes proporcionados por el Banco Central la proyección para el 2018 fue en cierta forma positiva puesto que indicaban que la tendencia se revertiría, sin embargo, el crecimiento fue muy escaso, casi nulo. (Vascones, 2017)

De acuerdo con cifras presentadas por la Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON), los tres primeros trimestres del año 2017 resultaron negativos para dicho sector, sin embargo, la situación tuvo un muy leve repunte a partir del cuarto trimestre del mismo año lo que ocasionó que para el primer trimestre de 2018 el índice se reduzca a -0,4, pese a que se trata de una cifra negativa, sin embargo, se trataba de una leve señal de recuperación. (Yandun, 2018)

Según las cifras proporcionadas por la Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON), las plazas de trabajo establecidas en el referido sector de forma directa, llegan alrededor del medio millón de trabajadores, es decir, el sector de la construcción contribuye con el 8% del empleo total nacional. (Vascones, 2017)

Se ha estimado que, por cada plaza de trabajo generada en el sector de la construcción, se generan dos en los demás sectores productivos, de esta forma, el total de plazas de empleo generadas en el referido sector ya sea de forma directa o indirecta ha superado el millón.

De acuerdo con un informe de la FIIC, presentado en 2017, hace referencia en que el sector de la construcción no ha logrado alcanzar los índices de años anteriores, como el 21,6% en 2011 o 14% en 2014, por la razón de que el gobierno destinó menos recursos que los años anteriores, además que el sector inmobiliario perdió fuerza. (Vascones Gabica & Villena Izurieta , 2018).

A pesar de la caída de los precios del barril de petróleo junto con la apreciación del dólar, el gobierno contempló en el Plan Anual de Inversiones para el año 2015, una inversión que superaría los \$8400 millones. (Vascones, 2017).

De acuerdo con la FIIC, para el año 2013 en el Ecuador se generaron \$8.029 millones en concepto de PIB en el sector de la construcción, lo que representa casi el 2,39% del volumen construido en Latinoamérica, o sea, casi \$355.200 millones. (Vascones, 2017)

En lo que respecta a la construcción de programas de vivienda de interés social, la reducción de las tasas de interés para créditos hipotecarios emitida por la Junta de Regulación Monetaria y Financiera, y que entró en vigencia el 2 de abril de 2018, aplicable para unidades habitacionales valuadas hasta un valor de \$70.000, estimuló los anhelos de muchas familias para acceder a vivienda propia. Por medio de la resolución 045-2015-F, se estableció que las tasas de interés para créditos hipotecarios de la banca privada desciendan del 10% al 4,99%, mientras que las tasas del BIESS desciendan del 8,48% al 6,0%. (Gallosa, 2017)

La resolución anterior pretende incentivar la construcción de vivienda de interés social. Para el año 2018 el BIESS tuvo previsto colocar \$1250 millones en préstamos hipotecarios a una tasa del 6,0%, en tanto que la banca privada estimaba en colocar un monto de \$85.632.652 a un interés del 4,99%. Los créditos hipotecarios ofrecidos por el BIESS, equivalen al 70% de la cartera de hipotecarios.

De acuerdo con la Asociación de Bancos Privados del Ecuador, 23 instituciones financieras concedieron en el lapso comprendido entre enero a mayo de 2018 un monto en créditos de \$206 millones destinados al sector de la vivienda, siendo este un valor superior en un 24% con respecto al mismo período correspondiente al año de 2014. (Merizalde, 2017)

## **3.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DESEMPEÑO DE LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA**

Existen varios factores involucrados en el desempeño efectivo de proyectos constructivos en Ecuador. Para evidenciar de manera más precisa todos estos factores a continuación analizamos la productividad y las herramientas actualmente utilizadas en el sistema constructivo tradicional.

### **3.2.1 PRODUCTIVIDAD EN EL ECUADOR**

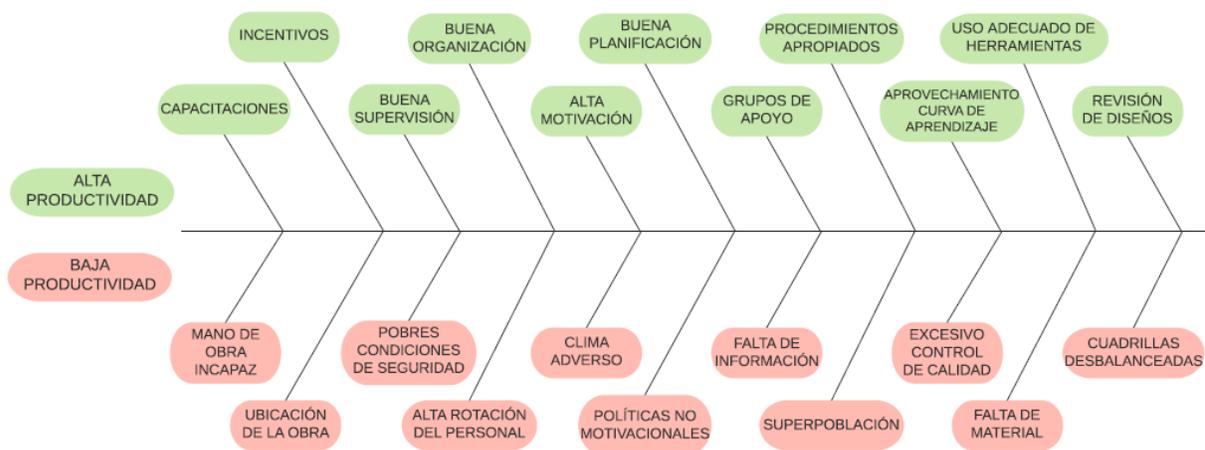
En industria de la construcción ecuatoriana existen diferentes razones por la que puede variar la productividad sin embargo todas estas situaciones describen pero no justifican la baja competitividad que presentan las empresas ecuatorianas frente a mercados globalizados. El muestreo de trabajo es una medición indirecta de la productividad a partir del análisis de los diferentes tiempos utilizados: (Crespo, 2015)

- Tiempo Cronológico, es el tiempo total que dura una actividad desde su concepción hasta su finalización. Para este cálculo se considera el tiempo total transcurrido y no únicamente a los que son destinados a actividades laborales. Por ejemplo, la duración de una semana es de siete días sin embargo el tiempo laboral es menor.
- Tiempo Productivo (TP), es todo el tiempo empleado para desarrollar las actividades y que generan un valor.
- Tiempo Contributivo (TC), tiempo proporcionado a las actividades adicionales para desarrollar un trabajo que agrega valor.
- Tiempo No Contributivo (TNC), tiempo que no genera valor a las actividades desarrolladas es decir tiempo desperdiciado.

Las características más comunes para la variación de la productividad en Ecuador son: (Granados Orellanos, 2011)

- Curva de aprendizaje en picada, debido a la alta variación del personal en obra.
- Influencia de la variación climática.
- Cultura organizacional en el sector constructivo.
- Desarrollo de trabajo bajo presión.
- Baja Interrelación entre involucrados en la construcción.
- Falta de capacitación constante e innovación de sistemas.

- Falta de comunicación entre participantes para llegar a acuerdos comunes.
- Deficiente o nula planificación.
- Muchas de las actividades se desarrollan basadas en la experiencia mas no en la ciencia.
- Falta de investigación y desarrollo de nuevas tendencias y mejoras en los procesos constructivos y su administración.
- La forma de pensar de los involucrados de este sector: proyectistas y obreros, que consideran eficientes los modelos que se están usando.
- Poca inversión inicial en herramientas tecnológicas y capacitaciones en el desarrollo de procesos constructivos.



*Figura 18.* Factores que inciden en la productividad  
Fuente: (Granados Orellanos, 2011). Adaptado por los Autores

La productividad puede definirse como la medición de la eficiencia a partir de la utilización de los recursos; ya sean tecnológicos o administrativos, para completar un producto final que tenga valor, que no exceda el tiempo planificado y con el estándar de calidad esperado. (Granados Orellanos, 2011)

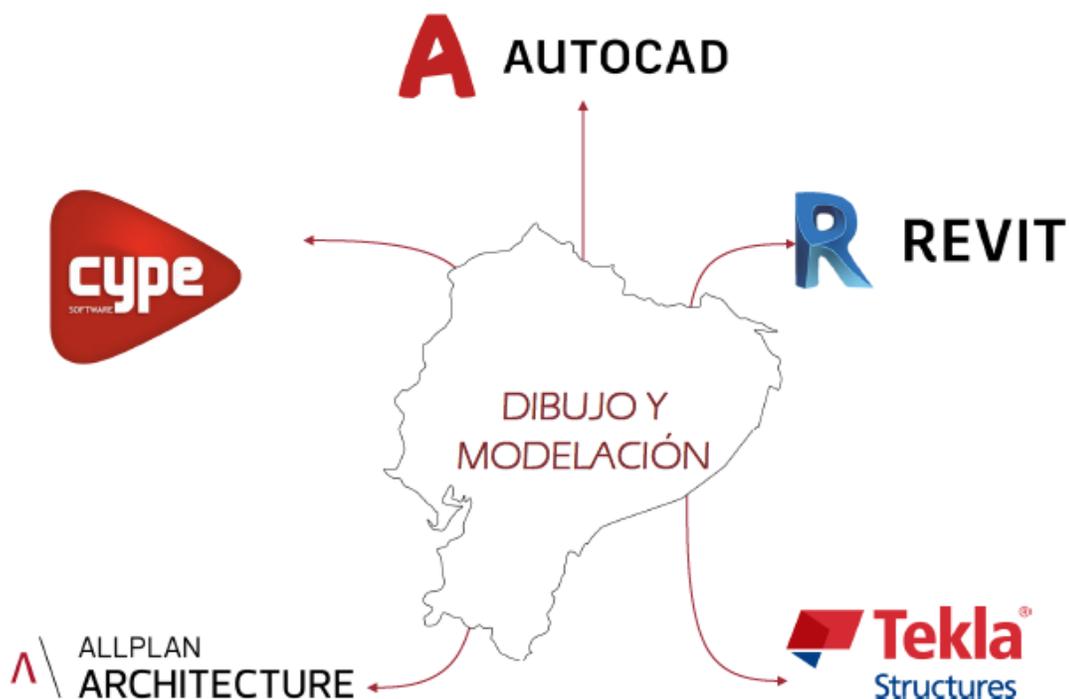
Lo que se espera con la implementación de nuevas metodologías e información es mejorar la productividad en el Ecuador a partir de la sustitución de sistemas y herramientas poco eficaces por otras que permitan mayor comunicación entre agentes involucrados para obtener empresas más competitivas y productivas en el sector constructivo ecuatoriano.

### **3.2.2 HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS EN EL ECUADOR**

Las herramientas tecnológicas en Ecuador se han ido incorporando de a poco en los procesos constructivos acorde a las necesidades que los constructores, sin embargo en la actualidad se evidencia un gran retraso en comparación a otras industrias en cuanto al uso de tecnología se trata, por ello es necesario repotenciar todas estas tecnologías en el Ecuador para de esta forma alcanzar un modelo constructivo más eficaz.

En una encuesta desarrollada en la tesis de Ingeniería Civil por el hoy ingeniero Luis Fernando Maya, se desarrolla un cuestionario y en éste una pregunta aplicada a varios agentes constructores en la que se tiene como respuesta que en Ecuador, existe gran difusión de herramientas computacionales como AutoCAD, Microstation, Sap2000, Etabs, Revit, ArchiCAD, Allplan, Tekla Structure, Cype CAD. Las mismas herramientas que hoy en día pueden ser utilizadas con gran facilidad en procesos BIM. Sin embargo, la falta de una buena y continua capacitación, acompañada del desconocimiento de dichos avances ha provocado que no se obtenga el máximo provecho.

### **3.2.3 HERRAMIENTAS DE DIBUJO Y MODELACIÓN**



*Figura 19.* Herramientas computacionales de dibujo y modelación  
Fuente: Elaborado por los Autores

### 3.2.3.1 CAD

Los CAD (Diseño asistido por Computador) son las herramientas más utilizadas en la industria de la construcción desde los años 80 del siglo anterior, cuando se produjo una transición de materiales de dibujo y cálculos manuales a equipos computacionales. Fue una revolución en la industria para la optimización de recursos en la elaboración de planos y la presentación de detalles constructivos obteniendo una mayor calidad en el dibujo.

La implementación del CAD en un principio presentó muchos obstáculos debido a que los involucrados en la construcción se resistían al cambio de herramientas manuales por otras tecnológicas ya que por mucho tiempo habían confiado estas actividades a dichos recursos y repercutía al cambio de un sistema tradicional por uno tecnológico, sin embargo, en la actualidad este avance representa sin duda un elemento de gran utilidad para el dibujo y diseño de planos desarrollados por computador.

### **3.2.3.2 Autodesk Revit**

Es una herramienta BIM por excelencia, considerada como la base de la estructura en BIM, ya que resulta muy eficiente para los procesos de modelado de información constructiva junto con el dibujo paramétrico descriptivo, además de facilitar el diseño de elementos de modelación o edificación. Esta herramienta informática permite trabajar con objetos tridimensionales que proporciona un óptimo desarrollo del proyecto, logrando resultados de productividad altos.

En la industria de la construcción ecuatoriana es necesario implementar Revit para el modelado, el manejo de información que permita compartir de manera eficiente los detalles de materiales, procesos entre otros para mejorar así el sistema constructivo tradicional. El uso de esta herramienta con la implementación BIM, posibilita el aumento de la productividad y la obtención de una construcción mucho más efectiva, sin embargo, en Ecuador aún existen ciertas limitaciones como la alta inversión inicial para la implementación y la capacitación del personal en el manejo de esta herramienta.

### **3.2.4 HERRAMIENTAS PARA ELABORACIÓN DE PRESUPUESTOS**



*Figura 20.* Herramientas computacionales para elaboración de presupuestos  
Fuente: Elaborado por los Autores

#### 3.2.4.1 Excel

Es una aplicación muy útil para diferentes actividades laborales en el Ecuador tales como procesos contables, inventarios, filtración de información, selección de datos, cálculo de plazos y periodos, gestión de cantidades en el desarrollo de innumerables operaciones así como el manejo de datos en la construcción. Es así que por mucho tiempo la hoja de cálculo de operaciones Excel ha facilitado el manejo de tablas, datos e información entre los constructores, así también para la elaboración de presupuestos a través de un análisis de costos de mano obra, materiales y herramientas en la construcción. En definitiva, Excel es una herramienta óptima en el tratamiento de gran cantidad de datos.

La herramienta Excel representa la base para el manejo de datos y desarrollo de operaciones en el campo de la construcción en Ecuador. Aun en la posterior implementación de sistemas innovadores como BIM, continuara siendo una

herramienta muy útil para el análisis de costos y obtención de presupuestos entre los involucrados en la construcción.

#### **3.2.4.2 Pro Excel**

Pro Excel es una herramienta desarrollada por el Ingeniero Pablo Urdiales Gómez Coello, que a partir de la ingeniería de costos, que es el gasto autorizado posterior a la aprobación de un proyecto con el fin de estimar y costear parte o totalidad de un trabajo, logro obtener un software que es muy difundido en algunas ciudades del país.

En el Ecuador lo usan actualmente para la realización de presupuestos en entidades públicas y privadas.

Los involucrados en la construcción continúan utilizando esta herramienta para analizar precios unitarios y elaborar presupuestos, su difusión en el sector de la construcción ha sido muy efectiva ya que no requiere mayor capacitación de principios y criterios.

#### **3.2.4.3 Inter Pro**

Inter Pro es un software para la determinación de presupuestos de construcción en Ecuador con un sistema computarizado muy completo que facilita la elaboración precios unitarios. La utilización de esta herramienta permite poner en ejecución módulos de ofertas de presupuestos y planificación por ello los constructores ecuatorianos han confiado desde los cronogramas, presupuestos, planificación de recursos, hasta el control y seguimiento de las obras en esta herramienta ya que resulta muy versátil y además que está al alcance de todos los profesionales.

### **3.2.5 HERRAMIENTAS PARA PROGRAMACIÓN DE OBRA**

En el Ecuador la utilización de un software con gran cantidad de herramientas como Diagramas de Gantt, curvas S, cronogramas valorados, entre otros; están muy bien difundidos entre los involucrados de la construcción. A continuación, enlistamos varias herramientas para la programación y control de obras:



*Figura 21.* Herramientas computacionales para control de obra  
Fuente: Elaborado por los Autores

### 3.2.5.1 Microsoft Excel

Microsoft Excel es una herramienta tecnológica poli funcional, utilizada también en el sector constructor para la programación y control de obras, su difusión entre los profesionales de la construcción se debe a su facilidad en el manejo de datos. Es un software que fácilmente se adapta a las necesidades que han presentado los constructores y que continuará ocupando un lugar entre las herramientas ingenieriles.

### 3.2.5.2 Microsoft Project

MsProject es un software de administración de proyectos que presenta un interfaz muy amigable con los usuarios, que crea calendarización de rutas críticas, cadenas críticas y metodología de eventos en cadena, diagramas de Gantt, entre otros. Adicional a esto

utiliza procedimientos de PMBok, lo que hace a este software una herramienta muy útil para la planificación de proyectos constructivos.

Los profesionales de la construcción utilizan este software para organizar y seguir las tareas de forma eficaz, dándole así mayor productividad a los proyectos al disminuir retrasos y mantener el presupuesto establecido. La compatibilidad con otros programas funcionales como Excel ha hecho que se convierta en una utilidad muy importante para el análisis de datos y tiempos.

## **CAPÍTULO 4.**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **4.1 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Previo al desarrollo de la investigación es importante recopilar información veraz para tener claro el campo en el que se va aplicar el plan de estudio, de esta manera direccionar el proyecto acorde a los objetivos planteados en un principio.

Los datos utilizados para apoyar el desarrollo del proyecto deben provenir de fuentes confiables relacionadas con el tema que se desarrollará en este trabajo. Para ello, los autores han recurrido a varias fuentes bibliográficas que reúnen los datos necesarios para llegar al alcance propuesto.

Algunos de los documentos de apoyo son los siguientes:

- “Incidencia de variables de caracterización de cultura organizacional en la filosofía Lean Construction para pequeñas y medianas empresas constructoras existentes en el Ecuador”: Este documento es un trabajo final de grado para la obtención del título de ingeniería civil, especialización estructuras de la Escuela Politécnica Nacional cuya autoría pertenece al ahora ingeniero Gustavo Tipán, desarrollado en el año 2018. En este trabajo se analiza la incidencia de las variables de la cultura organizacional en el Ecuador posterior a la implementación de la filosofía LEAN aplicada a las medianas y pequeñas empresas constructoras ecuatorianas con el objeto de que las mismas tengan una herramienta adaptada a sus recursos y de esta forma se disminuyan sustancialmente las pérdidas en la construcción nacional. (Tipán Jarrín, 2018)
- “Análisis de la viabilidad para la implementación de metodologías y procesos Building Information Modelling (BIM) en proyectos de ingeniería y construcción en el Ecuador”: Este trabajo es igualmente de la Escuela Politécnica Nacional y para obtener una titulación similar a la del autor del trabajo anterior. Su autor es

el ingeniero Fernando Maya Santacruz. Dicho trabajo fue escrito por el autor en el año 2018. En este documento se analiza la viabilidad técnica, financiera y económica de la implementación de las metodologías de los procesos Building Information Modelling (BIM) en la industria de la construcción en el Ecuador con la finalidad de comprobar si en efecto esta herramienta es capaz de lograr la optimización de los procesos y aportar valor agregado al desarrollo de los proyectos. (Maya Santacruz, 2018)

- “Interaction of LEAN and Building Information Modelling in construction”. Esta publicación es un artículo científico o *paper* editado en idioma inglés por la “Journal of construction engineering and Management” ASCE. Por medio de dicho artículo se tomará el modelo de comparación entre las herramientas BIM y LEAN las que se fusionarán en el material proporcionado por los documentos anteriores. Dicho trabajo es de la autoría de Sacks Raphael, Koskela Lauri, Bhargav Dave y Owen Roberth, publicado en septiembre del año 2010. En este trabajo se efectúa un análisis riguroso de las interacciones específicas entre las herramientas BIM y LEAN para comprobar si existe efectivamente sinergia entre ambas. (Sacks, Raphael; Koskela, Lauri; Bhargav, Dave; Owen, Roberth, 2010)

## 4.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El análisis de la información es el paso previo para la realización de la investigación. El resultado obtenido deberá ser estructurado en un lenguaje claro, sencillo y directo. Se lo puede resumir en cuatro pasos básicos que son los que se exponen a continuación:

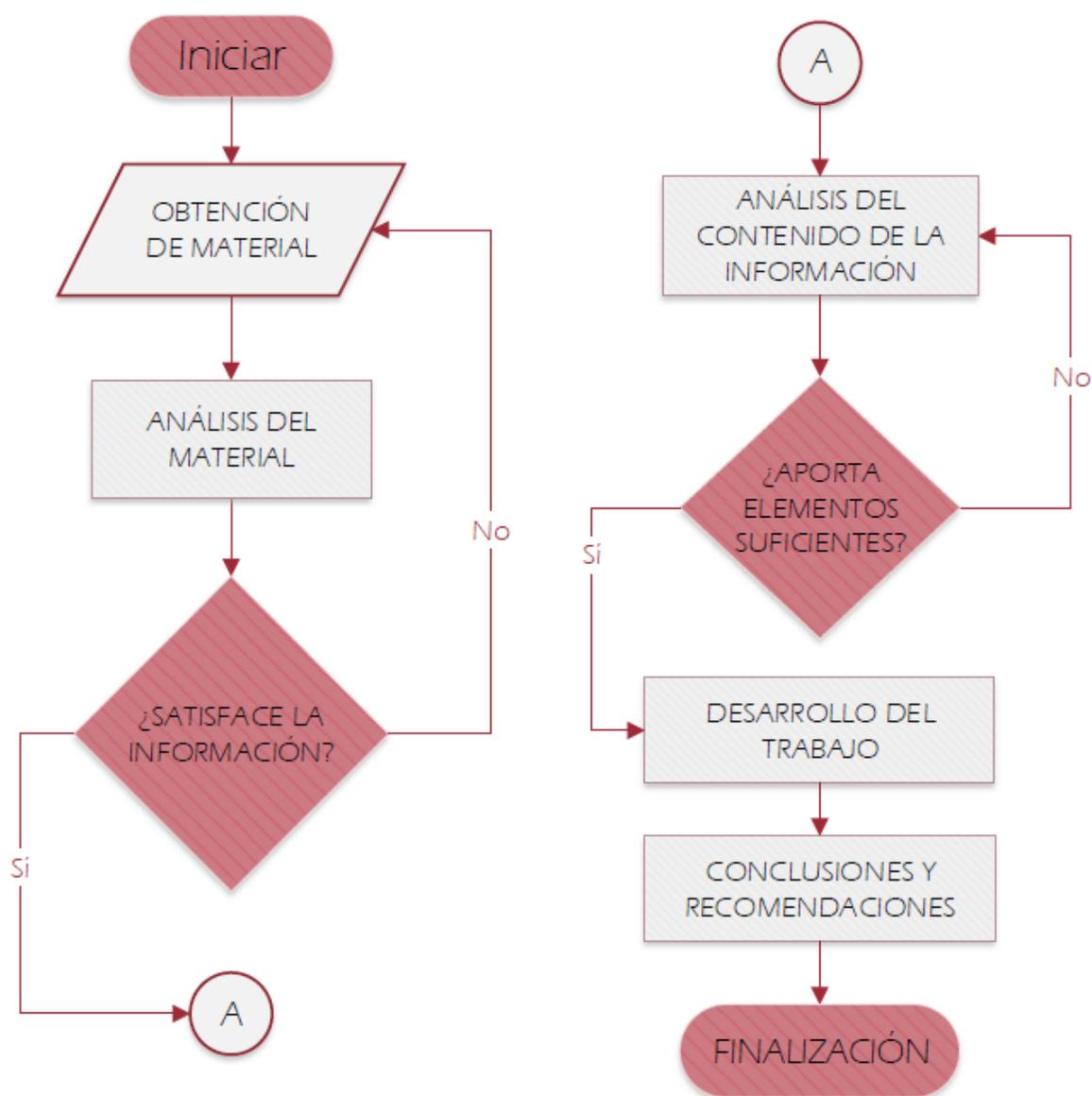
- **Identificación de las expectativas del investigador:** En este paso, la información obtenida se analizará para determinar su calidad y observar qué factores pueden desempeñar un papel, de modo que el desarrollo de la investigación avance a la velocidad esperada. El análisis deberá ser minucioso y crítico con el objetivo que el investigador tenga las pautas necesarias para llegar a los objetivos propuestos en el trabajo.

- **Seleccionar la información requerida:** En este paso se procederá a comprobar la calidad del contenido de la información reunida en el paso anterior con la finalidad de que dicha fuente pueda proporcionar la guía adecuada para proseguir con la realización del trabajo y evitar toda clase de situaciones que puedan obstaculizar su normal proceso.
- **Valorar la calidad del documento, así como los datos que el mismo proporciona:** Para poner en marcha esta fase se efectuará un análisis mucho más completo y detallado que en los pasos anteriores con el objetivo de corroborar la calidad de la procedencia de la información recolectada en los referidos pasos. Explicado de otra forma, se identificará la calidad y la veracidad de la información recolectada para decidir si efectivamente constituye un aporte que valorará la consistencia misma del trabajo.
- **Interpretación de los datos en correspondencia con la finalidad de los objetivos del trabajo:** En esta última fase del análisis de la información, se procederá a proponer ideas propias acerca de las fuentes seleccionadas, analizadas y posteriormente aprobadas para de esta forma poder dar contexto al trabajo y respaldar el contenido de las fuentes que permitan demostrar la sinergia entre las herramientas BIM y LEAN.

### **4.3 CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN:**

Una vez que se han cumplido con las cuatro fases de análisis de la información proporcionada por varios documentos, se procederá con el paso siguiente, mismo que consistirá en clasificar la información de acuerdo con su orden de importancia. Para ello los autores se guiarán tanto por los objetivos generales como los específicos, de tal forma que el contenido de la información seleccionada permita que los mismos lleguen a cumplirse. En este paso se decidirá acerca de la información que pueda ser de utilidad y aquella que no aporta, para poder llevar a cabo el proyecto de

investigación. Los pasos antes descritos se los sintetizará en el diagrama de flujo que se muestra a continuación:



*Figura 22.* Diagrama de flujo de la metodología de investigación

Fuente: Elaborado por los Autores

## **CAPÍTULO 5.**

# **INTERACCIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN Y DE LAS FUNCIONALIDADES BIM BASADA EN LA CULTURA ORGANIZACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL ECUADOR**

### **5.1 CULTURA ORGANIZACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN EN ECUADOR**

En Ecuador existe gran variedad de empresas constructoras, y de acuerdo al nivel organizacional y la magnitud de las obras que ejecutan, hacen que cada constructora presente diferente tipo de caracterización.

El Ingeniero Álvaro Gustavo Tipán en su trabajo de titulación abordó esa investigación, e incluyó únicamente a micro y pequeñas empresas (PYMES) para hacer su análisis, entonces se corrobora que el estilo de dirección y liderazgo del empresario influye en el 70% del clima y desarrollo organizacional. Eso hace que la responsabilidad en la toma de decisiones caiga casi íntegramente en el gerente.

Es así que la caracterización de las constructoras ecuatorianas se apoyó en la incidencia del liderazgo, el clima organizacional y adicional ciertas variables que contribuyen al desarrollo de las empresas como:

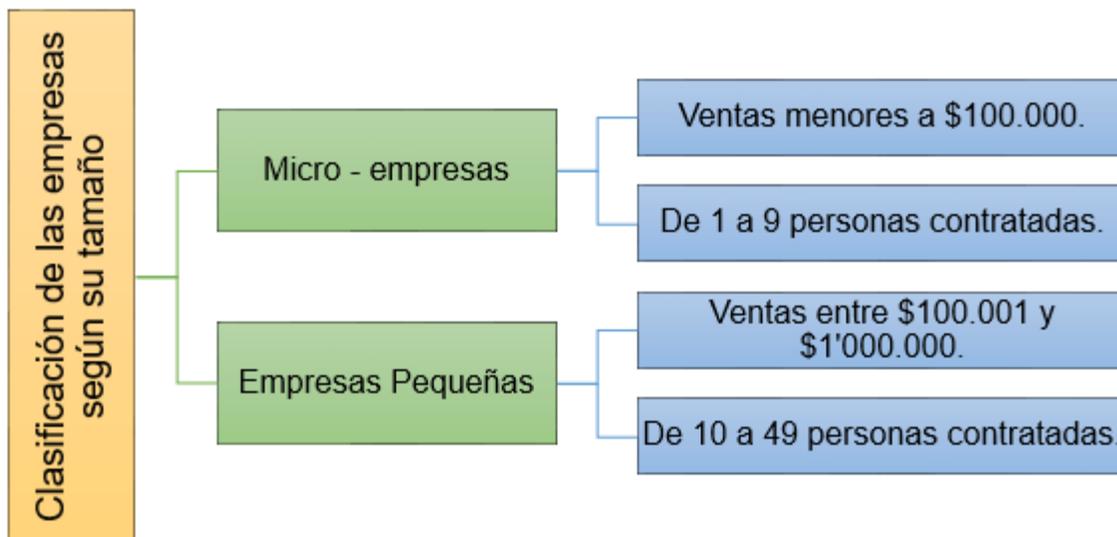
- Gestión Organizacional, son los procesos (planificación, organización, dirección, control, logística) que permiten gestionar los recursos humanos, económicos, materiales y físicos de las empresas.
- Sistemas de Información, son un conjunto de tecnología y sistemas que permiten la recopilación administración, control y registro de datos e información necesaria para mejorar la satisfacción del cliente y una comunicación fluida al interior y exterior.

El resultado de este proyecto de tesis arroja que “el 60% de las empresas se dedica a proyectos de edificación, el 35% a inmobiliario, el 5% a construcciones industriales. Por lo que se considera a las empresas en estudio como enfocadas a la construcción, bajo la división de sectores productivos del INEC. EL 50% de las empresas se clasificaron como micro y el 50% restante en pequeñas, y es así que estos resultados corroboran en que las constructoras ecuatorianas son empresas de más de 20 años consideradas como maduras.” (Tipán Jarrín, 2018)

“Acorde a la estructura de personal se pudo evidenciar en los resultados que el 70% de las empresas cuenta con personal técnico de planta, es decir, ingenieros civiles, arquitectos, contadores, ingenieros financieros, ingenieros mecánicos, ingenieros eléctricos, entre otros. En el 20% de las empresas se cuenta solo con personal operativa de planta, funciones como: maestro mayor, albañil, pintor, soldador, segundero, entre otros. El 10% de las empresas restantes cuenta con personal técnico y operativo en planta.” (Tipán Jarrín, 2018)

“El 100% de las empresas encuestadas declara que no tienen una organización por departamentos, porque organizan a su personal de planta por proyectos, mas no por funciones. Por lo tanto, no tienen una estructura rígida, sino una que se adapta a las necesidades que tenga la empresa.” (Tipán Jarrín, 2018)

El presente estudio focalizará su aplicación en la población propuesta por Ingeniero Álvaro Tipán, quien en su proyecto de titulación divide a las empresas del sector productivo de la construcción como se muestra en la Figura 23.



*Figura 23.* Clasificación de las empresas según su tamaño

Fuente: (Tipán Jarrín, 2018). Adaptado por los autores

La realidad ecuatoriana lleva a centrar la aplicación de este estudio en la población de micro y pequeñas empresas debido al gran porcentaje de organizaciones que se ubican dentro de esta clasificación. Por otro, lado este sector presenta mayor deficiencia en cuanto a los procesos productivos que aplican día a día dentro de su organigrama de trabajo.

#### **5.1.1.1 Organigrama típico de las microempresas y pequeñas empresas ecuatorianas**

Es importante establecer un esquema organizacional típico que sea capaz de representar la estructura interna de las empresas que conforman la población de estudio. Es por eso que nuevamente se debe recurrir a la investigación realizada por el Ingeniero Álvaro Tipán, donde se propone un diagrama de organización funcional, el cual puede ser aplicado a la realidad de las microempresas y pequeñas empresas ecuatorianas.

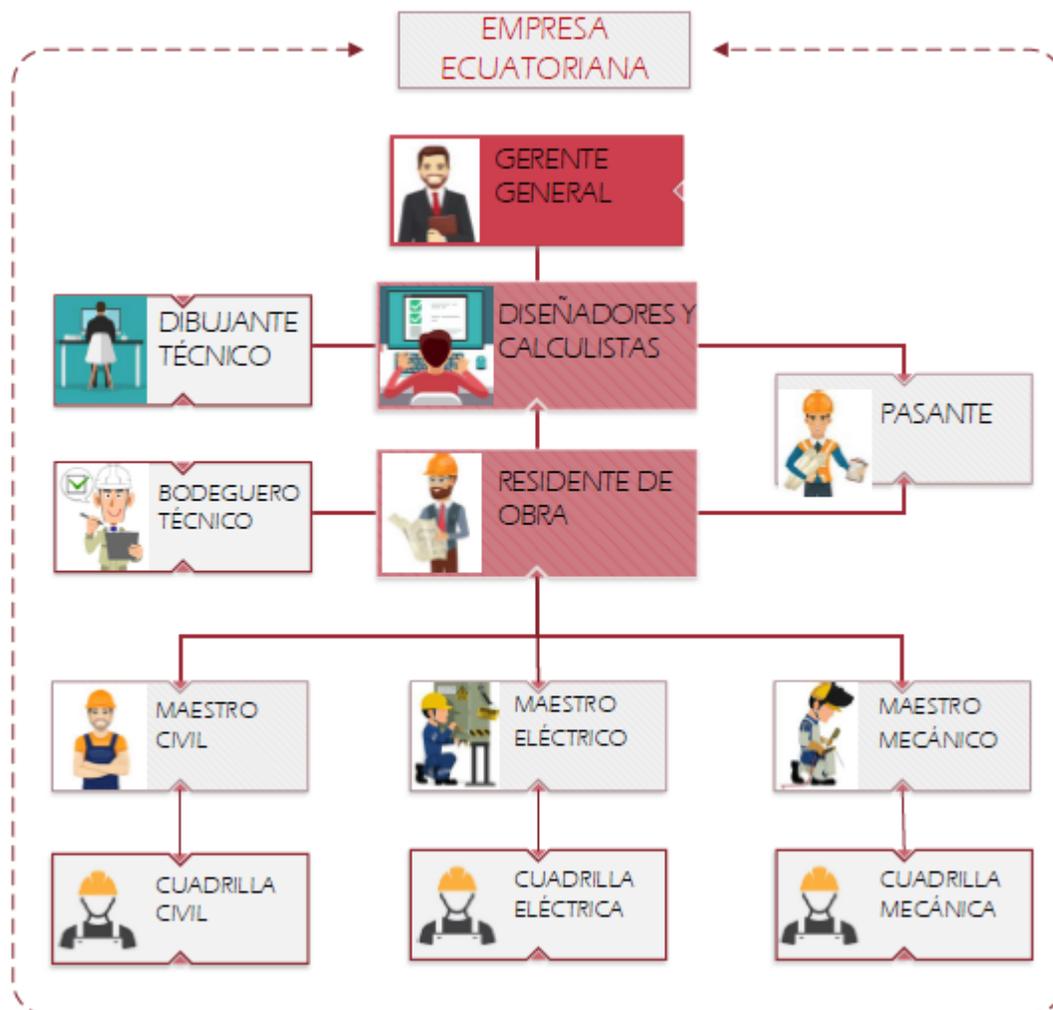


Figura 24. Organigrama típico de las empresas ecuatorianas

Fuente: (Tipán Jarrín, 2018). Adaptado por los autores

En la Figura 24 se presenta el diagrama jerárquico típico de una empresa ecuatoriana, liderada por un gerente general quien representa la máxima autoridad dentro de la organización. Seguido por el grupo de diseñadores y calculistas, y un residente; estas personas juegan un papel muy importante ya que aportan con habilidades, conocimientos y sobretodo la experiencia que una empresa necesita para realizar un eficiente manejo de recursos y una buena planificación de proyectos, así mismo su criterio será indispensable para la aplicación de los principios LEAN y las funcionalidades BIM dentro de la empresa, además se incluye la colaboración de un pasante quien estará encargado de brindar apoyo al grupo de profesionales. Bajo de

ellos se encuentra el personal de campo, este grupo de personas colaboran con trabajo físico y son los encargados de materializar un determinado proyecto, siempre guiados y supervisados por un jefe de operaciones.

Al enumerar las funciones que cada miembro desempeña dentro una organización y entrelazarlas con las herramientas tecnológicas que tradicionalmente se utiliza en el Ecuador, tema detallado en el capítulo 4 de este trabajo, se puede obtener una clara idea de los métodos de producción implementados e identificar, cuáles principios que Lean Construction propone y cuáles de las funcionalidades BIM ofrece, son aplicables a la realidad cultural, organizacional y económica que las empresas ecuatorianas presentan en la actualidad.

## **5.2 ADAPTACIÓN DE LOS PRINCIPIOS LEAN CONSTRUCTION EN LA CULTURA ORGANIZACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN EN ECUADOR**

Si bien el LEAN ha ido imponiéndose de forma gradual en la industria de la construcción en Sudamérica, en Ecuador su penetración ha sido lenta siendo tímidamente recibida en donde muchas entidades constructoras prefieren seguir trabajando en base a su propia filosofía de trabajo debido a que según ellos les proporciona confianza tanto en la etapa de diseño como de construcción y debido en cierta forma a la idiosincrasia de la clase profesional ecuatoriana que tiene una cierta resistencia a cambiar de metodologías aferrándose a las convencionales. Sin embargo, pese a lo anterior, el LEAN está siendo adoptado por importantes firmas consultoras y constructoras pudiéndose mencionar entre las más importantes a SEMAICA y MACCONS.

La adopción de la filosofía LEAN ha permitido que las referidas empresas logren mantenerse en la vanguardia que les ha caracterizado a lo largo de su vida operativa y de esta forma hayan cumplido con sus compromisos profesionales manteniendo así su buena reputación y consecuente liderazgo.

La implantación de la herramienta LEAN viene siendo, por lo tanto, antes que un gasto, una inversión que vale la pena efectuarla debido a que gracias a la ventaja que esta ofrece de eliminar los procesos operativos innecesarios, esta ofrecerá garantía, seguridad y rentabilidad a los proyectos otorgando a los mismos alta plusvalía y un período de vida operativa permanente y extenso.

De acuerdo con lo anteriormente mencionado, entonces, a los constructores, proyectistas, así como al público involucrado en la industria de la construcción en el Ecuador, le convendrá adoptar la herramienta LEAN puesto que esta será un aval importante de todo tipo de proyecto lo que garantizará la calidad y operatividad del mismo.

### **5.2.1 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LOS PRINCIPIOS LEAN CONSTRUCTION APLICABLES EN LA CULTURA ORGANIZACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL ECUADOR**

En el estudio realizado por Sacks Raphael, Koskela Lauri, Bhargav Dave y Owen Roberth, autores del artículo científico “Interacción de Lean y Building Information Modelling en la construcción”, se ha compilado una lista de principios Lean que se utilizaron concretamente para el análisis de la interacción entre Lean y BIM.

Para la obtención de dichos principios los autores remontan su análisis al nacimiento y desarrollo de la filosofía Lean Construction que se fundamenta principalmente en la definición de flujo y de valor; incentivando la obtención de productos de gran calidad. Los principios se derivaron explícitamente de los conceptos antes expuestos y se dividieron de acuerdo a la siguiente clasificación:

- El proceso de flujo. Abarca todas actividades necesarias para llegar a un producto final, desde su idealización en la fase de diseño hasta que es entregado al consumidor. Algunas acciones generan gran valor, otras no, aunque son necesarias y finalmente otras que no agregan valor y que pueden ser descartadas.

- Generación de valor. Se aplica al producto final para generar un valor que el cliente está dispuesto a pagar, es decir, el productor propone el valor a partir de los requerimientos del cliente. Esto implica entender lo que quiere el cliente a partir de una mejor comprensión de sus necesidades.
- Resolución de problemas. Este principio destaca la importancia que tiene el detectar posibles defectos, que se presenten durante el ciclo de producción o ya sea en el producto final, con el fin de corregir a tiempo dichas deficiencias para entregarle al cliente un producto que satisfaga las necesidades previamente expuestas.
- Socios en desarrollo. Es un aspecto que busca desarrollar una red de socios. Dentro de la construcción se traduce en alianzas importantes que muchas veces son necesarias para cumplir y desempeñar un gran papel frente a grandes proyectos donde amerita una alianza estratégica entre empresas.

Los principios enumerados previamente abarcan una extensa área de influencia dentro de la industria de la construcción, mismos que a su vez se descomponen en sub-principios. De esta manera se limita su campo de acción y a partir de estos se evidencia de mejor manera su participación e influencia en cada una de las etapas del ciclo de vida de un determinado proyecto.

A continuación, en la Figura 25 se presenta un cuadro sinóptico donde se observa la división y subdivisión de los principios Lean Construction. En los párrafos consiguientes se explicará cómo estos principios y sub-principios pueden ser aplicados a la realidad de la micro y pequeña empresa constructora ecuatoriana.

