

PROPUESTA DE MEJORA DEL PROCESO DE GESTIÓN DE PRODUCCION DE
PROYECTOS DE CONSTRUCCION DE OBRA PUBLICA
CASO DE ESTUDIO: PRODECON S.A



PRESENTADO POR:

María Lourdes Castaño Botero

Código: 201010038

Juan David Carabalí Góngora

Código: 201330700

PROYECTO DE GRADO

DIRECTOR:

PhD. Sandra Liliana Cano Moya

UNIVERSIDAD DEL VALLE – SEDE CALI
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADEMICO DE INGENIERIA CIVIL
SANTIAGO DE CALI
2020

Contenido

RESUMEN	5
INTRODUCCIÓN	6
1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	7
1.1. Descripción del Problema	7
1.1.1. Contextualización del Problema.....	7
1.1.2. Lo que Sucede en la Empresa PRODECON S.A.	9
1.2. Formulación de la Pregunta de Investigación	9
1.3. Objetivos	9
1.3.1. General	9
1.3.2. Específicos.....	9
1.4. Justificación.....	10
2. CONTEXTO TEÓRICO DE REFERENCIA	12
2.1. Antecedentes	12
2.2. Contexto Teórico.....	14
2.2.1. Value Stream Mapping (VSM)	14
2.2.2. Dinámica de Sistemas	15
2.2.2.1. Pasos para construir un modelo dinámico.....	15
2.2.2.1.1. Diagrama de Influencias.....	16
2.2.2.1.2. Diagrama de Forrester	16
2.2.2.1.3. Validación del Modelo	17
2.2.2.1.4. Simulación del Modelo	17
2.2.2.1.5. Planteamiento y Análisis de Escenarios de Simulación.....	17
2.2.3. Lean Construction	18
2.2.3.1. Producción Lean, sus Principios y Mapeo de los Flujos de Valor	18
2.2.3.2. Concepto de productividad en la construcción.....	19
2.2.3.3. Procesos de producción	20
2.2.3.4. Diferencia entre la producción Lean y la tradicional.	20
2.2.3.5. Nuevo modelo de producción para la construcción.	21
2.2.3.6. Estado actual.....	22
2.2.3.7. Experiencia en Colombia	22
3. METODOLOGÍA	24
4. MARCO CONTEXTUAL	27
4.1. Logo.....	27

4.2.	Reseña Histórica.....	27
4.3.	Misión.....	27
4.4.	Visión	27
4.5.	Portafolio de Servicios	28
4.6.	Organigrama Institucional.....	28
4.7.	Cadena de Valor de Prodecon S.A.	29
5.	DESARROLLO DEL PROYECTO.....	29
5.1.	Caso de Estudio	29
5.1.1.	Situación Actual	29
5.1.2.	El Proceso.....	33
5.2.	Mapa del Estado Actual	35
5.3.	Interrelaciones entre los Factores y Variables del Proceso de Gestión De Producción de Proyectos de Construcción de Obra Pública	40
5.4.	Mapa del Problema.....	42
5.5.	Análisis Estructural del Problema	43
5.5.1.	Procesos Propios y Complementarios:	43
5.5.2.	Ajustes durante el proyecto:	43
5.5.3.	Disponibilidad de Recursos:.....	44
5.6.	Intervención del Sistema	45
5.6.1.	Intervención en Procesos Propios y Complementarios:	45
5.6.2.	Intervención en Ajustes durante el proyecto:	45
5.6.3.	Intervención en Disponibilidad de Recursos:.....	46
5.7.	MODELO DINÁMICO	46
5.7.1.	Factores del Problema	47
5.7.2.	Validación del Modelo	50
6.	RESULTADOS	51
6.1.	Formulación y Simulación de Escenarios	51
6.2.	MODELO DEL ESTADO FUTURO	56
7.	CONCLUSIONES.....	57
	Bibliografía	59

Lista de Tablas

Tabla 1 Productividad Flujo / Valor.....	20
Tabla 2 Produccion Tradicional Vs Filosofia Lean	21
Tabla 3 Objetivos Metodológicos por Fases	25

Tabla 4 Resultados de Simulación de Escenarios	51
Tabla 5 Resultados de Simulación de Escenarios con resultados normalizados.....	51

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1 Distribución del tiempo laborado en Colombia	8
Ilustración 2 Planificación Usual	9
Ilustración 3 Logo Prodecon S.A.	27
Ilustración 4 Organigrama de la empresa en estudio	28
Ilustración 5 Cadena de Valor PRODECON S.A.	29
Ilustración 6 Mapa del Flujo de Valor Vertical (VSM)	37
Ilustración 7 Mapa del Flujo de Valor Horizontal (VSM)	38

Lista de Graficas

Grafico 1 Diagrama Causal o de Interrelaciones	40
Grafico 2 Mapa del Problema	42
Grafico 3 Tiempo de los proyectos (modelo del estado actual).....	47
Grafico 4 Diagrama de Forrester.....	49
Grafico 5 Eficiencia de la Utilidad.....	50
Grafico 6 Tiempo de los proyectos de los 7 escenarios simulados.	53
Grafico 7 Eficiencia de la Utilidad de los 7 escenarios simulados.	53
Grafico 8 Modelo del Estado futuro simulado con el escenario 5	56

RESUMEN

La industria de la construcción es sin duda una parte muy importante de la economía del país y la aplicación de los nuevos enfoques en la gestión de sus proyectos, se visualiza como una gran oportunidad para que este sector tenga unos mejores niveles de eficiencia que beneficiarían a largo plazo la economía nacional.

El objetivo principal de este trabajo ha sido el desarrollo de una estrategia que ayude a la mejora del proceso de gestión de producción de proyectos de construcción de obra pública que desarrolla la empresa PRODECON S.A. Para ello se analizó el estado actual de la organización, realizando un mapeo de los procesos y actores en los proyectos, luego de tener la información de cómo funciona la empresa, se elaboraron alternativas de intervención basadas en la filosofía Lean Construction, las cuales están encaminadas para hacer que el proceso sea más eficiente. Con la ayuda de la dinámica de sistemas se modeló el estado futuro de la empresa aplicando los cambios propuestos en las alternativas, y de esta manera se eligió la más adecuada.

Este trabajo ha generado una propuesta para el mejoramiento del proceso de gestión de producción de proyectos de construcción de obra pública en el caso de estudio, reduciendo los desperdicios y aumentando el valor en la cadena.

Palabras clave: Construcción, obra pública, producción de proyectos, Lean Construction, VSM, value stream mapping, Sipoc Z, cadena de valor, mapa de flujo de valor, mapa de flujo de procesos, dinámica de sistemas, diagrama de influencias, diagrama de forrester.

INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción es una parte importante del aparato económico de un país, por tanto, la verificación de los nuevos sistemas de gestión que se implementan en las principales industrias constructoras del mundo y en donde se obtienen excelentes resultados, merece especial atención. (Porrás Díaz, Sánchez Rivera, & Galvis Guerra, 2014).

Este trabajo pretende desarrollar una estrategia de mejora en el proceso de gestión de producción de proyectos de construcción de obra pública en la empresa PRODECON S.A., con esto se busca beneficiar a la empresa en términos de eficiencia y control en los procesos de gestión, lo cual conllevará a una mejora en la ejecución de proyectos de obra pública.

Este proyecto se ejecutó a partir de la observación y evaluación del proceso de gestión de producción de proyectos de construcción de obra pública desarrollados por la empresa PRODECON S.A., bajo los interrogantes de: ¿Cómo se puede mejorar el proceso? Y ¿Qué estrategia es la más adecuada para lograr la mejora? Para esto, en el documento se describe la problemática de la ineficiencia en la producción de proyectos de construcción de obra pública, enfatizándose en el proceso de gestión de estos mismos y además se contextualiza el problema citando autores que ya lo han trabajado y abordado utilizando principalmente filosofía de producción sin pérdidas (Lean Construction). Adicional a esto, se pretende desarrollar un modelo dinámico (con la ayuda de la Dinámica de Sistemas) que describa el comportamiento de la empresa al momento de gestionar la producción de proyectos de construcción de obra pública, a partir del cual se podrá evaluar el estado actual de la organización y se identificarán posibles estrategias de mejora, las cuales serán evaluadas en un modelo del estado futuro de la empresa si se aplicaran estrategias de mejoras desarrolladas a partir de la filosofía Lean Construction.

Este documento se ha estructurado, comenzando con el planteamiento del problema, en el cual se le presta especial atención a la ineficiencia en la producción de proyectos de obra pública, enfatizándose en el proceso de gestión de estos mismos; se hace una contextualización y se citan trabajos en los cuales se ha identificado este mismo problema y que buscan solucionarlo a través de principios metodológicos y filosofía de producción sin pérdidas, por último se realiza una descripción de lo que sucede particularmente en la empresa del caso de estudio. Luego está la formulación de la pregunta de investigación, en la que se pregunta cómo se puede desarrollar una estrategia para mejorar el proceso de gestión de producción de proyectos de construcción de obra pública. Después se presenta el objetivo general, que es esencialmente, estructurar una estrategia de mejora del proceso de gestión de producción de proyectos de construcción de obra pública en la empresa, y los objetivos específicos necesarios para cumplir con el general. En la justificación, se describe que la empresa del caso de estudio sufre algunos problemas de ineficiencia que no han sido solucionados o abordados adecuadamente, por esto se ve necesario un estudio que identifique estas ineficiencias y que genere una alternativa de mejora del proceso. Para el desarrollo del proyecto se ejecutaron los objetivos específicos por capítulos.

1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema

El problema que se abordó es la ineficiencia en la gestión de proyectos de obra pública, desde la visual de una empresa contratista, PRODECON S.A., que gestiona los proyectos de una manera tradicional, es decir, no implementa métodos científicos de administración o principios de optimización de procesos.

1.1.1. Contextualización del Problema

La capacidad de generar empleo, el aporte al crecimiento económico, la articulación con las políticas públicas en materia de vivienda e infraestructura y el amplio efecto de tracción sobre el aparato productivo industrial y comercial del país, han hecho de la construcción un foco de inversión pública y privada, y se ha convertido en uno de los pilares del desarrollo nacional. Siendo uno de los sectores que más afectan a las variaciones en el PIB nacional ya que existe una estrecha relación entre el comportamiento del sector de la construcción y la dinámica económica de un país (SENA; CAMACOL, 2015)¹.