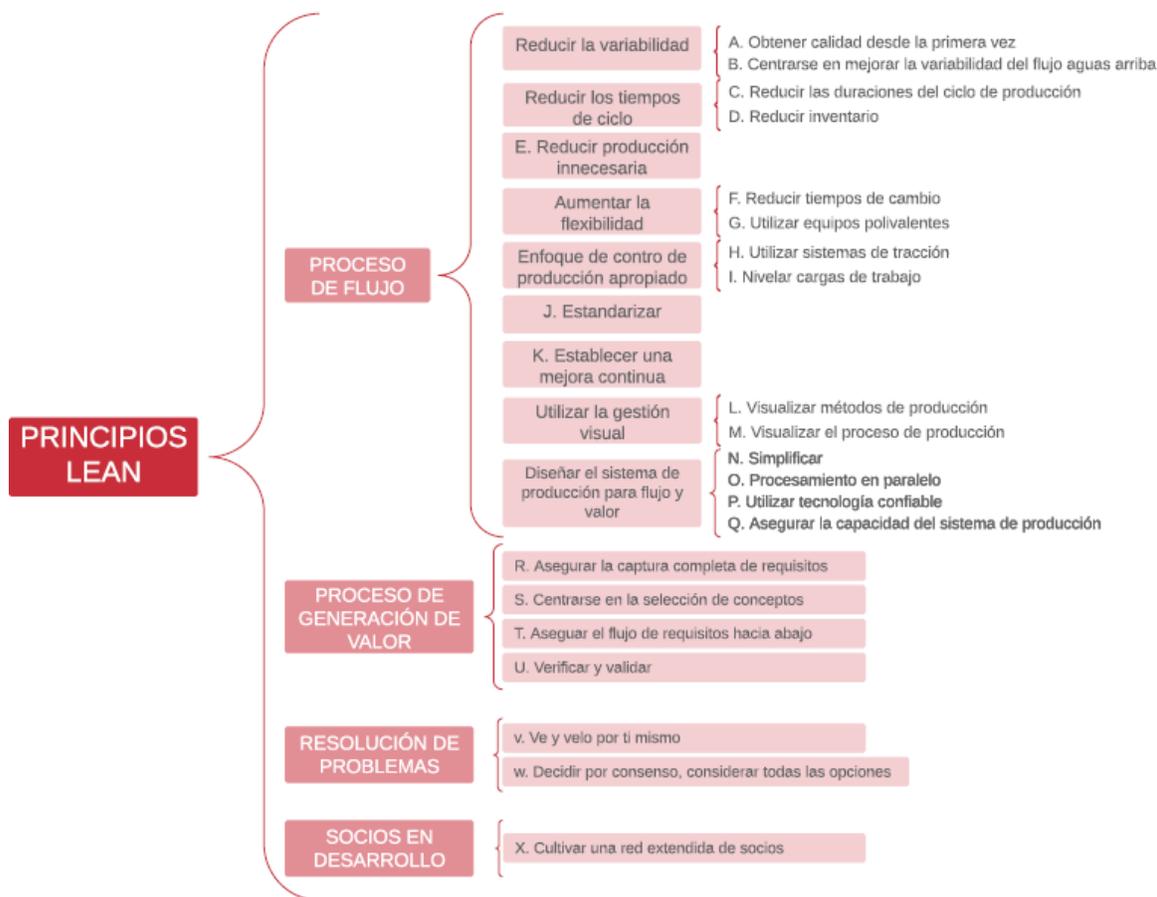


Figura 25. División y subdivisión de los principios Lean Construction.

Fuente: (Sacks et al., 2010) Adaptado por los autores

Esta lista de principios y sub-principios, está pensada para su aplicación en poblaciones con cultura y filosofía diferentes a las que hay en Ecuador, por eso es necesario analizarlos y modificarlos para que puedan ser implementados dentro de la cultura organizacional de la construcción ecuatoriana.

Para ello se ha realizado un estudio profundo de cada uno de los de los principios, con el fin de determinar su adaptabilidad dentro de la cultura ecuatoriana y de ser necesario proponer la implementación de un cambio, ya sea a nivel organizacional y cultural dentro de la empresa o a su vez en estructura del principio, de esta manera asegurar la efectividad y cumplimiento de los objetivos propuestos por la filosofía Lean Construction.

A continuación, se presenta el análisis que se ha desarrollado para cada uno de los principios, empezando por explicar las definiciones y características que los hacen parte de esta lista; seguido de una observación acerca de su presencia en la industria ecuatoriana y finalmente se concluirá con las “Tablas de Adaptabilidad”, (Tabla 1 a Tabla 23), que buscan establecer el nexo Lean Construction con la realidad de la cultura organizacional de la construcción en el Ecuador.

#### **A. Obtener calidad desde la primera vez**

La definición de calidad está directamente relacionada con la satisfacción de las necesidades explícitas e implícitas establecidas por el cliente. A partir de esta premisa la empresa deberá seleccionar el proceso productivo que mejor se adapte a las condiciones del producto final, para ello el gerente general conjuntamente con su equipo de profesionales analizarán los métodos y recursos disponibles dentro de la organización para aplicarlos de la mejor manera en el desarrollo del proyecto, todo esto se realizará en procura de la obtención de un producto de calidad desde la primera vez.

En el contexto de la realidad ecuatoriana siempre se buscará obtener calidad desde la primera vez debido a que esto generalmente significa un cliente satisfecho, sin embargo, no siempre se aplica este principio de la mejor manera, esto se evidencia a lo largo del ciclo de producción donde es muy común observar al personal realizando un re-trabajo sobre un producto que no cumplió con los requisitos mínimos a la primera vez.

Tabla 1  
*Obtener calidad desde la primera vez*

<b>ADAPTABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>A. OBTENER CALIDAD DESDE LA PRIMERA VEZ</b>	
A.1. ¿Cómo se logra la aplicación de este principio?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Se debe comprender las necesidades y expectativas de los clientes.</li> <li>&gt; Es indispensable elevar el valor del proyecto, inculcando un compromiso orientado a una mejora continua con el fin de poder elevar la eficiencia, disminuir costos y tiempos de ejecución.</li> </ul>
A.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Total Quality Management (TQM)</li> <li>&gt; Lean Project Delivery System (LPDS)</li> </ul>
A.3. ¿Es posible la aplicación de este principio en la construcción ecuatoriana?	Absolutamente todas las empresas, ya sea que pertenezcan o no a la industria de la construcción, buscan generar buena calidad desde la primera vez. Sin embargo la aplicación de este principio en el ámbito de la construcción es muy bajo debido que muchas de las empresas logran este objetivo fruto del azar, cuando esto se lo debería conseguir de manera planificada.
A.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana quiénes son los encargados de su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Gerente general</li> <li>&gt; Diseñadores y calculistas</li> <li>&gt; Residente de obra</li> <li>&gt; Pasante</li> <li>&gt; Fiscalizador</li> </ul>
A.5. ¿Qué factores limitan su aplicación?	La forma de pensar y el compromiso de cada uno de los participantes del proyecto es un factor que limita mucho la aplicación de este principio.

Fuente: Elaborado por los autores

## **B. Mejorar la variabilidad del flujo aguas arriba**

La inserción de la filosofía Lean, a través de este principio, pretende a más de revolucionar la construcción con el cambio de mentalidad en las ´personas

involucradas, también cambiar el sistema de empuje por uno mucho más efectivo, cuyo principio es “Halar”, es decir, “se planifica de fin a inicio del proyecto”, por lo que es necesario e imprescindible que el flujo aguas arriba cuente con diversas opciones y posibles caminos a elegir para darle continuidad a las actividades en cadena de valor de la obra.

En el sistema constructivo tradicional ecuatoriano, es posible la aplicación de este principio, ya que como en toda empresa constructora, presenta un proceso que se debe seguir, y es así que actividades posteriores a realizar deben contar con una lista de prerequisites que en base a la planificación se esperaría que estén desarrollados para darle continuidad a los proyectos. Las empresas constructoras ecuatorianas están en la capacidad de poner en marcha esta filosofía a partir de capacitaciones y la planificación necesaria.

Tabla 2

*Mejorar la variabilidad del flujo aguas arriba*

<b>ADAPTABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>B. MEJORAR LA VARIABILIDAD DEL FLUJO AGUAS ARRIBA</b>	
B.1. ¿Cómo se logra la implementación de este principio?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Elaboración de un plan, en el que se detalle diferentes alternativas que faciliten la elección de la opción más viable.</li> <li>&gt; Promover reuniones interactivas con los involucrados para generar un documento donde se detalle los pasos y requerimientos necesarios para la continuidad de actividades dependientes en los procesos.</li> </ul>
B.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Business Proess Reeengineering</li> <li>&gt; Pull Driven Process Management</li> </ul>
B.3. ¿Es posible su aplicación en la construcción ecuatoriana?	Sí, es posible la inserción de este principio a través de capacitaciones entre los involucrados en el área de la construcción, previo al desarrollo de los proyectos.
B.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana, quiénes son los	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Gerente general</li> <li>&gt; Residente de obra</li> <li>&gt; Obreros en la construcción (Pintores, Albañiles, Carpinteros, etc.)</li> </ul>

encargados de su aplicación?	
B.5. ¿Qué factores limitan su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; El pensamiento tradicional de los involucrados en la construcción, genera una deficiente comunicación.</li> <li>&gt; La falta de planificación previa al inicio de un proyecto.</li> <li>&gt; Escasa preparación en algunos miembros del equipo.</li> </ul>

Fuente: Elaborado por los autores

### C. Reducir las duraciones del ciclo de producción

Disminuir el tiempo del ciclo de producción abarca cualquier acción dirigida a restablecer un proceso comercial central con el objetivo principal de mejorar el proceso de producción, la calidad y la reducción correspondiente en los costos de fabricación.

Este proceso, generalmente implica un análisis del flujo de trabajo de la empresa y la búsqueda de procesos ineficientes, una vez encontrados éstos serán reunidos para analizarlos, mejorar su calidad o de ser necesario descartarlos.

En la industria ecuatoriana los procesos constructivos tradicionales vienen siendo usados desde hace varios años sin mostrar un avance significativo. Sin embargo, hoy en día gracias a los avances tecnológicos, los procesos, tanto de gabinete como de campo, se han optimizado; pese a esto muchas empresas se resisten al cambio y a la mejora de sus procesos productivos. Esto demuestra que la aplicación de este principio aún es escasa en nuestro país.

Tabla 3

*Reducir las duraciones del ciclo de producción*

<b>ADAPTABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>C. REDUCIR LAS DURACIONES DEL CICLO DE PRODUCCIÓN</b>	
C.1. ¿Cómo se logra la aplicación de este principio?	Se debe identificar los procesos productivos que evidencien falencias y en base al uso de nuevas tecnologías poder mejorar su rendimiento o proceder a rediseñarlas de forma íntegra obteniendo como resultado un producto de calidad y rendimiento superior al primitivo.

C.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	> Business Process Reengineering (Reingeniería en el Proceso de Negocio)
C.3. ¿Es posible la aplicación de este principio en la construcción ecuatoriana?	Este principio es muy poco aplicado en nuestro medio debido a que la mayoría de las empresas prefieren usar métodos convencionales ya establecidos que arriesgarse y cambiar sus procedimientos.
C.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana quiénes son los encargados de su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Diseñadores y calculistas</li> <li>&gt; Residente de obra</li> <li>&gt; Maestro mayor</li> <li>&gt; Fiscalizador</li> </ul>
C.5. ¿Qué factores limitan su aplicación?	La cultura ecuatoriana es un factor que limita la aplicación de este principio, debido a que somos reacios a cambiar un proceso que ha sido establecido por alguien más, que si bien da sus frutos, este podría ser modificado y mejorado.

Fuente: Elaborado por los autores

#### **D. Reducción de Inventario**

En muchas de las empresas manufactureras la excesiva producción de Inventario ha generado grandes pérdidas. Haciendo la relación con la industria de la construcción, todos los materiales planificados en obra deben estar correctamente distribuidos a lo largo de las etapas del proyecto, para evitar pérdidas y excesos innecesarios. En realidad el problema radica en que el exceso de materia prima puede ocasionar pérdidas directas en obra o desperdicio de la inversión por parte de los dueños, por lo que es necesario hacer una planificación del inventario en el tiempo que se llevará a cabo el proyecto.

La implementación de este principio en la construcción ecuatoriana es totalmente factible, ya que a través de una buena planificación y la capacitación de supervisores para el control de la materia prima se puede llegar a evitar pérdidas innecesarias del inventario. En obra debe haber las cantidades justas para 6 semanas con un margen de error tolerable para no interrumpir el avance la obra y cumplir tiempos establecidos.

Tabla 4  
Reducción de inventario

<b>ADAPTABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>D. REDUCCION DE INVENTARIO</b>	
D.1. ¿Cómo se logra la implementación de este principio?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Realizar una planificación previa al inicio del proyecto.</li> <li>&gt; Elaboración de un inventario necesario para el desarrollo del proyecto en ejecución.</li> <li>&gt; Preparar la documentación, donde se detalle los materiales necesarios para desarrollo del proyecto, a través de un análisis de costos en el avance de la obra.</li> </ul>
D.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Just in Time (JIT)</li> <li>&gt; Last Planner System (Último Planificador)</li> </ul>
D.3. ¿Es posible su aplicación en la construcción ecuatoriana?	Frecuentemente en el desarrollo de proyectos la planificación de los materiales resulta deficiente, por lo que es factible la inserción de este principio para mejorar la distribución y utilización de los recursos en obra.
D.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana, quiénes son los encargados de su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt;Gerente General</li> <li>&gt;Residente de Obra</li> <li>&gt; Obreros en la construcción (Pintores, Albañiles, Carpinteros, etc.)</li> </ul>
D.5. ¿Qué factores limitan su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Mala planificación de los materiales previo a empezar un proyecto.</li> <li>&gt; Mal manejo de los recursos en obra.</li> <li>&gt; Inventario de materiales incorrecto, exceso o falta de materia prima</li> </ul>

Fuente: Elaborado por los autores

### **E. Reducir producción innecesaria**

En la construcción, se requiere una conceptualización abstracta de los "productos" que se pueden calcular en lotes. Estos suelen estar predefinidos como conjuntos de tareas agrupadas, que se ejecutan en espacios separados.

La producción que excede la demanda puede ser la mayor causa de desperdicio, es decir, si la cantidad producida resulta ser más grande que la cantidad requerida o se produce de manera prematura antes de que sea requerida desencadena un mal uso de materiales, tiempo de trabajo o de equipos.

En la cultura ecuatoriana, durante el desarrollo de un determinado proyecto es muy común encontrar actividades o procesos que se realizaron sin necesidad. Para ello el residente de obra conjuntamente con los diseñadores y calculistas deberían elaborar un mapa lineal de actividades y un calendario de tareas para establecer las prioridades del proyecto, teniendo en cuenta las actividades claves a realizar en cada etapa según la demanda.

Tabla 5

*Reducir producción innecesaria*

<b>ADAPTABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>E. REDUCIR PRODUCCIÓN INNECESARIA</b>	
E.1. ¿Cómo se logra la aplicación de este principio?	Se debe ejecutar una actividad sólo cuando sea pre-requisito inmediato de otra actividad. Producir más de lo demandado o producir algo antes de que sea requerido genera gastos innecesarios.
E.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	> Pull-Driven Process Management (Administración de Procesos por Demanda)
E.3. ¿Es posible la aplicación de este principio en la construcción ecuatoriana?	Sí, dentro de la organización de una empresa como resultado de la aplicación de este principio se lograría mejoras en el rendimiento y se vuelve indispensable producir lo justo ya que producir más de lo demandado o producir algo antes de que sea requerido genera gastos innecesarios.
E.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana quiénes son los encargados de su aplicación?	> Residente de obra > Maestro mayor > Fiscalizador

E.5. ¿Cuáles son los factores que limitan su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; La costumbre que invita a realizar ciertas actividades “por si acaso”.</li> <li>&gt; Mal uso de la automatización de los procesos.</li> <li>&gt; Mala planificación de la producción.</li> </ul>
--	--

Fuente: Elaborado por los autores

## **F. Reducir Tiempos Muertos (tiempos innecesarios en el desarrollo de una actividad)**

Los tiempos muertos son los tiempos que se distribuye a lo largo de todo el proyecto en el desarrollo de una actividad y que no contribuyen para generar valor en el producto final, son tiempos innecesarios que se pueden evitar con una correcta planificación.

Hablar de tiempos en la construcción es hablar de inversión, costos y pérdidas porque a través del correcto manejo del tiempo en obra se puede garantizar cumplir con la planificación establecida.

Para poder aplicar este principio en la construcción ecuatoriana es fundamental realizar un cambio de ideas, para que los involucrados en la construcción opten por dejar los pensamientos tradicionales y empíricos por nuevos, sofisticados y revolucionarios sistemas de producción, para hacer de las actividades llevadas a cabo en obra, procesos sistemáticos donde los tiempos muertos queden de lado y se respete sobre todo la planificación establecida. Es entonces fundamental la implementación de Last Planner a través de reuniones en equipo donde entre todos se establezca un calendario real.

Tabla 6

### *Reducir tiempos muertos*

<b>ADAPTABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>F. REDUCIR TIEMPOS MUERTOS</b>	
F.1. ¿Cómo se logra la implementación de este principio?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Desarrollar reuniones de pie para planificación de obra.</li> <li>&gt; Preparar actividades en cadena con los profesionales involucrados.</li> <li>&gt; Contar con un buen equipo de trabajo.</li> </ul>

	> Respetar los tiempos planificados en obra.
F.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	> Last Planner System (Último Planificador)
F.3. ¿Es posible su aplicación en la construcción ecuatoriana?	Sí, es posible su aplicación ya que en el desarrollo de proyectos existen actividades que por falta de planificación alargan el tiempo en obra, por lo que es necesario desarrollar capacitaciones donde se incluya dicha filosofía.
F.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana, quiénes son los encargados de su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Gerente general</li> <li>&gt; Residente de obra</li> <li>&gt; Pasantes</li> <li>&gt; Obreros en la construcción (Pintores, Albañiles, Carpinteros, etc.)</li> </ul>
F.5. ¿Qué factores limitan su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Falta de organización entre los profesionales involucrados.</li> <li>&gt; El incumplimiento en obra de la planificación elaborada por los profesionales.</li> <li>&gt; Una cultura tradicional donde los trabajadores en obra llevan a cabo sus actividades de forma empírica y en base a la experiencia nada más.</li> </ul>

Fuente: Elaborado por los autores

## G. Utilizar equipos polivalentes

La polivalencia debe ser entendida como el compromiso de los empleados, su capacidad y disposición para realizar diferentes tareas relacionadas o no con sus áreas de conocimiento; y de esta manera delegar a una misma persona la responsabilidad de realizar funciones diferentes, reduciendo así la cantidad del personal.

La versatilidad que la industria constructora presenta en la actualidad a nivel mundial exige que los trabajadores, además de contar con una especialización en un área determinada, cuenten con una serie de conocimientos y otras habilidades

En este sentido, la especialización ha sido reemplazada gradualmente por la polivalencia o la capacidad y facilidad para realizar diferentes tareas, lo que permite

adaptarse rápidamente a los cambios y responder positivamente a las nuevas necesidades de la empresa.

La aplicación de este principio en las empresas ecuatorianas es escasa, a nivel de profesionales se puede buscar y encontrar personal con aptitudes y habilidades para ocupar y desarrollar actividades con cierto grado de independencia de su carrera profesional, por otro lado, a nivel de obreros es casi imposible conseguir que un trabajador desarrolle exitosamente actividades que no está acostumbrado a realizar, lo que se traduce en posibles pérdidas de tiempo, lo contrario de lo que se busca con la aplicación de Lean Construction.

Tabla 7

*Utilizar equipos polivalentes*

<b>ADAPTABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>G. UTILIZAR EQUIPOS POLIVALENTES</b>	
G.1. ¿Cómo se logra la aplicación de este principio?	Se debe capacitar y motivar a los trabajadores para que frente a una emergencia estos puedan ocupar y desempeñar exitosamente actividades no relacionadas con sus áreas de especialización adaptándose rápidamente al cambio.
G.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	> Last Planner System (Último Planificador)
G.3. ¿Es posible la aplicación de este principio en la construcción ecuatoriana?	La realidad en la construcción ecuatoriana no permite una aplicación satisfactoria de este principio al no poder encontrar obreros y trabajadores con las capacidades y aptitudes necesarias para desarrollar exitosamente varios trabajos sin una previa capacitación.
G.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana quiénes son los encargados de su aplicación?	> Gerente general > Diseñadores y calculistas > Residente de obra > Fiscalizador

G.5. ¿Cuáles son los factores que limitan su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; La política o cultura anticuada de una empresa que no confía en sus trabajadores.</li> <li>&gt; La poca capacitación o formación de los empleados.</li> <li>&gt; Deficiente motivación por parte de los trabajadores.</li> </ul>
--	--

Fuente: Elaborado por los autores

## H. Implementación de maquinaria en procesos

La implementación de maquinaria en obras civiles representa un gran apoyo para realizar actividades cotidianas y muchas veces repetitivas que tomaría mucho más tiempo llevar a cabo únicamente a mano, sin embargo la implementación de maquinaria en una constructora requiere cierta inversión económica necesaria, por otro lado también resulta viable utilizar el alquiler de maquinaria, cualquiera que sea la forma, bajo una correcta planificación se puede adicionar este principio para hacer de la construcción un proceso productivo de gran valor.

En las diferentes empresas constructoras ecuatorianas, se podría aplicar este principio pero de forma limitada, siendo fundamental contar con proveedores de maquinaria que proporcionen un servicio de alquiler adecuado a las necesidades de las empresas constructoras. De esta forma se puede incluir este principio en la aplicación de Lean en la construcción para mejorar la productividad en la construcción.

Tabla 8

### *Implementación de maquinaria en procesos*

<b>ADAPTABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>H. IMPLEMENTACION DE MAQUINARIA EN PROCESOS</b>	
H.1. ¿Cómo se logra la implementación de este principio?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Existen muchos procesos en obra que pueden ser ejecutados con mayor efectividad con el uso de maquinaria.</li> <li>&gt; Hacer de los ciclos, procesos más efectivos con la implementación de maquinaria que permita producir mayor cantidad de materiales y avances en obra en menor tiempo.</li> </ul>
H.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	> Business Process Reengineering

H.3. ¿Es posible su aplicación en la construcción ecuatoriana?	Sí, es posible y necesario ya que muchas de las actividades desarrolladas en obra requieren de grandes maquinarias para evitar así la sobre utilización de la mano de obra, que genera gastos innecesarios.
H.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana, quiénes son los encargados de su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Residente de Obra.</li> <li>&gt; Maestro Mayor</li> <li>&gt; Operadores</li> <li>&gt; Personal en obra</li> <li>&gt; Fiscalizador</li> </ul>
H.5. ¿Qué factores limitan su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Falta de recursos para una inversión inicial.</li> <li>&gt; Falta de compromiso con la implementación nuevas metodologías.</li> <li>&gt; Una cultura tradicional ineficiente con procesos actuales.</li> </ul>

Fuente: Elaborado por los autores

## I. Nivelar cargas de trabajo

Uno de los aspectos más importantes dentro del diseño y planificación de un proyecto de construcción es la asignación y repartición de tareas o cargas de trabajo que forman parte del proceso entre las diferentes áreas de trabajo, de manera que los recursos disponibles; trabajadores, maquinaria, materiales y demás; se utilicen siempre de modo equilibrado y responsable.