Según cifras reveladas en el año 2005, más del 70% de los proyectos de construcción que se realizan en Colombia incumplen su cronograma de ejecución, el 85% de estos tienen sobrecostos en el proceso constructivo y el 63,4% de los proyectos se produce accidentabilidad por el no cumplimiento de las normas de Seguridad Industrial (CAMACOL, 2005).

La industria de la construcción se ha caracterizado por contar con paradigmas muy arraigados en sus procesos de gestión, diseño y construcción, lo que hace que se perpetúen procesos de producción ad-hoc para el desarrollo del proyecto. Estos procesos constituyen la forma tradicional de desarrollar el proyecto de construcción con todas sus ineficiencias, que muestran en general una baja productividad, problemas en la calidad, pobres condiciones de trabajo y seguridad industrial (Botero Botero & Álvarez Villa, 2003). Lo anterior lleva a que el valor captado en el proyecto no sea muchas veces el esperado por el cliente y conlleva además a la generación de desperdicios en la cadena de valor del proyecto.

El tiempo de trabajo en una obra se divide en:

Trabajo productivo: es el tiempo empleado por el trabajador en la producción de alguna unidad de construcción.

Trabajo contributivo: es el tiempo que emplea el trabajador realizando labores de apoyo necesarias para que se ejecuten las actividades productivas.

Trabajo no contributivo: se define como cualquier otra actividad que no aporta nada al desarrollo de la actividad de construcción (Botero Botero & Álvarez Villa, 2003).

¹ Los derechos de realización de ese proyecto de investigación corresponden al SENA Y CAMACOL. Dicho estudio no podrá ser utilizado sin la debida autorización del SENA, y CAMACOL puesto que la información de ese estudio es exclusiva de sus autores.

Según Luis F. Botero (2014), el tiempo de trabajo en Colombia se distribuye como muestra la ilustración 1, en esta se puede observar que la suma entre el tiempo contributivo y no contributivo supera el tiempo productivo en obra, dejando en evidencia los regulares índices de productividad que se dan en el país.

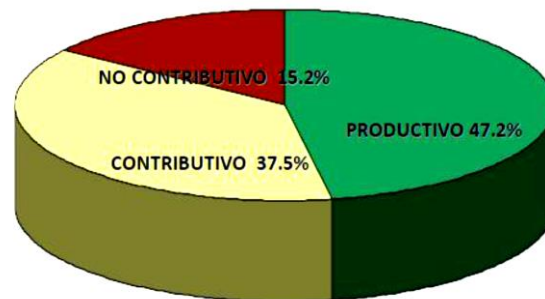


Ilustración 1 Distribución del tiempo laborado en Colombia

Fuente: Identificación y eliminación de pérdidas en los proyectos de construcción, (BOTERO, 2014).

El éxito de la gestión económica, la sostenibilidad de las empresas constructoras privadas, y en particular la rentabilidad, depende en gran medida de una correcta planeación, una buena administración de los recursos, la optimización en materia de costos, el conocimiento de los márgenes de rentabilidad de los factores productivos y la administración de tiempos e imprevistos en la ejecución de las obras, máxime cuando éstas suelen ejecutarse por contratos de tracto sucesivo y están expuestas a variaciones de los precios de los insumos, mano de obra y tasas de interés. Además, las obras públicas en Colombia son especialmente susceptibles a ser ineficientes, debido a la falta de planeación, corrupción o abandono (Redacción el Tiempo, 2016). Las cifras de obras públicas que no terminan a tiempo o que no se entregan debido a una mala administración de los recursos y de unos cronogramas de ejecución poco realistas, han marcado de manera negativa al país durante muchos años.

Según (ALARCON, 2009) los tres estados teóricos de la planificación son: lo que se debe hacer, lo que se hará y finalmente lo que se puede hacer en obra, esto se muestra a continuación en la ilustración 2. Esto representa claramente cómo es la planificación tradicional en la industria de la construcción.



Ilustración 2 Planificación Usual

Fuente: “Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas”, (Alarcón, 2009).

1.1.2. Lo que Sucede en la Empresa PRODECON S.A.

A través de una entrevista realizada al gerente de PRODECON S.A., se confirmó que la empresa gestiona sus proyectos de manera tradicional, sin aplicar algún método de administración científico o algún principio de optimización. Los proyectos se enfrentan a medida que van llegando y se hace una planificación para cada uno en el momento, sin usar estándares de producción.

La empresa ha venido avanzando en la organización de sus proyectos, pero aún no cuenta con un método que les permita altos niveles de productividad para la empresa y, a la hora de entregar sus proyectos, no logran entender a fondo si se pudieron optimizar los recursos, es decir, no se sabe si algunas actividades se pudieron realizar en menor tiempo, con menores costos y recursos y con mayor calidad, disminuyendo desperdicios. En este sentido, no se puede entender cuál fue realmente el valor agregado para el cliente.

1.2. Formulación de la Pregunta de Investigación

¿Cómo desarrollar una estrategia para mejorar el proceso de gestión de producción de proyectos de construcción de obra pública en la empresa PRODECON S.A., empleando un enfoque de relaciones sistémicas y haciendo uso de la Filosofía Lean Construction?

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Estructurar una estrategia de mejora del proceso de gestión de producción de proyectos de construcción de obra pública en la empresa PRODECON S.A. a partir del estudio de las relaciones entre los elementos del proceso mediante un estudio de caso.

1.3.2. Específicos

- Estudiar el proceso de gestión de producción de proyectos de construcción de obra pública con base en las actividades de una empresa constructora, para identificar los elementos que los conforman.
- Establecer las relaciones causales entre los elementos que conforman el proceso de producción de proyectos con el fin de modelar la situación actual para en una siguiente etapa integrar situaciones que permitan mejoras.
- Simular alternativas de intervención para direccionar un plan de acción de mejoras con las que se estructura la estrategia de intervención.

1.4. Justificación

La apertura económica actual gestada por la dinámica de la globalización ha incrementado la competencia para las compañías colombianas en estos últimos años. En efecto, esto tiende a reducir su rentabilidad, siempre y cuando no hayan adoptado estrategias apropiadas para enfrentarla. El sector de la construcción no es ajeno a esta situación y más cuando su incidencia tiene una gran importancia en la economía de un país como Colombia, pues en él se integran varios sectores económicos y este es uno de los más importantes y de los que jalona la economía.

De acuerdo a los autores Rubiano & Cano (2013), en la industria de la construcción se hace necesario disponer de herramientas que ayuden a una adecuada gestión de todos los recursos que están involucrados en su proceso productivo, pues es muy común que se presenten características no deseadas que afectan la eficiencia y productividad, como son: el exceso de actividades desperdiciadoras de recursos, planificación y gestión deficiente, fragmentación del proyecto con fases altamente diferenciadas, acciones de mejora limitadas, bajo nivel de investigación y desarrollo, afectación del clima organizacional por el trabajo bajo presión y pocos incentivos, desarrollo del sector con base en la experiencia. Adicionalmente, en el sector público se presentan procesos de contratación que en muchos casos promueven problemas legales que afectan la ejecución de los proyectos, una limitada capacidad de contratación de las firmas constructoras, corrupción, entre otras. Esto último afecta directamente la empresa PRODECON S.A., pues la mayoría de sus contratos son de obra pública y están condicionados por la dinámica de la contratación estatal en Colombia.

Rubiano & Cano, 2013, describen un proyecto exitoso como aquel que se entrega a tiempo, con la calidad y costos prometidos inicialmente. En muchos proyectos privados, y sobre todo en proyectos públicos, se pueden presentar situaciones que generan problemas y que hacen que la gestión de producción de proyectos de construcción tradicional (ad hoc), necesite una revisión y un cambio urgente. Dentro de estas situaciones se puede mencionar: falta de maduración de los diseños o bajo nivel de constructabilidad en estos, especificaciones y detalles constructivos de poca calidad, flujo intermitente de recursos, exceso de controles, revisiones y autorizaciones, reproceso en diseños y de trabajos en obra, contratistas y consultores con pobre calificación,

procesos de contratación largos y engorrosos, tramites interminables para la formalización de los contratos de obra, etc. (Rubiano & Cano, 2013).

Entendiendo este contexto se pretende beneficiar con esta información a una empresa constructora de la ciudad de Cali (PRODECON S.A.), que ejecuta proyectos de obra pública, en los cuales se ha encontrado con múltiples y repetitivos problemas a lo largo de su ejecución, generándole pérdidas económicas y algunas veces inconformidad del cliente en cuanto a tiempos de entrega. Por tratarse de proyectos de obra pública su forma de contratación obedece, en su mayoría, a licitaciones públicas. El proceso de esta forma de contratación se enmarca dentro de unos plazos legales para cumplir con los requisitos de participación. Estos plazos algunas veces son muy cortos y la empresa no cuenta con un proceso que estudie minuciosamente el proyecto e identifique posibles problemas, que puedan representar atrasos y pérdidas para la empresa y que le permita tomar una correcta decisión a tiempo. Adicionalmente, algunos de los procesos involucrados en la construcción de proyectos de obra pública en la empresa de estudio, son ineficientes ya que tienen actividades desperdiciadoras de recursos con un flujo inadecuado y exceso de controles y revisiones que generan reproceso.

En este sentido, se hace necesario un estudio que identifique los procesos y políticas que condicionan el flujo de trabajo en la gestión de ejecución de proyectos de construcción de obra pública, y una propuesta de intervenirlos estratégicamente, eliminando actividades despilfarradoras en la cadena de valor y que apunte a la constructabilidad de los mismos. Esto último busca identificar los posibles errores en diseños entregados, y evaluar la factibilidad de construir lo que se ha diseñado, con fundamento en la experiencia y lecciones aprendidas. Básicamente la empresa como constructora deberá evaluar los diseños y los proyectos desde su óptica operativa para integrar las mejores prácticas constructivas. De esta actividad previa a la construcción se pueden obtener beneficios como reducción de costos, reducción de tiempos, construcción con calidad, reducción en los cambios del proyecto, identificación y evaluación de los riesgos con anticipación, entre otras.