Ingresando en la realidad ecuatoriana, como producto de una deficiente planificación de proyectos se evidencia una escasa aplicación de este principio, en donde, es común observar a un determinado equipo de trabajadores cumpliendo con un horario extracurricular para poder entregar una tarea y no desfasar el cronograma de obra establecido; y en otras ocasiones el mismo equipo tiene la posibilidad de trabajar de manera relajada y pausada. De esta manera se observa los trabajos desnivelados.

Tabla 9  
*Nivelar cargas de trabajo*

<b>ADAPTABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>I. NIVELAR CARGAS DE TRABAJO</b>	
I.1. ¿Cómo se logra la aplicación de este principio?	Es necesario efectuar el monitoreo de cada una de las actividades comprendidas en el proyecto y una persona se encargará de asignar tareas de trabajo directamente a los trabajadores para controlar las cargas de trabajo para promover tiempos y metas bajo la coordinación de un líder.
I.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	> Last Planner System (Último Planificador)
I.3. ¿Es posible la aplicación de este principio en la construcción ecuatoriana?	La cultura desordenada que tenemos en el Ecuador hace que miremos por nuestros propios intereses y por nuestro bienestar, pese a esto existen empresas que poco a poco se van aplicando medidas de control internas para mitigar el trabajo desnivelado.
I.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana quiénes son los encargados de su aplicación?	> Residente de obra > Maestro mayor > Pasante > Fiscalizador
I.5. ¿Cuáles son los factores que limitan su aplicación?	> Falta de motivación por parte de algunos miembros del equipo. > Falta de monitoreo de actividades. > Deficiente planificación.

Fuente: Elaborado por los autores

## **J. Estandarización de Procesos**

Los procesos que se realizan en la construcción arrastran consigo grandes errores que se evidencian en la mala administración del tiempo y los recursos así como el aumento en los costos del proyecto, por lo que es necesario “Estandarizar los procesos”, sin embargo al compararlo con las manufactureras es mucho más complicado hacer de la construcción un proceso estándar ya que siempre habrá actividades adicionales que harán interrumpir el avance de la planificación.

En el Ecuador existen diferentes empresas que han estandarizado ciertos procesos y han aumentado su productividad sin embargo hablar de estandarización total en la construcción ecuatoriana es mucho más complejo.

Tabla 10

*Estandarizar procesos*

<b>ADAPTABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>J. ESTANDARIZACION DE PROCESOS</b>	
J.1. ¿Cómo se logra la implementación de este principio?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; La planificación previa al comienzo de un proyecto.</li> <li>&gt; Acumulación de información obtenida en proyectos anteriores para estandarización de procesos.</li> <li>&gt; Crear una cadena de valor a través de los procesos que habitualmente se llevan a cabo en los proyectos.</li> </ul>
J.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Last Planner System (Último Planificador)</li> <li>&gt; Business Process Reengineering (Reingeniería en el Proceso de Negocio)</li> </ul>
J.3. ¿Es posible su aplicación en la construcción ecuatoriana?	En la construcción existen diversos procesos que necesitan ser estandarizados, es así que se puede implementar este principio para mejorar la productividad.
J.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana, quiénes son los encargados de su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Gerente general</li> <li>&gt; Residente de obra</li> <li>&gt; Técnicos de la Construcción</li> <li>&gt; Fiscalizador</li> </ul>
J.5. ¿Qué factores limitan su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; La falta de coordinación entre profesionales involucrados en la construcción.</li> <li>&gt; Una construcción desarrollada en base a la experiencia y más no a la aplicación de innovadores sistemas productivos.</li> <li>&gt; La baja implementación de capacitaciones a profesionales respecto a procesos llevados a cabo en obra.</li> </ul>

Fuente: Elaborado por los autores

## **K. Establecer una mejora continua**

La mejora continua es todo acto encaminado a recrear un proceso comercial central con el objetivo primordial de optimizar el o los procesos productivos de un producto o servicio, así como su calidad junto con la correspondiente reducción de costos de producción. Adoptar un proceso de mejora continua permitirá a la empresa conseguir la excelencia e incrementar su competitividad, permitiéndole ofrecer al mercado un producto o servicio capaz de responder mejor a las necesidades del cliente.

Es necesario mencionar que el proceso de mejora continua tanto en la industria de la construcción como en los negocios en general es un cambio que requiere mucho trabajo previo, puesto que, se busca modificar el formato y operatividad de los procesos siendo posible reformarlos por completo y de esta forma garantizar la operatividad y eficiencia.

Cada cierto tiempo, especialmente cuando las cargas de trabajo se minimizan, las empresas evalúan los procesos que evidencian mayor falencia y de alguna manera tratan de corregirlos, en algunos casos teniendo éxito y en otros no.

Tabla 11

*Establecer una mejora continua*

<b>ADAPTABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>K. ESTABLECER UNA MEJORA CONTINUA</b>	
K.1. ¿Cómo se logra la aplicación de este principio?	Establecer una mejora continua se fundamenta en el cambio de la mentalidad del personal en procura de impulsar un proceso productivo eficiente que contemple las posibilidades de mejora.
K.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	> Business Process Reengineering (Reingeniería en el Proceso de Negocio) > Lean Project Delivery System (LPDS)
K.3. ¿Es posible la aplicación de este principio en la construcción ecuatoriana?	En la industria ecuatoriana se lo aplica, no con la continuidad necesaria, pero algunas empresas cada cierto tiempo se someten a cambios internos para dar paso una mejora en sus procesos de producción

K.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana quiénes son los encargados de su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Gerente general</li> <li>&gt; Diseñadores y calculistas</li> <li>&gt; Residente de obra</li> <li>&gt; Fiscalizador</li> </ul>
K.5. ¿Cuáles son los factores que limitan su aplicación?	> Requiere un cambio integral en toda la empresa, este proceso amerita el compromiso de todos los que conforman la organización.

Fuente: Elaborado por los autores

### **M. Visualizar el proceso de producción**

Este principio tiene como objetivo fundamental lograr la reducción de la incertidumbre asociada a la programación de actividades. Permite, al equipo de profesionales, ver todas las actividades y transiciones involucradas en un determinado proceso de producción y proporciona una visión general de todas las rutas posibles a través del proceso de flujo de trabajo durante la ejecución.

Además está estrechamente relacionado con el principio de mejora continua, debido a que la visualización de los procesos de producción permite al administrador observar el estado del proceso y proponer medidas de mejora.

La visualización de los procesos de producción en la construcción estará siempre en manos de los profesionales involucrados dentro de un determinado proyecto quienes planifican y establecen el proceso constructivo a utilizar, sin embargo durante la ejecución no siempre se logra que este se cumpla a cabalidad y de poco sirve la planificación previa realizada. Debido a esto es necesario designar a una persona o grupo de personas quienes serán los encargados de fiscalizar los procesos y hacer que estos se cumplan conforme a la planificación inicial.

Tabla 12  
*Visualizar el proceso de producción*

<b>ADAPTABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>M. VISUALIZAR EL PROCESO DE PRODUCCIÓN</b>	
M.1. ¿Cómo se logra la aplicación de este principio?	Mediante la implantación de un sistema de planificación y control de proyectos se obtiene un panorama muy claro del proceso de producción que se tiene implementado.
M.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	> Last Planner System (Último Planificador)
M.3. ¿Es posible la aplicación de este principio en la construcción ecuatoriana?	Tener una amplia visión del proceso de producción es importante, para ello se debe contar con una planificación inicial por parte de todos los profesionales involucrados. De esa manera se podrá controlar las actividades a realizarse y posteriormente poder visualizarlos en la ejecución.
M.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana quiénes son los encargados de su aplicación?	> Residente de obra > Maestro mayor > Pasante > Fiscalizador
M.5. ¿Cuáles son los factores que limitan su aplicación?	> Mal uso de la automatización de los procesos. > Mala planificación de la producción.

Fuente: Elaborado por los autores

## **N. Simplificación de Procesos**

Para introducir este principio, es necesario profundizar en todas las actividades que se han identificado en el sistema constructivo, a partir de este análisis se conoce los procesos de cada uno de los productos, sus recursos y las secuencias productivas. Para comprensión con exactitud del desarrollo de las mismas se necesitan gran cantidad de información, para identificar sobre todo el origen de retrasos y acciones que se pueden evitar para el desarrollo de procesos.

Llevar a cabo este análisis traerá un sinnúmero de soluciones porque finalmente se podrán obviar pasos que ejecutan sin ninguna restricción comúnmente, todo esto a través del análisis diagnóstico, la documentación de los procesos y la capacitación de profesionales para hacer cumplir lo establecido.

Su aplicación en la construcción ecuatoriana representa el cambio de pensamiento en los involucrados en proyectos constructivos, sin embargo esta premisa solo se puede ejecutar bajo un equipo comprometido, disciplinado y que sea fiel a los ideales de la empresa, por lo que es necesario una capacitación constante que haga a los proyectistas ejecutar procesos en menor tiempo. Por esta razón se formarán equipos de trabajo funcionales, que reduzcan responsabilidad a otros profesionales que pueden ejecutar de forma más efectiva sus procesos, adicional que cuenten con los recursos necesarios para cumplir tiempos establecidos a través de procesos simplificados.

Tabla 13

*Simplificación de procesos*

<b>ADAPTABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>N. SIMPLIFICACION DE PROCESOS</b>	
N.1. ¿Cómo se logra la implementación de este principio?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; La planificación de los procesos antes de llevarse a cabo en obra.</li> <li>&gt; La implementación de nuevas herramientas en la gestión, control y difusión de la información.</li> <li>&gt; Hacer de las actividades recurrentes en obra, procesos sistemáticos y mecánicos.</li> </ul>
N.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Pull-Driven Process Management (Administración de Procesos por Demanda)</li> <li>&gt; Business Process Reengineering (Reingeniería en el Proceso de Negocio)</li> </ul>
N.3. ¿Es posible su aplicación en la construcción ecuatoriana?	No completamente, debido a que muchos de los procesos llevados a cabo en obras son recurrentes y repetitivos pero que se deben hacer por lo que no se pueden reducir ciertas actividades, se puede más bien repotenciar la construcción a través de la planificación.

N.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana, quiénes son los encargados de su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Gerente general</li> <li>&gt; Residente de obra</li> <li>&gt; Pasantes</li> <li>&gt; Obreros en la construcción (Pintores, Albañiles, Carpinteros, etc.)</li> </ul>
N.5. ¿Qué factores limitan su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; La práctica de estas actividades bajo la recurrencia de las mismas y no por la innovación de procesos sofisticados.</li> <li>&gt; Debido a la falta de compromiso con la innovación de procesos.</li> <li>&gt; Falta de trabajo en equipo para hacer de las actividades, unos procesos más efectivos.</li> </ul>

Fuente: Elaborado por los autores

## O. Procesamiento en paralelo

El procesamiento en paralelo consigue crear una corriente de actividades y procesos ejecutados simultáneamente en dos o más frentes de trabajo los cuales se ocupan de una parte del producto y fluyen en perfecta sincronía hasta llegar a un centro de ensamblaje donde las partes producidas aguas arriba se ensamblan para obtener el producto final.

Con esto se puede mejorar el rendimiento general del sistema. Su contraparte es la complejidad. No siempre se consigue paralelizar un proceso, aunque sea posible. Mientras más frentes de trabajo se ejecuten en paralelo, más rápido se avanzará el sistema. Esto se cumple hasta cierto punto, pues existe la limitación de que agregar más frentes de trabajo no aumentará la eficiencia e incluso podría reducirla.

La complejidad que significa optar por un procesamiento en paralelo se evidencia en la construcción ecuatoriana. Donde teóricamente los diseñadores y calculistas planifican las actividades a seguir para el desarrollo de un determinado proyecto, sin embargo en la práctica es común observar procesos atrasados que rompen el flujo de trabajo y retrasan las demás actividades. Esto puede ser consecuencia de retrasos con la llegada de materiales, personal no capacitado e incluso debido a una mala planificación inicial. Para facilitar el procesamiento en paralelo es necesario un

monitoreo continuo de cada una de las actividades que se están realizando simultáneamente, este control lo puede hacer el residente de obra con ayuda del maestro mayor.

Tabla 14  
*Procesamiento en paralelo*

<b>ADAPTABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>O. PROCESAMIENTO EN PARALELO</b>	
O.1. ¿Cómo se logra la aplicación de este principio?	Se logra mediante una coordinación y sincronización entre los miembros del equipo los cuales por separado se ocupan de una parte del trabajo. Al final estos se encontrarán en un centro de ensamblaje donde se unirán las diferentes partes para conseguir el producto final.
O.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	> Last Planner System (Último Planificador)
O.3. ¿Es posible la aplicación de este principio en la construcción ecuatoriana?	En la construcción ecuatoriana los profesionales encargados planifican las actividades de tal manera que estén sincronizadas unas con otras, de esta manera no tener tiempos improductivos, sin embargo, no siempre se cumple.
O.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana quiénes son los encargados de su aplicación?	> Diseñadores y calculistas > Residente de obra > Maestro mayor > Fiscalizador
O.5. ¿Cuáles son los factores que limitan su aplicación?	> Falta de monitoreo de actividades. > Deficiente cooperación por parte del equipo productivo. > Mala planificación de actividades.

Fuente: Elaborado por los autores

## **P. Implementación de Tecnología en todas las etapas**

El avance tecnológico en las diferentes actividades laborales de la construcción ha permitido que el tiempo de los procesos se reduzca significativamente. La implementación del software para llevar a cabo actividades de planificación, gestión y

control de proyectos así como para el cálculo estructural, permiten no solo volver más efectiva a las actividades constructivas sino que facilita la comunicación entre profesionales de la rama y con ello el manejo efectivo de la información.

Actualmente existe innumerables aplicaciones tecnológicas (Metodología BIM) que se pueden aplicar en la construcción ecuatoriana sin embargo muchas de estas requieren una inversión inicial muy alta pero que sin duda bajo el trabajo correcto de capacitación de personal y preparación de profesionales para integrar soluciones conjuntas se puede recuperar lo invertido en poco tiempo y transformar a la construcción en un proceso de actividades altamente productivas.

Tabla 15

*Implementación de tecnología en todas las etapas*

<b>ADAPTABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>P. IMPLEMETACION DE TECNOLOGIA EN TODAS LAS ETAPAS</b>	
P.1. ¿Cómo se logra la implementación de este principio?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Incorporación y utilización de tecnología de punta para mejorar el desempeño de las actividades llevadas a cabo en las diferentes etapas de los proyectos.</li> <li>&gt; Mejorando la comunicación entre los involucrados en la construcción a través del uso de la tecnología.</li> <li>&gt; Recargando el manejo de la información sobre sistemas computarizados.</li> <li>&gt; Permitiendo el manejo de datos e información de los diferentes proyectos a través del uso tecnológico entre los involucrados.</li> <li>&gt; Realizando capacitaciones en el manejo de nuevas herramientas tecnológicas.</li> </ul>
P.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	> Business Process Reeengineering (Reingeniería en el Proceso de Negocio)
P.3. ¿Es posible su aplicación en la construcción ecuatoriana?	Sí, a partir de la implementación de la tecnología (software, herramientas tecnológicas, BIM, etc.) en el desarrollo de actividades se puede innovar la construcción.
P.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana, quiénes son los	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Gerente General</li> <li>&gt; Profesionales involucrados en el manejo de información y datos (calculistas, residentes, técnicos, pasantes, etc.).</li> </ul>

encargados de su aplicación?	
P.5. ¿Qué factores limitan su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; La falta de recursos para una inversión inicial en la aplicación en una empresa constructora.</li> <li>&gt; Los obreros manejan cierto nivel de tecnología con él que se puede innovar en la construcción sin embargo están bajo el nivel tecnológico que se maneja en la actualidad.</li> <li>&gt; La falta de capacitaciones en el manejo de tecnología.</li> <li>&gt; La cultura organizacional y el criterio profesional arraigado a procesos tradicionales un tanto primitivos en relación a la época.</li> </ul>

Fuente: Elaborado por los autores

#### **Q. Asegurar la capacidad del sistema de producción**

Es la manera de administrar y regular el movimiento de diferentes recursos involucrados dentro de un ciclo de producción, que abarca el proceso desde la procura de materiales hasta completar la entrega de producto final, analizando la relación existente entre el desempeño del equipo de trabajo, la longitud de la cadena de producción y el volumen máximo que es capaz de fabricarse, venderse o distribuirse en un determinado tiempo.

Este principio tiene la función de garantizar la capacidad real que una determinada empresa constructora posee de acuerdo a su situación económica, el número de empleados en su nómina, en muchas ocasiones la capacidad del sistema de producción de una empresa es sobreestimada debido a que no se realizan análisis periódicos que determinen la capacidad real de producción. Esto se evidencia cuando el volumen de producción es menor que el volumen total de proyectos por cumplir, es decir, no puede ser autosuficiente, para contrarrestar esta adversidad se debe aumentar los niveles de producción. Debido a esto se recomienda que exista un control constante donde se lleven registros de rendimientos y producciones en campo, de modo que se pueda hacer una correcta estimación de la capacidad del sistema productivo.

Tabla 16  
*Asegurar la capacidad del sistema de producción*

<b>ADAPTABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>Q. ASEGURAR LA CAPACIDAD DEL SISTEMA DE PRODUCCIÓN</b>	
Q.1. ¿Cómo se logra la aplicación de este principio?	La mejor manera para asegurar la capacidad del sistema de producción de una empresa es la planificación de la demanda donde podrá conocerse la capacidad real de la cobertura de porcentaje del servicio prestado y de acuerdo con ello establecer el volumen de la demanda real que será posible satisfacer
Q.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Pull-Driven Process Management (Administración de Procesos por Demanda)</li> <li>&gt; Business Process Reengineering (Reingeniería en el Proceso de Negocio)</li> </ul>
Q.3. ¿Es posible la aplicación de este principio en la construcción ecuatoriana?	Es posible la aplicación de este principio siempre y cuando se conozca la capacidad real de producción de la empresa, para poder asegurar dicha capacidad e incluso luego poder mejorarla.
Q.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana quiénes son los encargados de su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Diseñadores y calculistas</li> <li>&gt; Residente de obra</li> <li>&gt; Pasante</li> <li>&gt; Fiscalizador</li> </ul>
Q.5. ¿Cuáles son los factores que limitan su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Desconocimiento de la capacidad real de producción que la empresa tiene.</li> <li>&gt; Procesos desequilibrados donde no se lleva registros de lo que se está produciendo.</li> <li>&gt; Falta de comunicación entre el equipo técnico de la empresa y el personal de campo</li> </ul>

Fuente: Elaborado por los autores

## **R. Detalle completo de requisitos**

La preparación profesional de los involucrados en la construcción no es suficiente cuando de analizar los procesos, requisitos y requerimientos de materiales, herramientas, maquinaria y actividades se trata, es aquí donde encaja perfectamente

la experiencia profesional y la documentación de los procesos y todos los detalles que estos requieren para llevar a cabo una actividad.

El manejo de información en obra debe ser público para los constructores y de esta forma entender los requisitos que se necesitan para desarrollar las actividades en los proyectos, por ello previo a aplicar este principio se debe tener muy claro la planificación así como la distribución de los recursos para la ejecución de las diferentes actividades, ya que de estos depende el análisis minucioso de los pasos a ejecutar.

En la construcción ecuatoriana es muy factible detallar completamente los requisitos para no sólo desarrollar actividades en base a la experiencia. El problema de la construcción ecuatoriana es que no se han documentado todos los requisitos a detalle que surgieron en el desarrollo de diversos proyectos, por ello la inclusión de este principio en todas las etapas de la construcción incluso previo a iniciar un proyecto que son muchas veces la cimentación de todo, podrían a la larga concluir con un documento donde se detalle completamente los requisitos previo a cada actividad aguas arriba.

Tabla 17

*Detalle completo de requisitos*

<b>ADAPTABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>R. DETALLE COMPLETO DE REQUISITOS</b>	
R.1. ¿Cómo se logra la implementación de este principio?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Mantener una buena relación con proveedores.</li> <li>&gt; Solicitar un catálogo a proveedores de herramientas y materiales necesarios para el desarrollo de proyectos.</li> <li>&gt; Mantener una base de datos actualizada con los detalles de implementos necesarios para el desarrollo de obras.</li> <li>&gt; Poner la información del proyecto a disposición de todos los profesionales.</li> </ul>
R.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Last Planner System (Último Planificador)</li> <li>&gt; Lean Project Delivery System (LPDS)</li> </ul>

R.3. ¿Es posible su aplicación en la construcción ecuatoriana?	Sí, ya que se debe manejar mejor la información para que los profesionales estén en la capacidad de tomar decisiones en el avance del proyecto.
R.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana, quiénes son los encargados de su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Gerente general</li> <li>&gt; Residente de obra</li> <li>&gt; Pasantos</li> <li>&gt; Fiscalizador</li> </ul>
R.5. ¿Qué factores limitan su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; La falta de comunicación.</li> <li>&gt; La falta de profesionales y colaboradores comprometidos con el trabajo.</li> <li>&gt; El deficiente manejo de información antes, durante y después del desarrollo de proyectos.</li> </ul>

Fuente: Elaborado por los autores

## S. Centrarse en la selección de conceptos

En las primeras etapas del proyecto principalmente, pero también durante todo el proceso de diseño y construcción, el equipo responsable del desarrollo del producto identifica un conjunto de necesidades del cliente. Utilizando este principio, se seleccionan los conceptos que surgen como respuesta a estas necesidades. Una vez que se determinan los criterios generales de evaluación y la elección de ideas para su adopción y desarrollo, se seleccionará el método y el modelo a aplicar en cada situación.