El propósito de este trabajo es aplicar los principios de la filosofía Lean Construction para eliminar todas esas actividades desperdiciadoras e incorporar mejoras en el proceso, y lograr una adecuada gestión de los recursos involucrados, alcanzando alta productividad. Lo anterior con apoyo en la dinámica de sistemas para crear un modelo que represente la realidad de la empresa, simule varios escenarios posibles y permita proponer al menos una estrategia de mejora en el proceso.

2. CONTEXTO TEÓRICO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes

PORRAS DÍAZ, H., SÁNCHEZ RIVERA, O., GALVIS GUERRA, J. (2014). Lean Construction philosophy for the management of construction projects: a current review

En este artículo se hace una revisión bibliográfica de la filosofía Lean Construction (LC) o “construcción sin pérdidas”, un nuevo enfoque en la gestión de proyectos de construcción introducido por el profesor Lauri Koskela en el año 1992 basándose en el modelo empleado por la industria automovilística en los 80, la “producción Lean”. Koskela propone que la construcción es un sistema de producción que se funda en proyectos con gran incertidumbre en la planificación y una mala concepción de la producción, que es vista como un modelo de transformación solamente. Las bases teóricas de LC propuestas por Koskela pretenden ver la producción en la construcción como un proceso de transformación, de flujo y generador de valor, en consecuencia, el objetivo de Lean Construction es crear buenos sistemas de producción que permitan optimizar, reducir o eliminar los flujos para mejorar los tiempos de entrega.

Se propone que LC no deba ser concebido como un modelo o sistema en el cual solo se siguen unos pasos, sino como un pensamiento dirigido a la creación de herramientas que generen valor a las actividades, fases y etapas de los proyectos de construcción. Entendiendo el valor como la eliminación de todo aquello que produzca pérdidas en la ejecución de las mismas.

CARRO ROBERTO (2009), Investigación de operaciones en administración.

El propósito del autor es mostrar a los interesados la importancia de una herramienta como la investigación de operaciones en la toma de decisiones y el proceso de la misma, de manera que sean los actores principales, teniendo en cuenta que nadie podrá conocer mejor las particularidades de una organización o área de la misma que quien está inmerso en ella. Trata de mostrar que sin el decisor participando en la construcción del modelo no existe una buena utilización de la herramienta. Pretende mostrar que la investigación de operaciones no es un terreno exclusivo de los matemáticos ni de los informáticos, sino que es un campo importante de la administración de organizaciones.

De manera simplista, expresa que su propósito se basa en dos premisas fundamentales: “enseñar a modelar, a pensar una situación en términos sistémicos y conocer una serie de herramientas informáticas que ayuden con la solución”.

En esta edición amplió el tema de la construcción de modelos, tratando de lograr una manera estructurada de contextualizar las situaciones de negocios e introduciendo conceptos de la Dinámica de Sistemas, con sus metodologías para modelado como los diagramas causales y los diagramas de Forrester, utilizados en las herramientas de software comerciales de simulación como Powersim, VenSim, Stella, o I Think para mencionar los más utilizados.

MARTIN GOMEZ, A., AGUAYO GONZALES, F., LAMA RUIZ, J., CORDOBA ROLDAN, A. (2012), Modelo dinámico para la gestión integrada de proyectos de construcción.

En este artículo se propone el análisis de la implantación de un modelo de dirección de proyectos en el ámbito de la construcción (PMBOK), en un entorno colaborativo entre empresas, socios y stakeholders, (que son todas las partes interesadas incluyendo clientes, proveedores y colaboradores) considerando especialmente la perspectiva informacional y el impacto en la satisfacción del cliente, usando como indicadores la información generada desde el área de calidad, evaluando las oportunidades que ofrece la gestión integrada mediante nuevas tecnologías de la información.

Los resultados se detallan mediante simulación con Dinámica de Sistemas en los casos de aplicación del modelo de gestión integrada de proyectos usando nuevas tecnologías de información distribuida y sin ellas, respectivamente.

La propuesta es integrar mejoras en los tres vértices del triángulo que sustenta la base de la dirección de proyectos: el nivel de calidad, el plazo de ejecución y los costos del proyecto (Lester, 2007).

RUBIANO OVALLE, O., CANO MOYA, S. (2015), Modelo dinámico para evaluar el flujo de la gestión de proyectos de construcción: estudio de caso en infraestructura universitaria pública.

Este estudio se centra en evaluar críticamente los problemas asociados a la obstrucción del flujo de trabajo en proyectos de construcción de infraestructura universitaria, causada por actividades desperdiciadoras en la cadena de valor.

Se identifican los factores críticos relacionados con las políticas y los procesos formales e informales que condicionan los flujos de trabajo, así mismo, se propone la eliminación progresiva de las actividades desperdiciadoras con la aplicación de principios y herramientas Lean para el corto y mediano plazo.

La estructura subyacente se estudió con dinámica de sistemas para modelar los procesos y evaluar políticas de gestión relacionadas con el flujo de valor. Finalmente, se identifican los elementos en interacción y la mejor alternativa para asegurar la realización del Plan de inversiones en un año en un escenario resultante de la simulación, en el que el proyecto se puede planear y ejecutar en 0,96 años para ser entregado al cliente final. (Rubiano Ovalle & Cano Moya, 2015).

RUBIANO OVALLE, O., CANO MOYA, S. (2015), Estudio de factores que inciden en el flujo de la gestión de ejecución de proyectos de construcción de infraestructura universitaria.

Es un artículo basado en una investigación donde se identificaron los procesos y políticas que condicionan el flujo de trabajo en la gestión de ejecución de proyectos de construcción de infraestructura universitaria, y se propuso la manera de intervenirlos estratégicamente, eliminando actividades despilfarradoras en la cadena de valor para un caso piloto seleccionado. El estudio se basó en una revisión crítica de las problemáticas asociadas a la obstrucción del flujo de trabajo de la gestión, caracterizando y mapeando la estructura de flujos de la cadena de valor.

Utilizaron la Dinámica de Sistemas para estudiar la estructura sistémica generadora de la problemática, para modelar los procesos y evaluar políticas de gestión de la cadena de valor. Se

simularon escenarios de intervención de las políticas para seleccionar la alternativa que mejor permita reducir el tiempo de ejecución de los proyectos en el Plan Anual de Inversiones (PI), de tal manera que este PI se ejecute dentro del año en que se prevé ejecutar.

Una vez evaluadas las estrategias para intervenir el sistema y reducir actividades despilfarradoras en el proceso de gestión, con ayuda de la simulación dinámica, fue posible jerarquizar escenarios que muestran nuevos tiempos estimados de ejecución de los proyectos que van desde 130 hasta 50 semanas, esto es, 0.96 años, mientras que antes de intervenir el proceso, algunos proyectos que estaban estimados terminar en un año, realmente tomaban entre un año y medio y cuatro años. (Rubiano Ovalle & Cano Moya, 2015).

2.2. Contexto Teórico

A continuación, se describen la técnica de mapeo con el uso de VSM, una breve descripción de la consideración de la Dinámica de Sistemas para el alcance del proyecto y los elementos teóricos de los principios Lean que fundamentan su aplicación.

2.2.1. Value Stream Mapping (VSM)

Es una herramienta gráfica Lean que integra los flujos materiales y los flujos de información mediante el uso de iconos normalizados en un gráfico, mostrando un “Mapa de Gran Formato” de flujo de valor. Esta herramienta fue utilizada inicialmente en Toyota Motor Company como “el mapeo del flujo de materiales y de información” y fue desarrollado por Rother y Shook en el 2003 (Rother & Shook, 2003). Jones y Womack, (Jones & Womack, 2002) definen el VSM como el proceso de mapear el flujo de materiales e información, del estado actual del proceso y la creación de un mapa de estado futuro integrando los métodos y las herramientas apropiadas para ganar flujo. De acuerdo a los autores, el VSM ofrece siete ventajas:

1. Visualiza el flujo de valor en su totalidad.
2. Muestra todas las actividades, las que se agregan y no agregan valor y muestra las fuentes de residuos en la cadena.
3. Relaciona las operaciones del proceso con las cadenas de suministro, canales de distribución y flujos de información.
4. Evidencia las relaciones entre el Control de Producción y Programación.
5. Proporciona un lenguaje sencillo y común para la discusión de los procesos de flujo de valor.
6. Forma la base para la implementación de Lean mediante el diseño de un sistema de producción basado en el flujo uno a uno para una familia de productos.
7. Proporciona un "modelo" para la planificación estratégica, para el despliegue del pensamiento Lean durante su transformación en una empresa Lean.

2.2.2. Dinámica de Sistemas

El profesor Jay Forrester del Instituto Tecnológico de Massachusetts, introdujo en los años 60, la dinámica de sistemas como una técnica de modelación y simulación que se basa en el pensamiento sistémico. Esta metodología permite modelar sistemas sociales y físicos, teniendo en cuenta características propias de estos como la complejidad, la no linealidad y las estructuras de bucle de retroalimentación presentes (Forrester, System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR, 1994). Debido a su habilidad de analizar sistemas de todo tipo, ha sido aplicada en diferentes ámbitos; la ciencia, la educación, la ingeniería, las leyes, la medicina, entre otros (Forrester, 2009).

El análisis de sistemas mediante esta técnica se basa principalmente en el estudio de las interacciones entre sus partes. Dichas interacciones se representan mediante bucles de retroalimentación que pueden ser positivos o negativos, y con estos se demuestra como un cambio en uno de los elementos, influye en el comportamiento general del sistema (Izquiero, Galan, Santos, & Del Olmo, 2008). Identificar estas relaciones permite tener un mejor entendimiento del sistema, con lo cual se pueden determinar las acciones que ayudarán a mejorar el mismo; Forrester (1994) lo expresa así: “la comprensión es lo primero, pero el objetivo es mejorar”. (p. 3).