En la realidad ecuatoriana este principio se ve aplicado cuando con la ayuda del consumidor se selecciona los conceptos más importantes para la ejecución del proyecto, esto como resultado de múltiples reuniones que el gerente agenda con el cliente a lo largo del ciclo de vida de producción. Como consecuencia de esto se logra centralizar las ideas, elegir el método constructivo que mejor se adapte a las condiciones utilizando el personal mejor capacitado en busca de obtener un producto que garantice satisfacer las exigencias del cliente.

Tabla 18  
*Centrarse en la selección de conceptos*

<b>ADAPTABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>S. CENTRARSE EN LA SELECCIÓN DE CONCEPTOS</b>	
S.1. ¿Cómo se logra la aplicación de este principio?	Conforme el proyecto avanza el equipo técnico debe reducir este conjunto de conceptos y centrarse en la selección de los conceptos que van a satisfacer las necesidades del cliente
S.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	> Lean Project Delivery System (LPDS)
S.3. ¿Es posible la aplicación de este principio en la construcción ecuatoriana?	Mediante continuas reuniones con el cliente durante el desarrollo del proyecto se logrará la correcta implementación de este principio ya que de esa manera se puede entender y centrar selección de los conceptos que harán que el resultado sea lo esperado por el cliente.
S.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana quiénes son los encargados de su aplicación?	> Gerente general > Diseñadores y calculistas > Residente de obra > Fiscalizador
S.5. ¿Cuáles son los factores que limitan su aplicación?	> Falta de comunicación con el cliente. > Criterios dispersos en el equipo de trabajo.

Fuente: Elaborado por los autores

## **T. Asegurar Requisitos Aguas Abajo**

Es necesario que todos los requisitos en las actividades aguas abajo se encuentren cubiertas por completo, para darle continuidad a una cadena de valor o a aquellas actividades que en un estudio, se pueden evidenciar que son dependientes de otras subsecuentes. Todo esto a través de un proceso exhaustivo de analizar cada etapa y las diferentes actividades que se deben ejecutar para darle continuidad a la obra.

Es necesario poner a disposición todos los detalles de los procesos, entre los profesionales así como fomentar el trabajo en equipo para mejorar las relaciones

internas entre técnicos de la construcción, ya que son ellos los encargados de transmitir los requisitos previo al desarrollo de actividades.

En Ecuador es factible la implementación de este principio que junto con la capacitación continua de profesionales se puede tener una guía clara de cómo se van ejecutando los pasos en el proyecto así como las dificultades que se presentan en el camino. Es necesario considerar todos los requerimientos y requisitos previos que se deben solucionar en la brevedad posible, para que así su implementación sea posible.

Tabla 19

*Asegurar requisitos aguas abajo*

<b>ADATABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>T. ASEGURAR REQUISITOS AGUAS ABAJO</b>	
T.1. ¿Cómo se logra la implementación de este principio?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Llevar registros de las actividades que se van desarrollando.</li> <li>&gt; Supervisar el avance del proyecto de acuerdo a la planificación semanal.</li> <li>&gt; Asegurar que los materiales y las herramientas estén a tiempo para el desarrollo de proyectos.</li> <li>&gt; Discutir en capacitaciones la cadena de valor a seguir para cumplir con la planificación expuesta.</li> </ul>
T.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Last Planner System (Último Planificador)</li> <li>&gt; Business Process Reengineering (Reingeniería en el Proceso de Negocio)</li> <li>&gt; Pull-Driven Process Management (Administración de Procesos por Demanda)</li> </ul>
T.3. ¿Es posible su aplicación en la construcción ecuatoriana?	Sí, es posible la aplicación de este principio, a través del desarrollo de todas las actividades que fueron previamente planificadas.
T.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana, quiénes son los encargados de su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Gerente general</li> <li>&gt; Residente de obra</li> <li>&gt; Obreros de la construcción (Pintores, Albañiles, Carpinteros, etc.)</li> </ul>

T.5. ¿Qué factores limitan su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Mala planificación previo al desarrollo de proyectos.</li> <li>&gt; El compromiso de los proveedores con el proyecto.</li> <li>&gt; Deficiente preparación del proyecto, mala distribución de los recursos, mala planificación de tiempos.</li> </ul>
---	---

Fuente: Elaborado por los autores

## U. Verificar y validar

El objetivo de cualquier empresa siempre será mantener la competitividad en el mercado y proporcionar productos que brinden seguridad cumpliendo con las expectativas del cliente y los requisitos reglamentarios. La verificación y la validación es un principio aplicado en la industria de la construcción para lograr estos objetivos.

Es importante saber interpretar los resultados de la aplicación de este principio. Si los resultados demuestran el cumplimiento y la efectividad de los procedimientos, entonces son exitosos, y el apoyo a éstos debe continuar. Por otro lado para los resultados que demuestren una falta de cumplimiento o fallas, se deben tomar medidas correctivas.

En el contexto de la cultura ecuatoriana la aplicación de este principio recae sobre el residente de obra quien es responsable de realizar un control de calidad en la etapa final del proyecto.

Tabla 20  
*Verificar y validar*

<b>ADAPTABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>U. VERIFICAR Y VALIDAR</b>	
U.1. ¿Cómo se logra la aplicación de este principio?	Comienza con la revisión de requisitos expuestos inicialmente por el cliente, continúa con la revisión del diseño, se realizan inspecciones y pruebas al producto; y finalmente se determina si este cumple o es apto para salir a la venta en el mercado.
U.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	> Lean Project Delivery System (LPDS)

U.3. ¿Es posible la aplicación de este principio en la construcción ecuatoriana?	La aplicación de este principio se cumple de manera adecuada dentro de la industria ecuatoriana, esto se evidencia en todas las etapas de un proyecto donde los profesionales involucrados verifican y posteriormente validan los trabajos realizados en campo.
U.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana quiénes son los encargados de su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Residente de obra</li> <li>&gt; Maestro mayor</li> <li>&gt; Fiscalizador</li> </ul>
U.5. ¿Cuáles son los factores que limitan su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Deficiente monitoreo de actividades</li> <li>&gt; Retrasos en ejecución de trabajos</li> <li>&gt; Procedimientos y políticas que no se cumplen durante el ciclo de vida del proyecto</li> </ul>

Fuente: Elaborado por los autores

## V. Comprobar cada detalle en el desarrollo de procesos

La implementación de este principio en la construcción ecuatoriana se logra a través de la capacitación continua de procesos donde se detalle con documentación todos los pasos y que además sean de carácter público y a disponibilidad del personal en obra, dicha gestión puede ayudar en la solución de problemas después de la experimentación de fracasos, soluciones en obras anteriores.

En Ecuador es necesario llevar un diario de obra más detallado donde no solo se incluya el avance de la planificación según lo establecido sino que además se presente un documento extenso donde se explique el desarrollo de cada proceso; las dificultades, soluciones, pasos, requisitos, etc., información que permitirá dar soluciones prontas a proyectos futuros en la construcción así como los problemas que se pueden volver recurrentes en una obra.

Tabla 21

*Comprobar cada detalle en el desarrollo de procesos*

<b>ADAPTABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>V. COMPROBAR CADA DETALLE EN EL DESARROLLO PROCESOS</b>	
V.1. ¿Cómo se logra la implementación de este principio?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Realizar una planificación diaria.</li> <li>&gt; Supervisión de las actividades llevadas a cabo en el transcurso de un proyecto.</li> <li>&gt; Llevar a cabo reuniones diarias con todos los involucrados en el avance minucioso para corregir o llevar a cabo las planificaciones planeadas.</li> </ul>
V.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	> Last Planner System (Último Planificador)
V.3. ¿Es posible su aplicación en la construcción ecuatoriana?	Absolutamente por lo que será necesario la implantación de mayor cantidad de recursos, que sin embargo verán reflejados en el producto final una reducción de costos y tiempo.
V.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana, quiénes son los encargados de su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Gerente general</li> <li>&gt; Residente de obra</li> <li>&gt; Fiscalizador</li> </ul>
V.5. ¿Qué factores limitan su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; La falta de recursos adicionales para llevar a cabo dichos proyectos.</li> <li>&gt; Mala planificación antes, durante y después del desarrollo de los proyectos.</li> </ul>

Fuente: Elaborado por los autores

### **W. Decidir por consenso, considerar todas las opciones**

La aplicación de este principio se lo lleva a cabo internamente con el grupo de trabajo involucrado, donde se evalúan diferentes posibilidades con el fin de llegar a un objetivo establecido. La decisión que se tome deberá ser en consenso lo que implica la aceptación y apoyo por parte de todos los participantes. Para llegar a dicho acuerdo es necesario disponer de toda la información que sirva para resolver la incertidumbre y brindar alternativas entre las que es posible escoger e identificar mejor que acción conviene ejecutar.

Mientras tanto en la construcción ecuatoriana se toman decisiones sobre la marcha, es decir, se actúa de manera apresurada conforme aparecen los problemas, producto de aquello se tienen resultados que en ocasiones resulta ser acertados y otras veces solo son la causa de futuros inconvenientes. Para la aplicación de este principio es recomendable realizar reuniones continuas que permitan identificar problemas de manera anticipada, donde se considere todas las opciones posibles, elegir la mejor opción para llegar a un consenso con el fin de llevar el proyecto a buen término.

Tabla 22

*Decidir por consenso, considerar todas las opciones*

<b>ADAPTABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>W. DECIDIR POR CONSENSO, CONSIDERAR TODAS LAS OPCIONES</b>	
W.1. ¿Cómo se logra la aplicación de este principio?	La decisión de consenso significa que todos los miembros del equipo están satisfechos con la decisión y la respaldan plenamente, luego de haber revisado toda la información disponible sobre cada una de las alternativas y sus posibles consecuencias.
W.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	> Lean Project Delivery System (LPDS)
W.3. ¿Es posible la aplicación de este principio en la construcción ecuatoriana?	Se puede aplicar este principio mediante reuniones periódicas que involucren a los principales involucrados dentro del proceso con el fin de obtener el criterio profesional de cada uno, lo cual permitirá tomar decisiones oportunamente luego de evaluar cada una de las opciones.
W.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana quiénes son los encargados de su aplicación?	> Gerente general > Diseñadores y calculistas > Residente de obra > Maestro mayor > Fiscalizador
W.5. ¿Cuáles son los factores que limitan su aplicación?	> Reuniones poco productivas e innecesarias. > Falta de comunicación entre los miembros del equipo. > Toma de decisiones acelerada.

Fuente: Elaborado por los autores

## **X. Manejar una amplia red de colaboradores**

En el área de la construcción a partir del estudio realizado en el capítulo anterior se pudo evidenciar que es un sector productivo capaz de repotenciar y volver dinámicas otras actividades laborales, es una fuente muy amplia de trabajo por lo que existen gran cantidad de opciones cuando de contar con colaboradores se trata, es así que la experiencia adquirida en proyectos anteriores se ve aquí reflejada ya que se puede en el avance del tiempo contar con un buen equipo de trabajo que generan más soluciones a las posibles dificultades que se pueden presentar en el camino a llegar al objetivo final.

Tabla 23

*Manejar una amplia red de colaboradores*

<b>ADAPTABILIDAD DE LOS PRINCIPIOS LEAN DE ACUERDO A LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA CONSTRUCCIÓN ECUATORIANA</b>	
<b>X. MANEJAR UNA AMPLIA RED DE COLABORADORES</b>	
X.1. ¿Cómo se logra la implementación de este principio?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Previo al desarrollo de los proyectos llevar a cabo un análisis de los posibles proveedores.</li> <li>&gt; Llevar a cabo todo el trabajo bajo un contrato para evitar tiempos muertos.</li> </ul>
X.2. ¿Qué herramientas LEAN se involucran en este proceso?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Last Planner System (Último Planificador)</li> <li>&gt; Lean Project Delivery System (LPDS)</li> </ul>
X.3. ¿Es posible su aplicación en la construcción ecuatoriana?	Sí, es justo y necesario llevar una base de datos confiable de proveedores involucrados en la construcción.
X.4. ¿Dentro de la organización de una empresa ecuatoriana, quiénes son los encargados de su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; Gerente general</li> <li>&gt; Residente de obra</li> </ul>
X.5. ¿Qué factores limitan su aplicación?	<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; La falta de profesionales responsables con las actividades laborales.</li> <li>&gt; Deficiente selección de un proceso para el manejo de herramientas y materiales.</li> <li>&gt; La falta de planificación en obra, previo al desarrollo de un proyecto.</li> </ul>

Fuente: Elaborado por los autores

Una vez que se ha realizado el análisis de adaptabilidad a cada uno de los principios se observó que la mayoría de ellos necesitan ser modificados para ser insertados dentro de la realidad ecuatoriana, tomando en cuenta que Ecuador tiene una cultura diferente a las sociedades que ya los han puesto en práctica en sus procesos productivos.

Con esto, la lista de 24 principios Lean Costruction, resumidos en la Tabla 24, resultan de la adaptación de acuerdo a la cultura organizacional de la construcción en Ecuador.

Tabla 24  
*Lista de principios Lean Construction*

<b>Índice de columna</b>	<b>Principio Lean Construction</b>
A	Obtener calidad desde la primera vez
B	Mejorar la variabilidad del flujo aguas arriba
C	Reducir las duraciones del ciclo de producción
D	Reducción de inventario
E	Reducir producción innecesaria
F	Reducir tiempos muertos
G	Utilizar equipos polivalentes
H	Implementación de maquinaria en procesos
I	Nivelar cargas de trabajo
J	Estandarización de procesos
K	Establecer una mejora continua
M	Visualizar el proceso de producción
N	Simplificación de procesos
O	Procesamiento en paralelo
P	Implementación de tecnología en todas las etapas
Q	Asegurar la capacidad del sistema de producción
R	Detalle completo de requisitos
S	Centrarse en la selección de conceptos
T	Asegurar requisitos aguas abajo

U	Verificar y validar
V	Comprobar cada detalle en el desarrollo de procesos
W	Decidir por consenso, considerar todas las opciones
X	Manejar una amplia red de colaboradores

Fuente: Elaborado por los autores

### **5.3 ADAPTACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS Y FUNCIONALIDADES BIM EN LA CULTURA ORGANIZACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN EN ECUADOR**

El Ecuador todavía es incipiente la metodología BIM, puesto que los proyectos se los coordina de forma convencional basándose siempre en el control global del estado del proyecto cuando todas las partes que han actuado en el mismo han concluido con su etapa correspondiente.

Como ya se dijo anteriormente en el país existe una gran disposición de paquetes informáticos que tienen una fuerte compatibilidad con los procesos BIM, sin embargo, no se les ha sacado el máximo de provecho todavía.

Las principales causas de los problemas en los proyectos durante la etapa de construcción, de acuerdo con la experiencia de los profesionales en el ramo radica en varios factores como la falta de procesos, falta de planificación, escaso nivel de cooperación entre los profesionales participantes en la planificación y desarrollo del proyecto, poco uso de herramientas tecnológicas, es decir, bajo nivel de Constructibilidad. (BIM community, 2018)

Los problemas anteriores, sin embargo, pueden ser solucionados mediante la implementación de procesos y metodologías BIM, por la razón de que por medio de ellas es posible visualizar el proyecto de forma global, realizando el proceso de integración de las diferentes disciplinas que actúan en el desarrollo y ejecución del proyecto, de esta forma se facilitará tanto la delimitación como la definición de todos

los detalles que constituyen e integrarán el proyecto antes de su fase constructiva. (Castillo, 2016)

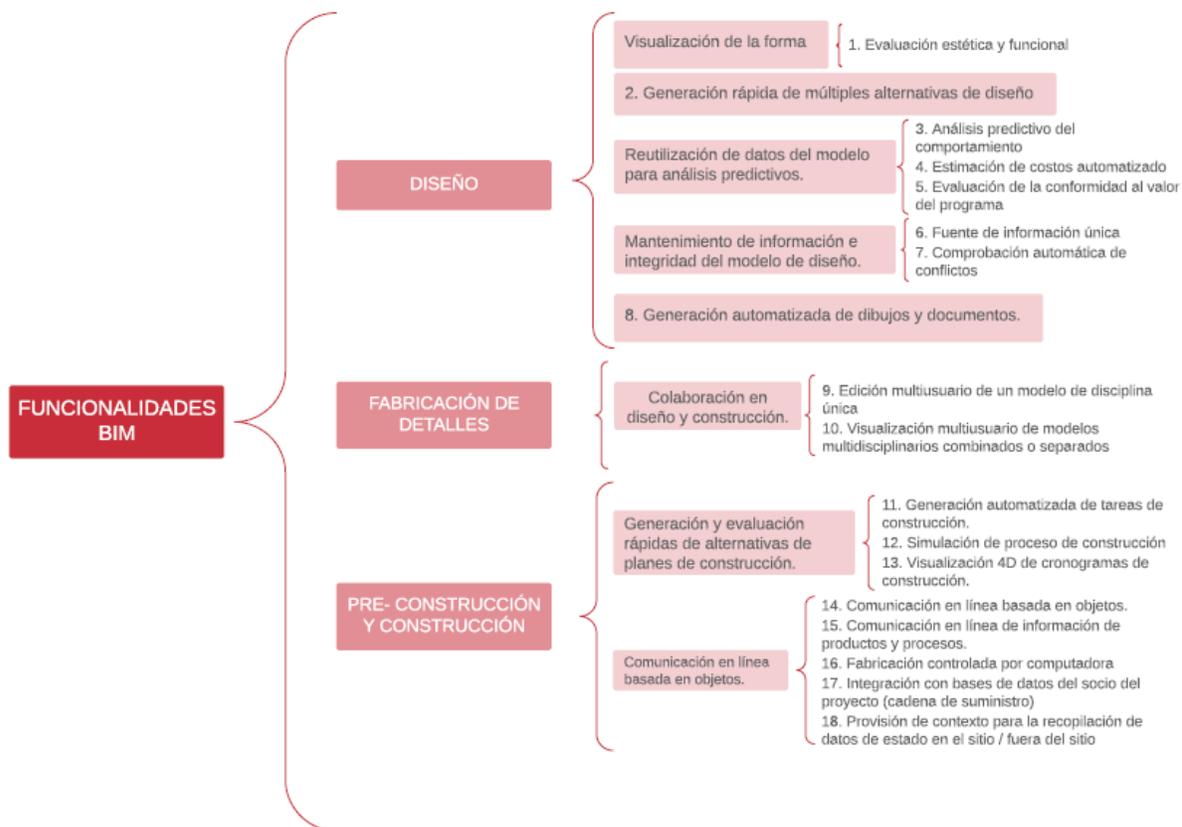
### **5.3.1 ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE LAS FUNCIONALIDADES BIM APLICABLES EN LA CULTURA ORGANIZACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL ECUADOR**

Para la selección de las funcionalidades BIM se recurrirá nuevamente al estudio realizado por Sacks Raphael, Koskela Lauri, Bhargav Dave y Owen Roberth, autores del artículo científico “Interaction of LEAN and Building Information Modelling in construction”, tal como se hizo para el caso de los principios Lean Construction, donde se enumera las funcionalidades que la tecnología BIM proporciona y además se determina sus aspectos sobresalientes a la hora de compilar, editar, evaluar información sobre proyectos de construcción; haciendo referencia a la tecnología como la base primordial de la mayoría de las funciones compartidas por todas las herramientas BIM.

En este estudio, los autores descomponen a un proyecto en tres etapas básicas en las cuales se aplica la metodología BIM, de esta manera las funcionalidades se derivan explícitamente de los procesos que se deberán desarrollar en cada una de ellas, a continuación se enumera cada una de las etapas:

- Diseño.
- Fabricación de detalles.
- Pre-construcción y construcción.

A partir de las etapas se puede ir aplicando la metodología BIM y producto de esto nacen sus funcionalidades, mismas que a su vez se descomponen en sub-funcionalidades, tal como se observa en el cuadro sinóptico de la Figura 26, de esta manera se limita su campo de acción y a partir de esta descomposición se podrá evidenciar de mejor manera su relación e interacción con los principios de Lean Construction.