2.2.2.1. Pasos para construir un modelo dinámico

(Stermán, 2000) Define los siguientes pasos a seguir para desarrollar un modelo de dinámica de sistemas:

- Paso 1: Diagrama de Influencias
Descripción de las principales retroalimentaciones del sistema.
- Paso 2: Diagrama Estructural
Conversión del diagrama de influencias en un diagrama estructural, con la ayuda de un software de simulación.
- Paso 3: Validación del Modelo, para cuantificar las variables principales involucradas en el modelo y realizar pruebas de este.
- Paso 4: Simulación Base
Se ingresan los datos del caso de estudio y se realizan análisis a partir de los resultados de simulación.
- Paso 5: Análisis de Escenarios
Proponer escenarios de políticas que permitan mejorar el sistema

Este proceso de modelado implica una constante retroalimentación luego de terminar cada fase, con el fin de reconsiderar supuestos que se habían considerado válidos anteriormente, es decir que no se trata de un proceso estrictamente secuencial (Aracil, 1995), sino más bien iterativo.

2.2.2.1.1. Diagrama de Influencias

Con el diagrama de influencias o diagrama causal se busca conceptualizar el sistema, para lo cual, se establece un bosquejo esquemático de los elementos que están relacionados entre sí; una correcta construcción de este requiere de observación, discusiones con especialistas en el tema y análisis de datos (Aracil, 1995). En este diagrama las variables están interconectadas a través de una flecha, la cual representa la relación positiva o negativa de las variables que conecta; una relación positiva indica que las dos variables se relacionan de manera directa, es decir, cambian en la misma dirección, si una aumenta, la otra también, por su lado las relaciones negativas expresan lo contrario, es decir, que la relación entre dichas variables es inversa, si una aumenta, la otra disminuye (Lee, Ng, Kwong, & Tay, 2019).

Cuando una variable se conecta consigo misma a través de una cadena de variables, se genera un bucle de realimentación, esto indica que dicha variable es tanto causa como efecto. La realimentación de un sistema puede ser de refuerzo (positiva) o de compensación (negativa); en la realimentación de refuerzo los cambios en el sistema se amplifican, esto es, que el aumento de una variable representa un aumento mayor de la misma, lo cual ocasiona inestabilidad en el sistema; por su parte, en la realimentación de compensación los aumentos en una variable terminan significando una disminución de la misma, es decir, el sistema se resiste al cambio y regresa a su estado original, produciendo estabilidad y equilibrio (Aracil, 1995).

2.2.2.1.2. Diagrama de Forrester

Luego de tener construido el diagrama de influencias, se procede a transformarlo en un diagrama estructural, también llamado diagrama de Forrester, con el fin de obtener un objeto matemático o cuantitativo que pueda ser programado en un computador (Aracil, 1995). Este paso se logra mediante la traducción de las variables empleadas en el diagrama de influencias en alguna de las tres variables principales de los diagramas de Forrester, las cuales son variables de nivel, variables de flujo y variables auxiliares.

Las variables de nivel son las más importantes del sistema y representan el estado de este, en estas se acumulan los resultados de las acciones que se tomaron en el pasado; una variable de nivel solo se puede incrementar o disminuir por una variable de flujo, las cuales caracterizan dichas acciones que se toman en el sistema, o dicho de otra manera, las variables de flujo expresan la variación de las variables de nivel en función del tiempo (Aracil, 1995). Finalmente, las variables auxiliares permiten una mejor visualización de las variables que afectan el comportamiento del flujo (Lee, Ng, Kwong, & Tay, 2019). Además de los tres grupos de variables antes mencionados, existen otros elementos usados en los diagramas de Forrester, tales como constantes, retrasos, fuentes, sumideros, canales de información y canales de material.

Como resultado final de este paso se obtiene un modelo del sistema programado en el computador, para esta programación se emplean diferentes herramientas informáticas de

simulación tales como Powersim, Vensim y Stella. Para este caso en particular el software utilizado fue Vensim.

2.2.2.1.3. Validación del Modelo

El tercer paso para desarrollar un modelo de dinámica de sistemas consiste en la validación de este, en dicha validación se comprueba tanto la consistencia lógica de las hipótesis y variables, como el ajuste entre las trayectorias generadas por el modelo y las registradas en la realidad, es decir, se hace una validación estructural y una validación de comportamiento (Aracil, 1995). De acuerdo con (Coyle, 1996) esta validación puede realizarse mediante la verificación del cumplimiento de los siguientes criterios:

1. El diagrama de influencias debe estar relacionado con el estado del sistema (validación de la estructura): se verifica que el diagrama de influencias planteado describa de manera adecuada el estado del problema.

2. La relación de las ecuaciones en el diagrama de Forrester debe ser coherente con la relación representada en el diagrama de influencias (validación estructural): esto implica que las relaciones positivas y negativas descritas en el diagrama de influencias coincidan con las ecuaciones del diagrama de Forrester.

3. El comportamiento del modelo debe representar razonablemente el sistema real (validación del comportamiento): para esto se simula el modelo con datos históricos con el fin de verificar que el comportamiento resultante de la simulación es el esperado.

4. El modelo debe tener un comportamiento lógico, incluso cuando los parámetros tengan valores extremos (validación del comportamiento): se simula el modelo bajo condiciones extremas para validar el comportamiento de este.

5. Análisis de sensibilidad: para detectar si el modelo es lo suficientemente sensible para contribuir con las principales diferencias al cambiar el valor de los parámetros.