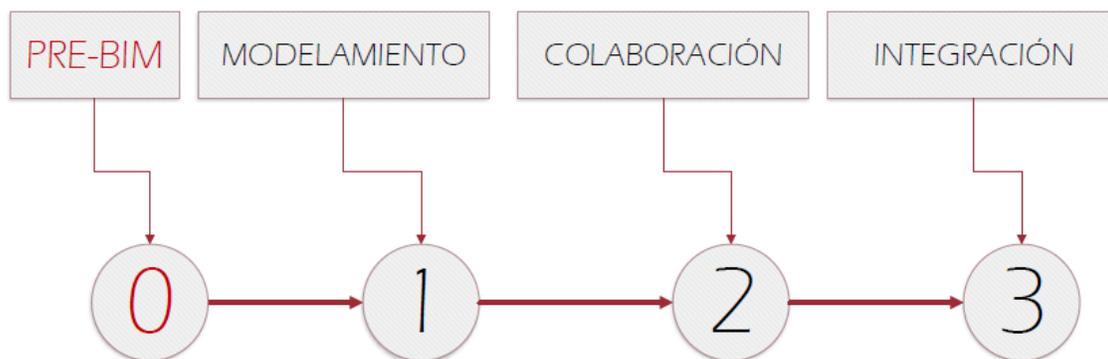
*Figura 26.* Funcionalidades y sub-funcionalidades BIM.

Fuente: (Sacks et al., 2010) Adaptado por los autores

Para ello se ha realizado un estudio profundo de cada una de las funcionalidades, tal como se hizo para el caso de los principios Lean Construction, con el fin de determinar su adaptabilidad dentro de nuestra cultura y de ser necesario proponer la implementación de un cambio a nivel organizacional dentro de la empresa o a su vez descartarlo definitivamente por su complejidad y poca probabilidad de aplicación.

Para empezar con el análisis de las funcionalidades antes enumeradas, previamente se examinará las fases de implantación del BIM donde se define los hitos principales que un equipo debe alcanzar durante la implementación de tecnologías y conceptos BIM, posteriormente será importante contar con un patrón de medida para establecer el grado de desarrollo de una organización y su capacidad para adopción de la metodología. Este proceso se llevará a cabo con el fin de entender de mejor manera la aplicación de la metodología en el contexto de la realidad ecuatoriana.

Seguidamente se explicará cada una de las etapas de adopción del BIM: (Sierra Aponte, 2016)



*Figura 27. Etapas de adopción del BIM*  
Fuente: (Sierra Aponte, 2016) Adaptado por los autores

- Pre-BIM. Se caracteriza por su dependencia en la documentación 2D para representar la realidad 3D. Incluso si se generan visualizaciones 3D, frecuentemente son inconsistentes y dependen de la documentación 2D y la producción de detalles. Las cantidades, las estimaciones de costos y las especificaciones no se derivan del modelo, ni están relacionadas con la documentación. Además, las prácticas de colaboración entre personas relacionadas no son una prioridad, y el flujo de trabajo es lineal y careciente de sincronía.
- Modelado basado en objetos. Se usa con relativa facilidad un software de modelado 3D basado en objetos, como Autodesk Revit. En esta etapa, el personal involucrado en diversas disciplinas como son la arquitectura e ingeniería generarán modelos independientes.
- Colaboración basada en el modelo. Los actores cooperan activamente con actores de otras disciplinas. Técnicamente, la colaboración puede ocurrir de muchas maneras, dependiendo de la herramienta de software BIM seleccionada por cada participante. Esto incluye el intercambio de modelos o

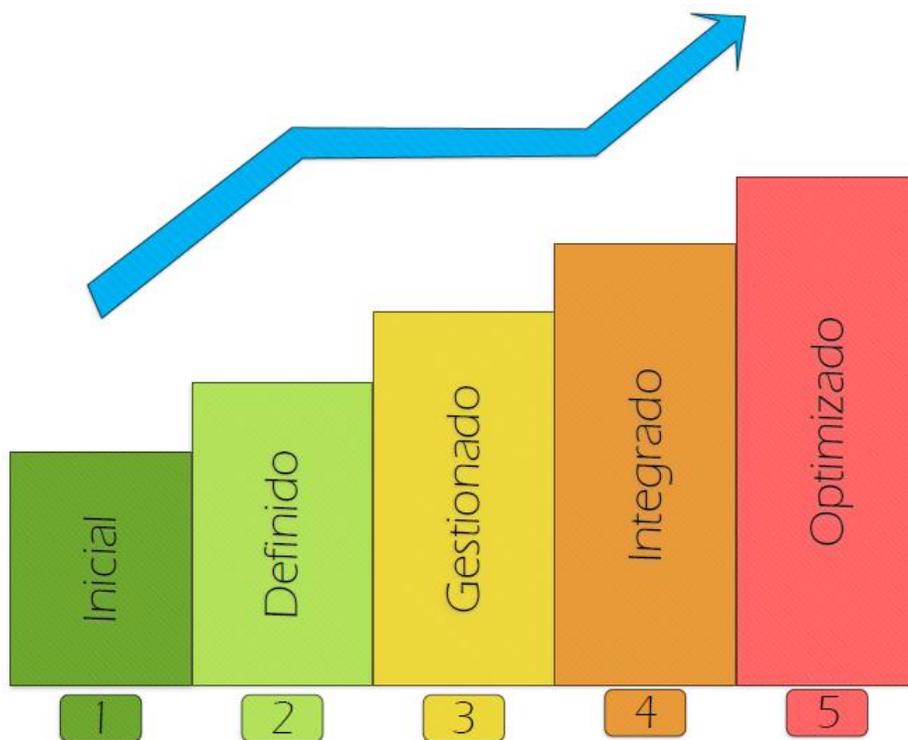
parte de ellos. Aunque la comunicación entre las personas involucradas sigue siendo asíncrona, los obstáculos entre ellos comienzan a desaparecer.

- Integración en la red. En esta etapa el modelo creado se integra, comparte y mantiene en colaboración en todas las etapas del proyecto. El modelo BIM en esta etapa es interdisciplinario, y se pueden realizar análisis complejos en las primeras etapas de diseño y construcción. El intercambio de información obliga a las diversas etapas del proyecto a superponerse.

Como se mencionó en párrafos precedentes es importante contar con un patrón de medida para establecer el grado de desarrollo de una organización y su capacidad para adopción de la metodología, para ello se ha definido 5 niveles de madurez detallados a continuación: (Morales Molina, 2018)

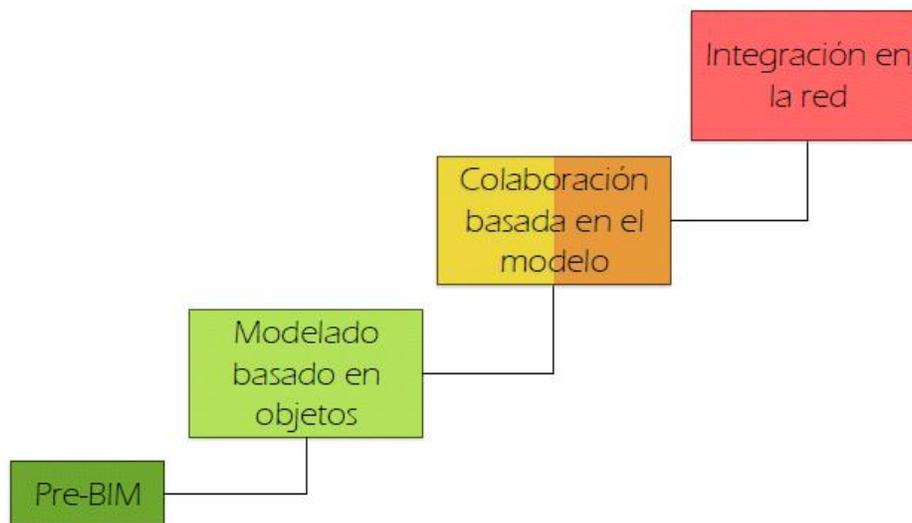
- Inicial. Se caracteriza por una falta de estrategia global y una clara falta de procesos y políticas definidas. La herramienta BIM se instala de forma no sistemática y no hay suficiente investigación y preparación preliminar. Las capacidades de colaboración a menudo son incompatibles con las de los socios del proyecto y pueden ocurrir sin pautas de proceso predefinidas, estándares o acuerdos compartidos. No existe una asignación formal de los roles y responsabilidades de las partes interesadas.
- Definido. La implementación de BIM está impulsada por la visión global de la alta gerencia. La mayoría de los procesos y políticas tienen registros detallados que pueden identificar innovaciones en los procesos, pero aún no se han identificado las oportunidades comerciales que ofrece BIM. La cooperación con los socios del proyecto muestra signos de confianza y respeto mutuo entre los participantes, sigue las pautas, estándares y acuerdos de intercambio predefinidos. En este punto, el proceso BIM se va formalizando, definiendo roles con responsabilidades específicas.

- Gestionado. La mayoría de los empleados se comunican y entienden la visión de la implementación de BIM. La estrategia se combina con un plan de acción detallado y un sistema de monitoreo. BIM se considera una serie de gestión de cambios de tecnología, procesos y políticas que debe llevarse a cabo sin obstaculizar la innovación. Además, el campo del marketing reconoce y aprovecha las oportunidades comerciales que BIM aporta y define los roles.
- Integrado. Este es un nivel de madurez en el cual BIM está integrado con la estrategia y visión de la compañía. Las oportunidades comerciales son parte de una ventaja competitiva, y los indicadores de rendimiento se utilizan para aumentar la productividad y mantener la coherencia y la previsibilidad en todos los proyectos. La cooperación incluye puestos intermedios, que se caracterizan por la intervención de los principales participantes, los cuales actúan desde etapas iniciales del ciclo de vida del proyecto.
- Optimizado. El nivel optimizado es la madurez máxima posible que se puede lograr en un proceso, y su característica principal es la búsqueda constante de actualizaciones y tecnologías que ayudan a promover el desarrollo de BIM en la empresa. Además, la compañía ha internalizado la visión BIM y constantemente revisa la estrategia de implementación y la alinea con la estrategia de la compañía.



*Figura 28.* Representación por colores, índice de madurez BIM  
Fuente: (Morales Molina, 2018) Adaptado por los autores

En la Figura 28 se ha representado con un color distintivo a cada índice de madurez. Con la ayuda de este patrón se procederá a emparejar a cada una de las etapas de adopción del BIM, previamente expuestas, con el nivel de madurez necesario para su correcta implementación.



*Figura 29.* Índice de acuerdo a las etapas de adopción del BIM  
Fuente: Elaborado por los autores

Una vez identificado el nivel de madurez necesario para la aplicación de cada etapa en la Figura 29 se procederá a relacionar cada una de las funcionalidades BIM previamente enumeradas y ubicarlas de acuerdo al grado de aplicación y madurez necesaria para su implementación en un determinado equipo de trabajo.

Tabla 25  
*Clasificación de las funcionalidades BIM*

<b>CLASIFICACIÓN DE LAS FUNCIONALIDADES BIM</b>	
Modelos basado en objetos	1. Evaluación estética y funcional
	2. Generación rápida de múltiples alternativas de diseño.
	3. Análisis predictivo del rendimiento
	4. Estimación de costos automatizada
	5. Evaluación de la conformidad al valor del programa / cliente
Colaboración basada en el modelo	6. Fuente de información única
	7. Generación automatizada de planos y documentos.
	8. Simulación del proceso de construcción
	9. Visualizaciones de estado del proceso
	10. Visualización 4D de programas de construcción
Integración en la red	11. Generación automatizada de tareas de construcción

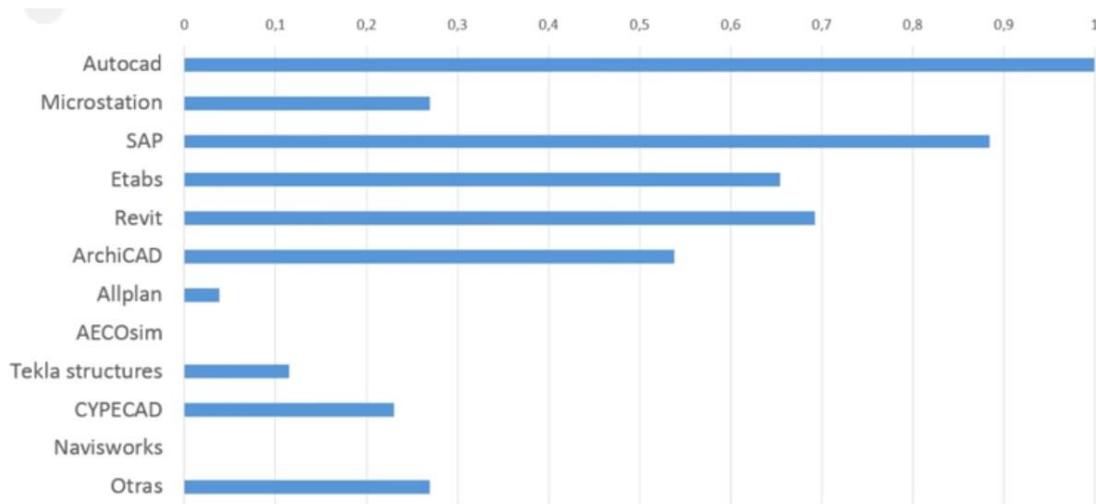
	12. Comprobación automatizada de choques.
	13. Visualización de modelos multidisciplinares combinadas o separadas
	14. Edición multiusuario de un modelo de disciplina única.
	15. Comunicación en línea de la información de productos y procesos
	16. Fabricación controlado por ordenador
	17. Integración con base de datos de la cadena de suministro socio del proyecto
	18. Provisión de contexto para la recopilación de datos de estado de sitio y fuera del sitio

Fuente: Elaborado por los autores

Una vez que se ha clasificado las funcionalidades BIM en la Tabla 25, se procederá a analizar la situación real de la construcción ecuatoriana, es decir, establecer el grado de desarrollo y la capacidad de adopción de la metodología BIM que se presenta actualmente en el contexto de la realidad ecuatoriana.

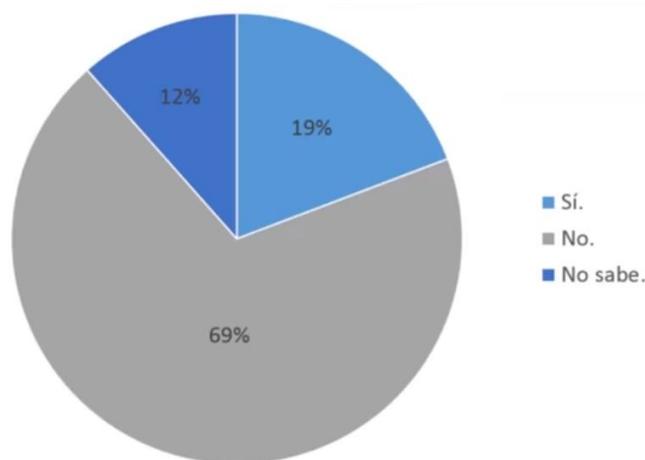
Para ello se recurrirá al estudio expuesto en el 2016 por Marco Tapia, ingeniero Civil especializado en BIM Management, en la videoconferencia titulada *“Introducción al BIM y contexto actual del BIM en Ecuador”*. Donde se presenta el resultado de un sondeo aplicado a ingenieros, arquitectos y contratistas involucrados en la construcción dentro de las provincias de Pichincha, Guayas, Manabí y Azuay.

Una de las preguntas realizadas a los profesionales de la construcción fue *“¿Cuáles de estas herramientas/software destinadas a la industria de la construcción conoce?”*, la respuesta de los encuestados fue contundente y el resultado demostró que los softwares orientados a la aplicación de BIM son los menos conocidos, predominando la popularidad de AutoCAD, programa destinado para el modelamiento 2D. Desde ya con esta pregunta se puede evidenciar el poco nivel de implementación de software orientados a la aplicación de BIM que existe en el Ecuador.



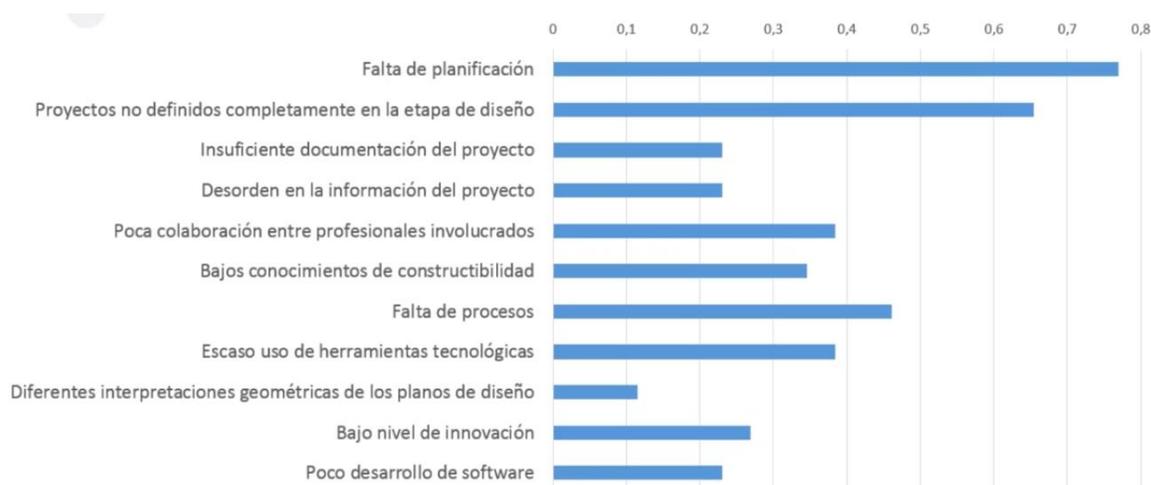
*Figura 30.* Herramientas destinadas a la industria de la construcción  
Fuente: (Tapia, 2016)

Continuando con el análisis de los resultados que arrojó el estudio citaremos una segunda pregunta. “¿Están utilizando en su organización Procesos BIM?”. Como se muestra en la Figura 31, el 69% de los encuestados declaró que su organización no utiliza procesos BIM, mientras que el 12% no lo sabe. Este porcentaje de personas que respondió desconocer si su organización está incursionando en procesos BIM probablemente no lo está haciendo, demostrando una vez más la poca aplicación de la metodología.



*Figura 31.* Utilización de procesos BIM  
Fuente: (Tapia, 2016)

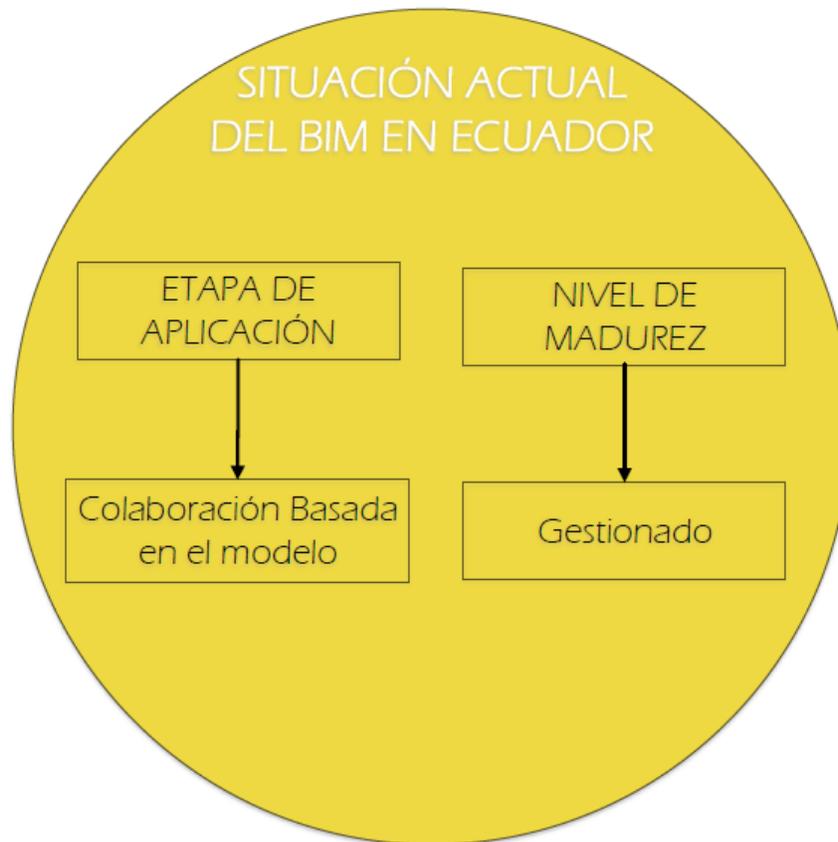
Finalmente se menciona una pregunta con mayor amplitud la cual expone las deficiencias existentes en un proyecto. *“Según su experiencia, marque las principales causas de los problemas en un proyecto en etapa de construcción”*. Todos estos problemas se podrían solventar con la implementación del BIM debido a que justamente con esto se consigue una colaboración entre los profesionales involucrados y sobretodo se define completamente la totalidad del proyecto en la etapa de diseño.



*Figura 32. Principales causas de los problemas en un proyecto de construcción*  
Fuente: (Tapia, 2016)

Como conclusión de esta investigación el autor manifiesta *“En Ecuador hace falta que los profesionales se involucren con herramientas BIM y a futuro la implementación completa del BIM se efectuará con éxito como ha sido el caso en otros países”*.

En este contexto se puede afirmar que la implementación de la metodología BIM se realizará progresivamente en el Ecuador. Bajo esta premisa y luego de analizar las declaraciones del ingeniero Marco Tapia en su videoconferencia podemos ubicar a la situación actual de nuestro país dentro la etapa denominada Colaboración basada en el modelo con un nivel de madurez número 3 como se observa en la Figura 33.



*Figura 33.* Situación actual del BIM en el Ecuador  
Fuente: Elaborado por los autores

Tomando como referencia la clasificación realizada en la Tabla 26 y relacionándola directamente con la situación actual de BIM en el Ecuador se obtiene la lista de funcionalidades aplicables en el contexto de la construcción ecuatoriana; el resto de funcionalidades, no tomadas en cuenta, se han descartado definitivamente debido a que requieren un elevado índice de madurez para su implementación.

En la Tabla 26 se muestra la lista definitiva de siete funcionalidades BIM que se tomarán en cuenta dentro del análisis de interacción con los principios Lean Construction previamente definidos.

Tabla 26

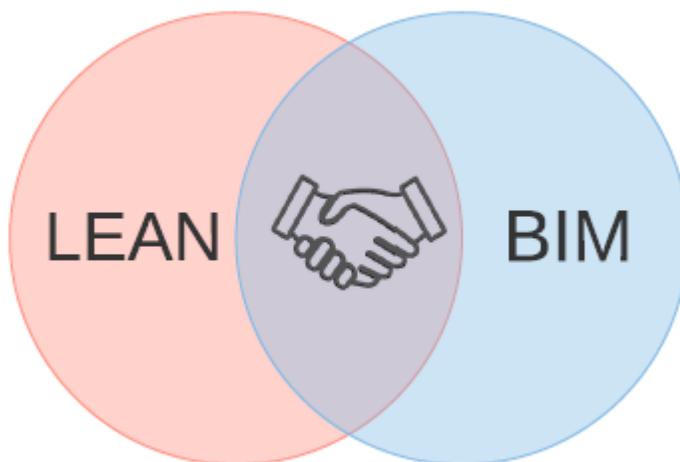
*Lista de funcionalidades BIM aplicables a la realidad ecuatoriana*

Índice de fila	Funcionalidad BIM
I	Evaluación estética y funcional
II	Generación rápida de múltiples alternativas de diseño
III	Análisis predictivo del rendimiento
IV	Estimación de costos automatizada
V	Evaluación de la conformidad al valor del programa / cliente
VI	Fuente de información única
VII	Generación automatizada de planos y documentos
VIII	Simulación del proceso de construcción
IX	Visualizaciones de estado del proceso
X	Visualización 4D de programas de construcción

Fuente: Elaborado por los autores

## **5.4 INTERACCIÓN BIM – LEAN EN LA CULTURA ORGANIZACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN EN ECUADOR**

En los tiempos actuales, la industria de la construcción tiene que enfrentar continuos y grandes desafíos. Entre los más frecuentes está el del mejoramiento continuo de los niveles de eficiencia, y para lograr aquello es necesario la adopción de nuevos sistemas de gestión productiva. La mayor parte de los sistemas de gestión están enfocados en lograr el mejoramiento integral de los procesos productivos por lo que la fusión entre las metodologías más conocidas y demandadas, el BIM y el LEAN es hasta el momento el modo más apropiado para que la industria de la construcción evolucione y prospere.



*Figura 34. Unión BIM + LEAN*

Fuente: Elaborado por los Autores

El BIM, como ya se ha mencionado en los numerales anteriores, constituye una herramienta tan eficaz como poderosa, la misma que permite generar escenarios de carácter espacial y temporal que se encuentran sustentados con altos niveles de información lo que le ha permitido evolucionar en los últimos años con una rapidez asombrosa. Por otro lado LEAN ayuda a establecer el desarrollo de procesos productivos de gran eficiencia que permiten el mejoramiento en el desempeño de la planificación y ejecución de los proyectos. (Peralta, 2015)

Las ventajas del BIM resultaron tan amplias como impresionantes que se pensó que sí resultaría ventajoso fusionarlas con la herramienta LEAN creando de esta forma una herramienta que proporcione eficiencia y rentabilidad a los proyectos, así como reforzar su calidad garantizando así su duración y su plusvalía.

Tanto el BIM como el LEAN contribuyen con la planificación de los proyectos, por lo tanto, una adecuada fusión entre ambas herramientas generará las condiciones propicias para que los objetivos propuestos logren ser alcanzados sin que se omita ninguno de ellos.

Tanto el BIM como el LEAN actúan por separado, por lo que el reto de los constructores y proyectistas deberá de enfocarse en buscar una práctica conjunta de ambas

herramientas para de esta forma poder llegar a un resultado en donde el BIM sea un complemento o extensión de la filosofía LEAN o viceversa. (Paxi, 2015)

La sinergia entre ambas herramientas traerá como resultado la disminución de pérdidas, la reducción de costos, el mejoramiento de la calidad y productividad constructivas, así como de los equipos de trabajo, dando de esta forma resultados positivos para el proyecto una vez que este haya finalizado su etapa de construcción y durante su posterior período de vida útil.

La filosofía LEAN es de gran ayuda porque permite el mejoramiento de la eficiencia logística y así poder lograr la disminución o la eliminación de los desperdicios que pudieran generarse en los procesos constructivos por muchos factores como pueden ser los movimientos, los tiempos de espera, los espacios en conflicto entre los más influyentes. (Badano, 2016)

El BIM en cambio facilita el análisis de los flujos de materiales, así como de mano de obra por medio de tecnologías de simulación que permitirán la determinación del esquema más conveniente para una obra en determinado momento de su ejecución. (Badano, 2016)

De acuerdo con lo anterior, entonces, al fusionar las herramientas BIM y LEAN se obtendrán resultados asombrosos que avalarán la eficiencia del proyecto dando lugar así a un marco de confianza y rentabilidad garantizados.

#### **5.4.1 ELABORACIÓN DE LA MATRIZ DE INTERACCIONES**

Una vez que se han enumerado tanto los principios Lean como las funcionalidades BIM en la Tabla 25 y en la Tabla 27 respectivamente, se procederá al ensamblaje de la matriz de interacciones aplicada a la cultura organizacional de la construcción en el Ecuador. Para ello los 24 principios Lean se dispondrán de manera horizontal definiendo las columnas de la matriz, mientras que las 10 funcionalidades BIM se ubicarán de manera vertical formando las filas. En la Figura 35 se presenta la matriz

de interacciones vacía, donde se observa el formato de la tabla que se utilizará y la disposición de los elementos que la componen.

		PRINCIPIOS LEAN CONSTRUCTION																								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	
FUNCIONALIDADES BIM	I																									
	II																									
	III																									
	IV																									
	V																									
	VI																									
	VII																									
	VIII																									
	IX																									
	X																									

*Figura 35.* Formato de la matriz de interacciones

Fuente: Elaborado por los Autores

El diseño de la matriz de interacción y la disposición de sus elementos fueron predefinidos para que cada principio Lean pueda ser comparado con cada funcionalidad BIM y viceversa; de tal manera que se pueda encontrar y analizar la correlación existente entre los dos conceptos cotejados; bajo esta premisa se pudo evaluar el impacto de cada característica de las funcionalidades BIM en cada principio Lean y se postularon 34 interacciones diferentes.

Parte de estas interacciones se extraen directamente del análisis efectuado de acuerdo a la evidencia emergente de la investigación bibliográfica presentada en secciones anteriores de este trabajo; y otras se infieren a partir del razonamiento empírico de los autores.

En la Figura 36 se ejemplifica la representación de la sinergia entre un principio Lean y una funcionalidad BIM, donde el índice de interacción se ubica en la celda que interseca los elementos comparados.

		PRINCIPIOS LEAN CONSTRUCTION																								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	
FUNCIONALIDADES BIM	I	1																								
	II																									
	III																									
	IV																									
	V																									
	VI																									
	VII																									

		A	B	C
BIM	I	1		
	II			
	III			

Interacción entre el principio A y la funcionalidad I

*Figura 36.* Ejemplificación de una interacción en la matriz  
Fuente: Elaborado por los Autores

De esta manera, en la matriz; se irán ubicando los índices de interacción conforme vayan surgiendo, luego de ejecutar el análisis correspondiente. Dichos índices se enumerarán secuencialmente con números arábigos y dependiendo el caso, las celdas podrán contener uno o más índices lo que indica la existencia de varias interacciones al mismo tiempo entre los agentes involucrados, o a su vez la celda podrá estar vacía lo que evidencia la inexistencia de alguna relación entre los conceptos comparados.

A continuación se presenta la matriz de interacciones en la Tabla 27 donde se han ubicado las 34 relaciones encontradas. La revisión de esta revela una serie de aspectos interesantes que involucran la interacción positiva de funciones BIM y principios Lean. Esto conduce a observaciones y sugerencias para guiar el enfoque de

gestión al implementar Lean y BIM, pero al mismo tiempo provoca una reflexión sobre la comprensión profunda que las empresas pueden necesitar para lograr una interacción positiva en la práctica.

Tabla 27  
 Matriz de interacciones aplicada a la cultura organizacional de la construcción en el Ecuador

		PRINCIPIOS LEAN CONSTRUCTION																								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	
FUNCIONALIDADES BIM	I	1-2											3					4			5	6	4	1		
	II	1		7								8	8		9	33										
	III	10	10	7			11							32				1	12		5					
	IV		13	14												9	5-7-9			12		5			34	
	V	1-2	1	14								4-6							1	1	1	5			1-7	
	VI	15	15									6					4-26				15					
	VII	15		7		16											17	17								
	VIII		18	19						20					32		32						21			
	IX		22	23	24	24			25			31		25									26	27		
	X	2	28	19							29		28	28		28							26		30	

Fuente: Elaborado por los autores

Una vez que se ha planteado la matriz de interacciones se procederá a explicar, en la Tabla 28, cada uno de los índices de interacción postulados:

Tabla 28  
*Explicación de los índices de interacción*

ÍNDICE	EXPLICACIÓN DEL CONTENIDO DE LAS CELDAS
1	Debido a una mejor comprensión del diseño en una etapa temprana y una evaluación funcional basada en los requisitos de rendimiento (como energía, acústica, viento, calor, etc.), el producto final es de mayor calidad y más en línea con los intentos de diseño. Esto reduce la variabilidad introducida por los cambios tardíos generalmente iniciados por el cliente durante la fase de construcción.
2	Debido a que los defectos o partes incompletas se ven o detectan fácilmente en la verificación de conflictos u otra verificación automática, el modelado arquitectónico impone requisitos estrictos a los diseñadores. Esto mejora la calidad del diseño, evita que los diseñadores manipulen y reduce el re-trabajo en el sitio debido a un diseño incompleto.
3	Los sistemas de construcción son cada vez más complejos. Incluso los profesionales capacitados apenas pueden generar modelos mentales precisos basados solo en dibujos. BIM simplifica la tarea de comprender el diseño y ayuda a los planificadores de edificios a lidiar con productos complejos.
4	Dado que todos los aspectos del diseño se registran en el modelo 3D, los clientes pueden entenderlo fácilmente. En la etapa de desarrollo del concepto se puede determinar y comunicar completamente los requisitos. Esto también puede permitir que más partes interesadas del proyecto participen en las decisiones de diseño.
5	Debido a que el objeto del modelo tiene funciones inteligentes incorporadas, se pueden realizar prototipos virtuales y simulación, de modo que los estándares de diseño y construcción se pueden verificar automáticamente, lo que hace que la verificación y confirmación del diseño sean más eficientes.
6	Con BIM, se puede agregar Gemba Kaisen, porque ahora se puede acceder virtualmente al proyecto y al lugar de trabajo. El uso de objetos que contienen información de inteligencia y parámetros es más eficiente para resolver problemas de comunicación entre profesionales y el cliente.
7	La rápida transformación del análisis de rendimiento estructural, térmico y acústico; la estimación de costos; la evaluación de acuerdo con los procedimientos del cliente pueden diseñarse en colaboración para acortar el tiempo del ciclo del diseño arquitectónico y los detalles.

8	BIM proporciona la capacidad de evaluar visualmente el impacto de los cambios de diseño en la construcción, lo que no es posible con los dibujos de ingeniería 2D tradicionales. La operación rápida es una herramienta clave para repetir este tipo de análisis para múltiples alternativas de diseño.
9	Ahora, los equipos interdisciplinarios pueden usar plataformas integradas como Navisworks para trabajar simultáneamente en las primeras etapas para generar múltiples soluciones de diseño. Además, en las etapas posteriores de fabricación / construcción; para cualquier cambio de diseño, los cambios del modelo actualizarán automáticamente otra información relevante, como estimaciones de costos, planes de proyectos, planes de producción, etc.
10	Probar el diseño contra los estándares de rendimiento asegura que el diseño sea adecuado para la función seleccionada, reduciendo así la variabilidad y mejorando el rendimiento del producto final.
11	El uso y la reutilización de modelos de diseño para configurar modelos de análisis (como energía, acústica, viento, calor, etc.) pueden reducir el tiempo de configuración y permitir que se realicen más cambios y análisis más detallados.
12	En la fase de diseño conceptual, una respuesta rápida a las estimaciones de costos de preparación y otras evaluaciones de desempeño puede evaluar múltiples opciones de diseño, incluido el uso de procedimientos de optimización de objetivos múltiples.
13	La extracción automática de la información asociada con el modelo BIM es más precisa porque el error humano es menos probable; por lo tanto, mejora el flujo al reducir la variabilidad. Del mismo modo, cambiar el diseño en una etapa posterior también cambiará el archivo de cantidad vinculada; esto asegurará que la cantidad sea siempre precisa.
14	Utiliza un software con capacidades de integración de modelos (como Navisworks o Tekla) para fusionar modelos, identificar conflictos y resolverlos optimizando iterativamente los diferentes resultados de modelos de temas específicos en instalaciones de campo con pocos errores.
15	En dibujos de ingeniería 2D y conjuntos de especificaciones, el mismo objeto se representa en múltiples ubicaciones. A medida que el diseño progresa y cambia, el operador debe mantener la coherencia entre múltiples representaciones / vistas de información. BIM elimina por completo este problema mediante el uso de una única representación de información, y todos los informes se derivan automáticamente de ella.
16	La generación automatizada de dibujos, especialmente los dibujos de taller, por ejemplo para la fabricación de acero o prefabricados, permite en parte la revisión y la producción en lotes más pequeños porque la información se puede proporcionar a pedido.

17	En comparación con los planos en 2D, la generación automática de planos mejora las capacidades de ingeniería y es una tecnología más confiable porque puede generar conjuntos de planos coordinados adecuadamente.
18	La simulación de eventos repetitivos se puede utilizar para probar y mejorar los procesos de producción, así como ejecutar primeros estudios virtuales, que a menudo son imposibles o poco prácticos en la construcción.
19	La Interacción de este principio y funcionalidad pueden reducir el tiempo de ciclo en el proceso de compilación porque pueden conducir a procedimientos operativos optimizados con menos conflictos.
20	La simulación de procesos constructivos puede revelar detalles de un trabajo desequilibrado y evaluar de manera efectiva la distribución de las actividades para lograr una producción nivelada.
21	La visualización de los horarios propuestos y la visualización de los procesos en curso verifican y validan la información del proceso.
22	El análisis de los procesos constructivos permiten una mayor visualización de las actividades aguas arriba, lo que facilita la reducción de la variabilidad de los caminos a seguir, seleccionando así la alternativa más beneficiosa.
23	Cuando el estado del proceso se visualiza a través del modelo BIM, se pueden realizar una serie de actividades continuas para completar un espacio de construcción, uno tras otro, evitando retrasos innecesarios. Esto permite cumplir tiempos respetando estándares de calidad.
24	La visualización y la gestión en línea del proceso pueden ayudar a implementar estrategias de producción diseñadas para reducir los inventarios de trabajo en proceso y los tamaños de lotes de producción.
25	La visualización del proceso y la comunicación en línea del estado del proceso son elementos clave que permiten al equipo de producción priorizar sus ubicaciones de trabajo en función de sus posibles contribuciones, para garantizar un flujo de trabajo continuo.
26	La visualización de los cronogramas propuestos y la visualización de los procesos en curso verifican y validan la información del proceso.
27	Los gerentes, fiscalizadores y demás involucrados en un determinado proyecto pueden "ver" cada etapa del proyecto casi en tiempo real, esto puede reemplazar la necesidad de ver el proceso directamente en el sitio. Sin embargo, esto no sustituye una verificación o fiscalización realizada presencialmente.
28	BIM proporciona un entorno visual ideal para el proyecto durante las etapas de diseño y construcción, y puede simular métodos de producción, equipos y procesos temporales. El modelado y la animación de la secuencia de construcción en la herramienta "4D" ofrecen una oportunidad única para visualizar el proceso de construcción para identificar conflictos de recursos en el tiempo y el espacio y resolver problemas de contractibilidad. Esto

	optimiza cada actividad al aumentar la eficiencia y la seguridad, y ayuda a identificar cuellos de botella y mejorar los procesos.
29	Se pueden preparar animaciones de producción o secuencias de instalación. Estas guían a los trabajadores sobre cómo trabajar en situaciones específicas y son una excelente manera de garantizar que se sigan los procedimientos estandarizados, especialmente cuando la tasa de rotación de los trabajadores en todas las etapas de la fase de construcción es alta.
30	Estas funciones pueden apoyar y promover la toma de decisiones participativa proporcionando más y mejor información a todo el personal involucrado y ampliando la gama de opciones que se pueden considerar.
31	Donde las interfaces BIM proporcionan un contexto para el informe de estado en tiempo real, la medición del rendimiento se vuelve más precisa y factible. La medición del rendimiento dentro de un sistema donde el trabajo está estandarizado y documentado es fundamental para la mejora del proceso.
32	Cuando el sistema de producción se simplifica a procesos más efectivos, resultan más evidentes encontrar las barreras que impiden tener un mejor rendimiento de las actividades ejecutadas por los proyectistas, por lo que BIM a través de la simulación de procesos puede encontrar el camino más óptimo para llegar al fin esperado.
33	La implantación tecnológica a través de la interfaz BIM permite distribuir las actividades para que se relacionen de forma efectiva, haciendo de los procesos mucho más productivos ya que no presentan interrupciones de actividades innecesarias o alternativas de diseño nada óptimas.
34	La industria de la construcción abarca varias áreas laborales, es así que el equipo de trabajo contiene uno grupo extenso de profesionales y colaboradores, entre ellos los proveedores encargados de proporcionar toda la información de materiales y herramientas necesarias, con la implementación de BIM es posible tener al alcance todos estos recursos en un sistema de manejo de datos compartidos.

Fuente: Elaborado por los autores

#### 5.4.2 ANALISIS DE RESULTADOS

La investigación desarrollada en la tabla de interacciones, arroja 34 puntos convergentes, obtenidos a partir de un análisis metodológico entre los principios Lean y las funcionalidades BIM, que pueden ser utilizados para futuras investigaciones en el sector de la construcción, ya que precisan necesariamente un estudio más profundo para ser encaminados al mejoramiento de la productividad a través de la reducción de desperdicios involucrado en la utilización de la tecnología para el correcto manejo de

procesos, gestión de la información, control de actividades y mejoramiento continuo de la construcción en el Ecuador.

A partir de una profunda investigación de las 24 directrices a implementar con Lean detalladas en la Tabla 24, para combinarlos en puntos convergentes con BIM aplicados a la realidad ecuatoriana, se pudo determinar finalmente que los principios más utilizados en la convergencia tal como se evidencia en la Tabla 27 son: (A) “Obtener calidad desde la primera vez”, (B) “Mejorar la variabilidad del flujo aguas arriba”, (C) “Reducir las duraciones del ciclo de producción”, (U) “Verificar y validar”, dichas filosofías Lean buscan implementar una mayor producción a través de la gestión y control de la calidad en todas las etapas respetando el tiempo programado para obtener un producto final de gran valor.

Para comprender el porqué de la mayor recurrencia de estos principios dentro de la Tabla 27 es necesario detallar las características y la facilidad para ser implantados en el sistema constructivo ecuatoriano. El principio (A) “Obtener calidad desde la primera vez” es una directriz base de Lean que se espera alcanzar en cualquier sector laboral y mucho más en la construcción donde cada proceso se espera que cumpla con un estándar de calidad suficiente para que su actividad predecesora se ejecute de manera efectiva. En una planificación inicial previo al comienzo de un proyecto donde se cuente con toda la información suficiente y necesaria bajo la dirección de la interfaz tecnológica que ofrece BIM se podrá “obtener calidad desde la primera vez” es por ello que se puede relacionar fácilmente este principio con la metodología BIM en diferentes puntos de convergencia.

Para determinar los puntos de interacción que se detallan en la Tabla 27 se trabajó de acuerdo al criterio de los investigadores y la escasa evidencia bibliográfica de estudios anteriores, es así que resulta complejo entender cada evidencia de sinergia entre estas dos herramientas, sin embargo, se hará referencia al principio (A) “Obtener calidad desde la primera vez”, para comprender el porqué de su alta relación con BIM en la construcción ecuatoriana. La funcionalidad nombrada va de la mano de todo proceso

de implementación y es relevante en todas las etapas de un proyecto ya que posterior a la inserción de un nuevo sistema de producción se espera mejorar la industria respetando siempre altos estándares de calidad. El correcto manejo de información junto con una gestión y control de todos los procesos evita la acumulación de errores y permite la optimización del tiempo, para obtener un producto final con la calidad esperada, es por ello que esta directriz se relaciona con varias funcionalidades de BIM, que de igual manera buscan la optimización de las actividades en la construcción.

El principio (B) “Mejorar la variabilidad del flujo aguas arriba”, es una actividad que lleva por convicción facilitar la ejecución de los procesos de manera continua para ello es necesario que los involucrados en la construcción se mantengan en constante comunicación garantizando así la ejecución de procesos posteriores, es allí donde entra la implementación de las funcionalidades y la razón del porqué coinciden en varios puntos de concordancia con BIM. Es así que través de la simulación de procesos, la facilidad para compartir información detallada, el manejo efectivo de los recursos de forma virtual y la actualización de los procesos llevados a cabo en obra, se puede garantizar la variedad de alternativas en el flujo aguas arriba del proceso constructivo.

Con el principio (C) “Reducir las duraciones del ciclo de producción” se espera disminuir costos en la ejecución de proyectos y para ello es imprescindible volver efectiva todas las actividades y ejecutarlas en el tiempo planificado, siendo necesario manejar los recursos disponibles mediante la implementación de este principio Lean con la ayuda que la metodología BIM ofrece, facilitando la gestión de la información en cualquier cambio o avance generado en el proyecto de construcción, a través de un sistema de manejo de información; son estas las razones para que existan varios puntos de interacción entre el principio citado y la variedad de funcionalidades BIM.

La alta recurrencia del principio (U) “Verificar y validar”, en la interacción entre la filosofía Lean y la metodología BIM se debe a que es necesario garantizar una correcta administración y control de proyectos de forma continua a lo largo del proceso de

producción. Mediante la implementación de este principio se espera controlar todas las actividades planificadas y con el uso de las herramientas BIM es posible ejecutar de manera efectiva la gestión y control. En el sistema constructivo tradicional ecuatoriano presenta deficiencias en el manejo de información, dichas falencias se logran suplir efectivamente a través de la convergencia encontrada entre estas dos herramientas.

El estudio realizado a las 10 Funcionalidades BIM en interacción con los principios Lean, permitió entender de forma detallada la importancia de incluir esta metodología para mejorar la productividad en la construcción ecuatoriana, es así que las directrices de mayor concentración en los puntos de convergencia son: (V) “Evaluación de la conformidad al valor del programa/cliente”, (IX) “Visualizaciones de estado de proceso”, (X) “Visualización 4D de programas de construcción”, todas ellas son funcionalidades básicas en la implementación de BIM ya que pretenden a través de la visualización y evaluación de los procesos, garantizar la conformidad de los profesionales y clientes facilitando el manejo de información y datos para culminar con éxito los objetivos planteados en primera instancia previo a comenzar un proyecto.

La Funcionalidad (V) “Evaluación de la conformidad al valor del programa/cliente”, garantiza la conformidad de los usuarios, quienes son muchas veces los encargados de inyectar el capital inicial o pagar por el producto final para el desarrollo de un proyecto y los responsables también de proporcionar los pagos suficientes para la continuidad del proyecto de construcción. BIM proporciona el acceso a la información actualizada de los procesos y avance desarrollado por los constructores en obra, es por ello que se presentan varias interacciones para esta utilidad porque trabaja de forma efectiva en la gestión, control y manejo de datos de obra actualizados.

La Funcionalidad (IX) “Visualizaciones de estado de proceso”, es una funcionalidad representativa de BIM porque a través de la proyección digital de los documentos e información del avance continuo de los procesos permite tener una actualización suficiente y necesaria para saber afrontar cualquier reto que se presente en el camino,

es por ello que resulta imprescindible su interacción con varios aspectos de la filosofía Lean que permita aterrizar el alcance de esta herramienta tan importante para mejorar los procesos constructivos en el Ecuador.

La Funcionalidad (X) “Visualización 4D de programas de construcción” es un fundamento que engloba toda la definición de BIM, ya que a través de la interacción con ciertos aspectos de la filosofía Lean se puede explotar de mejor manera su utilidad. Su implementación en la construcción es fundamental para el manejo de datos y la presentación detallada de los procesos, a diferencia de una herramienta tecnológica esta brinda información completa a través de una simulación 4D del proyecto de construcción y facilita la actualización de los pasos secuenciales ejecutados en obra y permite que los profesionales cuenten con un prototipo dinámico con todas las actividades en la construcción actualizada.

Por otro lado, existe un principio que parece no tener relación con algunos aspectos detallados de BIM como es el (G) “Utilizar equipos polivalentes”. Tener poca interacción no quiere decir que se imposibilite su aplicación para el mejoramiento de la construcción, siempre que un principio consiga una interacción de forma efectiva con otra funcionalidad, sin embargo la interacción de esta directriz con BIM resulta nada eficiente para el mejoramiento en la realidad ecuatoriana, donde incluir equipos de trabajo polivalentes puede retrasar las actividades ejecutadas en obra así como la efectividad al momento de llevar a cabo ciertos procesos, por lo que la aplicación de éste principio no es una alternativa para mejorar la productividad en el sector de la construcción en Ecuador.

En el análisis de las funcionalidades BIM que evidencian una baja cantidad de interacción con los principios Lean se puede nombrar a las siguientes: (VI) “Fuente de información única” y (VII) “Generación automatizada de planos y documentos”, que aunque aparentemente presentan pocos puntos de interacción, la importancia de su aplicación es muy amplia debido a que a través del uso de BIM se puede aumentar el inventario de datos así como la cantidad de información que se maneja respecto al

avance del proyecto en un flujo de información continua. La complejidad técnica de sus herramientas, su implementación y administración, pueden ocasionar a la larga un proceso complicado e inestable, por lo que si su aplicación no está lo suficientemente madura o el operador no ejecuta correctamente el proceso podría resultar una desventaja más que una utilidad, es así que su posible interacción con Lean en la realidad ecuatoriana depende en mucho de la experiencia de los involucrados en la construcción.

La aplicación o no de estas herramientas metodológicas requiere un posterior análisis no únicamente basado en las conclusiones obtenidas a través de este cuadro de interacciones, ya que la implementación de cada principio o funcionalidad dependerá también en gran parte de la situación económica del entorno laboral así como las facilidades al acceso tecnológico y la capacidad que tengan las empresas para responder positivamente al cambio ya que si bien se pudieron haber excluido otros aspectos en este estudio, muchos principios pueden presentar ciertas características que destaquen en un área específica, es decir, no necesariamente presentar una interacción con BIM los excluye de esta o futuras investigaciones sino que de acuerdo a la necesidad laboral pueden ser usadas por separado y de forma directa para el mejoramiento de la construcción en el Ecuador.

Finalmente y posterior al cuadro de interacciones se presenta la Tabla 28 donde se evidencia todas las definiciones proporcionadas para cada punto de interacción y la directriz a seguir dentro del marco de la cultura organizacional de la construcción ecuatoriana; y tal como se mencionó en párrafos anteriores surgieron de acuerdo a investigaciones obtenidas en las fuentes bibliográficas y argumentada con el razonamiento empírico de los autores. Por lo que las 34 interacciones son candidatas a verificación o contradicción a través de la experimentación, estas áreas son un terreno potencialmente fértil para futuras investigaciones.

## **CAPÍTULO 6.**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 CONCLUSIONES**

##### **6.1.1 IMPORTANCIA DE LA ADOPCIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN Y LA METODOLOGÍA BIM**

- En un escenario donde la economía se encuentra vulnerable debido a la emergencia sanitaria por la que está pasando el país y donde los recursos se vuelven escasos, la implementación de nuevas filosofías y metodologías, como Lean Construction y BIM respectivamente, se hace indispensable. Las empresas que logren la implementación de estos conceptos dentro de su organización conseguirán producir efectivamente en el tiempo esperado, y con los mismos recursos. Estas herramientas se aplican en la organización en cada etapa del proceso de producción, ajustando plazos y tiempos para mejorar la calidad y cumplir con los plazos establecidos.
- La implantación de la filosofía Lean busca eliminar los procesos operativos innecesarios, esto ofrecerá garantía, seguridad y rentabilidad a los proyectos otorgándoles alta plusvalía y en un período de vida operativa suficiente y extensa. La adopción de la filosofía Lean ha permitido que las empresas mejoren su productividad, y adquieran eficiencia en la ejecución de procesos de la construcción, cubriendo a lo largo de su vida operativa todos sus compromisos profesionales manteniendo así su buena reputación y consecuente liderazgo.
- BIM es una metodología que ordena personas, procesos y herramientas en un ambiente simultáneo, sinérgico y colaborativo, que debe garantizar la integración y comunicación entre actores técnicos y no técnicos, de modo que se pueda crear y administrar información real, coordinada y confiable, para que

se pueda visualizar el diseño, predecir eventos con precisión y tomar decisiones de manera anticipada. Hoy en día gracias a esta metodología, los profesionales de la construcción han podido simplificar sus sistemas de trabajo y consecuentemente aumentar la productividad, creando proyectos de mayor calidad y obteniendo ventajas. Por lo tanto la adopción del BIM viene siendo, antes que un gasto, una inversión que vale la pena efectuarla debido a las ventajas que esta brinda.

- Metodológicamente, la investigación llevada a cabo en este proyecto de tesis también ha permitido determinar los problemas que comúnmente se presentan en la construcción tradicional ecuatoriana donde el uso de tecnología se limita principalmente a la utilización de software que no permiten un trabajo colaborativo entre los actores del proyecto. Y una filosofía de trabajo desordenado con bajos índices productivos que predomina en la cultura organizacional ecuatoriana.

### **6.1.2 INTERACCIÓN ENTRE PRINCIPIOS LEAN Y FUNCIONALIDADES BIM**

- En la revisión de la literatura presentada en el marco teórico de este documento, se definió los conceptos y características que engloban tanto a la filosofía Lean Construction como a la metodología BIM; en base a esto ha sido posible realizar un análisis comparativo obteniendo como resultado la interacción entre los principios de la filosofía Lean y las funcionalidades de la metodología BIM aplicados de acuerdo a la cultura organizacional ecuatoriana.
- A partir del análisis de los principios Lean y la vinculación con las funcionalidades BIM se obtuvo 34 interacciones diferentes, como se observa en la Tabla 27, la correcta aplicación de estas interacciones garantiza una disminución de la incertidumbre en la ejecución de las tareas, mejorando la confiabilidad y flujo de información a través de actores técnicos y no técnicos.

- Por otro lado, el análisis comparativo también puede servir para comprender los problemas prácticos que enfrentan las empresas que implementan BIM y/o Lean. La amplitud y profundidad de sus interrelaciones significa que cualquier empresa o proyecto que aplique Lean debería considerar seriamente usar BIM para mejorar sus resultados. Por el contrario, cualquier empresa o proyecto que implemente BIM debe asegurarse de que su proceso de adopción contribuya en la mayor medida posible a hacer que sus procesos sean más ágiles.
- Las 34 interacciones postuladas para su aplicación dentro del contexto de la cultura organizacional de la construcción ecuatoriana se construyen en un área poco explorada pero que su correcta aplicación podrían generar grandes resultados de productividad. Bajo esta premisa, dichas interacciones son candidatas a verificación o contradicción a través de la experimentación, con esto se busca incentivar la investigación en estas áreas que son un terreno potencialmente fértil para futuros trabajos de titulación o a su vez en publicaciones científicas.
- Como resultado de este trabajo de investigación, se puede concluir que la mayoría de las empresas y profesionales que conforman la industria de la construcción en el Ecuador, todavía se encuentran en la curva de aprendizaje, por lo que la adopción simultánea de Lean y BIM probablemente tardará un tiempo en ser una realidad y se ejecutará de manera progresiva.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

- Para implementar cambios y sugerencias de mejora a través de la aplicación de Lean Construction y BIM, primero se deberá estudiar y comprender el sistema y la cultura poblacional; y posteriormente de la empresa donde se trabajará. Consecuentemente el proceso de implementación de los métodos de mejora deberán ser graduales, no de manera repentina, debido a que tales cambios a menudo traen confusión y resistencia entre los colaboradores.

- Es necesario un cambio de pensamiento y la innovación tecnológica entre todos los profesionales e involucrados de la construcción, por ello es recomendable la aplicación de las 34 interacciones obtenidas en este proyecto de tesis para hacer de las actividades constructivas, acciones mucho más productivas a lo largo de todas las etapas de un proyecto, y acorde a las características que presenten las diferentes empresas en el sector constructivo. Sin embargo este análisis metodológico resulta pionero en esta área, por lo que es necesario tomar como base de investigación para futuros estudios y posterior aplicación.
- Para la aplicación de los resultados obtenidos en este proyecto de tesis es recomendable realizar un análisis profundo a las características fundamentales de la empresa, ya que la factibilidad para que una empresa incluya dichas conclusiones, dependerá de la situación económica del país, la innovación tecnológica, las dependencias con otras industrias y la estructura organizacional de la empresa.
- Finalmente se recomienda a las instituciones de educación superior, ya sean públicas o privadas, que se fomente la enseñanza de metodologías y filosofías, como lo son BIM y Lean, en la formación de pregrado mediante la modificación e implementación de estos temas dentro de la malla curricular del estudiante.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Alarcón, L. F., & Sven, D. (2002). Organizándose para implementar prácticas Lean en empresas constructoras. *Ingeniería de la construcción*, 54-59.
- Andrade García, V. L., & Coba Rodriguez, P. D. (2013). *Análisis de desperdicios en la fase constructiva de un edificio y propuestas de reducción*. QUITO.
- Avila, A. M. (2015). *Analisis de Proyectos de Construccion*. Madrid: Elearning SL.
- Baquero, M. A. (2007). *Gerencia de Proyectos de Construccion Inmobiliaria*. Bogota.
- Bermudez Barrezueta, N., Camino Mogro, S., & Chalen Vera, A. (2018). *Productividad en la industria ecuatoriana de la construcción período 2013-2017*. Quito: Superintendencia de compañías, valores y seguros.
- Bernal, S. (2018). La Verdadera Historia de BIM. *Construmática*.
- BIM community*. (8 de marzo de 2018). Obtenido de <https://www.bimcommunity.com/news/load/667/bim-in-latin-america>
- Brioso, J., & Wilder, P. (2017). Identificación y evaluación del grado de satisfacción en la etapa post ocupación de los proyectos de viviendas económicas desde la perspectiva del los usuarios: estudio de caso peruano. *Anales de Edificación*, 18-19.
- Campero, M., & Alarcón, L. (2014). *Administración de Proyectos Civiles*. Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Cantó Carpetano, L. (2017). *Propuesta de Implantación BIM basada en la Sinergia BIM-Lean Construction*. Alicante: Escuela Politécnica Superior.
- Carlos, V. A. (2006). *El "Lean Desing" y sus aplicaciones a los proyectos de edificación*. Lima.
- Castillo, V. G. (2016). *Innovacion Tecnologica en la Construccion ahora es cuando*. Lima.

- Castro, J., & Pajares, J. (2014). *Propuesta e implementación de sectorización y trenes de trabajo para acabados interiores bajo la filosofía Lean Construction, en obras de construcción de viviendas masivas*. Lima.
- Castro, R. (2016). *Incorporación de Metodología BIM en la Gestión Integrada de Proyectos*. Madrid.
- Crespo, M. W. (2015). *Mejora de la Productividad en la construcción de edificaciones en la ciudad de Quito, aplicando Lean Construction*. Quito: Tesis-Universidad Central del Ecuador.
- Despradel, I., López, J., Oliver, C., & Guerrero, C. (2011). Lean Construction: Implicaciones en el uso de una nueva filosofía, con miras a una mejor administración de proyectos de Ingeniería Civil en República Dominicana. *Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology* , 2-3.
- Díaz, J. (2 de mayo de 2015). *¿Qué es un proyecto de urbanización?* Obtenido de [http://www.lis.edu.es/uploads/0be23202\\_e191\\_465a\\_a871\\_bb0a8d73ed8d.pdf](http://www.lis.edu.es/uploads/0be23202_e191_465a_a871_bb0a8d73ed8d.pdf)
- Duque, J. (Septiembre de 2017). *BIM Canal*. Obtenido de <https://cseengineermag.com/article/bim-canal/>
- Galgano, A. (2004). *Las Tres Revoluciones*. Madrid: Díaz de Santos .
- Gallosa, G. M. (2017). *Optimizando los proyectos de Construcción empleando BIM y LEAN Construction*. Lima: Procedia Engineering.
- González Guamán, F. P. (2014). *Beneficios de la Coordinación de Proyectos BIM en edificios habitacionales*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- Granados Orellanos, B. (2011). *Implementación de la Metodología Lean Construction para Actividades de Estructura del Proyecto Natura del Consorcio Campo Empresarial Campestre*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

- Guamán Sanaguano , R. E. (2018). *La Filosofía Lean aplicada en la gerencia de proyectos para construcciones viales*. Quito.
- Guzmán, A. (2014). *Aplicación de la Filosofía Lean Construction en la Planificación, Programación, Ejecución y Control de Proyectos* . Lima.
- Jones, D., & Womack, J. (2003). *Lean Thinking*. Londres : Gestión 2000.
- Mamani, A. P. (2015). *Propuesta Metodologica para la mejora de la planificacion, programacion y control de obras de construccion aplicando la interaccion de las herramientas de Lean Construction y Building Information Modeling(BIM)*. Tacna.
- Maya Santacruz, L. F. (2018). *Análisis de viabilidad para la implementación de metodologías y procesos Building Information Modeling en proyectos de ingeniería y construcción en el Ecuador*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- MDAP. (15 de agosto de 2018). *Módulo 3: Planificación del proyecto*. Obtenido de <https://uv-mdap.com/programa-desarrollado/bloque-i-el-ciclo-de-vida-del-proyecto/modulo-3-planificacion-del-proyecto/>
- Merizalde, R. (2017). *Análisis de la evolución del sector de la construcción en el Ecuador en el período 2010 – 2016 y sus efectos en la economía nacional*. Sanborondon.
- Merrit, F., & Ricketts, J. (1997). *Manual integral para diseño y construcción. Quinta edición (Tomo 4)*. New York: Mc. Graw Hill.
- Morales Molina, S. (2018). *Adopción de la metodología BIM en las escuelas de arquitectura en Quito*. Quito: Universidad Internacional SEK.
- OBS Business School. (10 de enero de 2020). *¿Qué es un Diagrama de Gantt y para qué sirve?* Obtenido de <https://obsbusiness.school/es/blog-project-management/diagramas-de-gantt/que-es-un-diagrama-de-gantt-y-para-que-sirve>

- Ordóñez Núñez, J. C. (2017). Metodología Lean Construction hacia una edificación eficiente. *Revista tecnológica*, 26-27.
- Peralta, V. (2015). *Características de la Industria de la Construcción*. Santiago de Chile.
- Pons Achell, J. F. (2014). *Introducción a Lean Construction*. Madrid: Fundación Laboral de la Construcción.
- Porras Díaz, H., Sánchez Rivera, O., & Galvis Guerra, J. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. *Investigación en la Ingeniería*, 45-46.
- Ralph, E. V. (2015). *Potenciando la capacidad de análisis y comunicación de los proyectos de construcción, mediante herramientas virtuales*. Lima.
- Rodríguez, F. (2018). Retos para Implementar el Last Planner System. *LEAN BIM Construction Community*.
- Rojas López, M. D., Henao Grajales, M., & Valencia Corrales, M. E. (2016). Lean Construction bajo pensamiento Lean. *Ingenirías Universidad de Medellín*, 125.
- Sacks, Raphael; Koskela, Lauri; Bhargay, Dave; Owen, Roberth. (20 de september de 2010). *Interaction of LEAN and BUILDING information modelling in construction*.
- Serpell, A. (2002). *Administración de Operaciones de Construcción*. Santiago de Chile: Alfaomega.
- Serpell, A. (2015). *Planificación y Control de Proyectos*. Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.
- Sierra Aponte, L. X. (2016). *Gestión de proyectos de construcción con metodología BIM "Building information Modeling"*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.

- SINNAPS. (9 de mayo de 2015). *¿Qué es un diagrama de Gantt y para qué sirve?* Obtenido de <https://www.sinnaps.com/blog-gestion-proyectos/diagrama-gantt-sirve>
- SINNAPS. (10 de junio de 2018). *Diagrama de Pert*. Obtenido de <https://www.sinnaps.com/blog-gestion-proyectos/diagrama-de-pert>
- Slide Share. (18 de junio de 2015). *Fases para la formulación de proyectos*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/braherna/fases-para-la-formulacin-de-proyectos-de-investigacin>
- Soler Severino, M., Pelliser Armiñana , E., & Álvarex Pérez , M. Á. (2017). Los métodos colaborativos (integrated project delivery), una metodología Lean Construction que mejora el proceso constructivo. *Segundo congreso internacional de innovación tecnológica en edificación* (pág. 10). Madrid: Cite.
- Tapia, M. (2016). Introducción al BIM y contexto actual del BIM en Ecuador. *Zigurat Global Institute of Technology*. Quito.
- Tejeda, A. (2011). *Mejoras de LEAN Manufacturing en los Sistemas Productivos*. Santo Domingo Republica Dominicana.
- Terrazas, R. (2016). *Planificación y programación de operaciones*. La Paz.
- Tipán Jarrín, G. (2018). *Incidencia de variables de caracterización de cultura organizacional en la filosofía LEAN construction para pequeñas y medianas empresas constructoras en el Ecuador*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Universidad de Barcelona. (6 de enero de 2020). *Ventajas e inconvenientes del diagrama de Gantt*. Obtenido de <https://obsbusiness.school/int/blog-project-management/diagramas-de-gantt/ventajas-e-inconvenientes-del-diagrama-de-gantt>

Vascones Gabica, B. C., & Villena Izurieta , N. P. (2018). *La industria de la construcción: su participación en el PIB TOTAL del Ecuador durante el período 2012-2016*. Quito: Revista Espacios.

Vascones, B. (2017). *La Industria de la Construcción: su particpiacion en el PIB total del Ecuador durante el periodo 2012-2016*. Quito: Revista Espacios.

Yandun, H. (Dia de Noviembre de 2018). El optimismo retorna al sector constructor.  
(R. Quito, Entrevistador)