2.2.2.1.4. Simulación del Modelo

Luego de comprobar que el modelo es apropiado desde el punto de vista de la estructura como del comportamiento, se procede a la simulación del escenario base de este; con esta etapa se consigue predecir cómo se comportará el problema estudiado, en el sistema real (Forrester, System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR, 1994). De acuerdo con este autor, en las primeras simulaciones surgen preguntas que obligan a retroceder a los pasos anteriores, haciendo modificaciones del modelo hasta que se vuelva adecuado para el propósito en consideración. Este paso incluye, además, (Aracil, 1995) los análisis realizados a raíz de los resultados obtenidos en la simulación.

2.2.2.1.5. Planteamiento y Análisis de Escenarios de Simulación

En esta etapa se consideran y estudian alternativas de intervención al sistema, mediante el planteamiento de diversos escenarios, ya sea para representar situaciones a las que podría verse

enfrentado el usuario del modelo, tanto como para comparar diferentes políticas de gestión o para estudiar los efectos resultantes de implementar cambios en el mismo (Aracil, 1995).

2.2.3. Lean Construction

En cuanto al método tradicional de construcción, que se llevó a cabo durante los siglos XIX y XX, autores como Austin 1994; Koskela 1997; Cornick 1991; Ballard y Koskela 1998; concluyeron que la planificación y el control, fueron sustituidos en muchas oportunidades por improvisaciones y caos, generando entre otras: mala comunicación, ausencia y deficiencia en la información de entrada de los procesos que se realizaban, documentación inadecuada, falta de coordinación entre disciplinas y toma de decisiones errática.

Por ello, surgieron diferentes intentos para mejorar estos problemas mencionados. Entre ellos están: la administración de proyectos, la ingeniería concurrente, modelos de procesos, ingeniería del valor, nuevas formas organizacionales, apoyo de información tecnológica, nuevos índices de desempeño, etc. (Ballard, G.; Koskela, L., 1998).

Aunque los enfoques anteriores contienen algunas técnicas interesantes y aparentemente efectivas, están fragmentadas y carecen de una base conceptual. Esta base teórica, faltante en las técnicas mencionadas, se debe entender como una relación entre tres diferentes modelos: conversión, flujo y valor, donde valor es el nivel de satisfacción del cliente.

Algunos investigadores de todo el mundo, han realizado un esfuerzo por conceptualizar los problemas de la industria de la construcción, estructurando un marco teórico que permita entender mejor qué tipo de producción es la construcción. Esta referencia teórica recibe el nombre de Lean Construction o Construcción sin Pérdidas, y tiene como función minimizar o eliminar todas las fuentes de pérdidas, entendiendo que estas implican menor productividad, menor calidad, más costos, entre otras.

Según Botero, “Lean es un término que se refiere a una forma de hacer negocios donde se centraliza en maximizar el valor para el cliente eliminando todas las pérdidas de las actividades que no generan valor. Para obtener la eficiencia en las actividades se evalúa el desempeño en calidad, tiempo, costo del proyecto”.²

La filosofía de Lean Construcción se fundamenta en la optimización de los procesos productivos mediante la identificación y eliminación de desperdicios, y el análisis de la cadena de valor, para lograr un flujo de material estable, constante, en la cantidad adecuada, con la calidad asegurada y en el momento que sea necesario, es decir, tener la flexibilidad y fiabilidad de que el producto sea fabricado en el tiempo en que lo solicite el cliente, sin producir más o menos de lo requerido.

2.2.3.1. Producción Lean, sus Principios y Mapeo de los Flujos de Valor

Los principios de la filosofía Lean (Jones & Womack, 2002) en el mejoramiento de la eficiencia de las cadenas de valor son:

² LEAN CONSTRUCTION (Construcción sin pérdidas); como estrategia de gestión de proyectos de construcción. Presentación de diapositivas. Universidad EAFIT, Medellín (2014).

1. Especificar valor desde el punto de vista del cliente.
2. Identificar el flujo de corriente de valor, incluidas las actividades que agregan valor y que no agregan valor para el cliente.
3. Permitir que el proyecto fluya sin problemas y rápidamente a través de todos los subprocesos.
4. Hacer coincidir la capacidad de los subprocesos con la demanda para que el trabajo se realice de acuerdo con el esquema de planeación del proyecto.
5. Perseguir la perfección a través de la mejora continua de la corriente de flujo de valor.

La clave de la visión de flujo radica en la eliminación del desperdicio de los procesos de flujo. Por lo tanto, los principios de reducción del tiempo de entrega, reducción de la variabilidad y simplificación de los procesos son promovidos en el pensamiento Lean. Otro pilar de la producción Lean es la visión de generación de valor, la cual radica en obtener desde la perspectiva del cliente el mayor valor posible.

Una cadena de valor incluye todas las actividades, incluso las que no agregan valor, y proporciona una vista gráfica de los elementos del proceso por los que el cliente está dispuesto a pagar (Tapping & Shuker, 2003). (Rother & Shook, 2003) Definen “cadena de valor” como “todas las acciones (que agregan valor y que no lo agregan) que actualmente se requieren para llevar un producto, o servicio, a través de los principales flujos esenciales para todos los productos”.

2.2.3.2. Concepto de productividad en la construcción

Una aproximación a la definición de productividad presenta la relación existente entre lo producido y lo gastado. De una manera más amplia, se define la productividad en la construcción como “la medición de eficiencia con que los recursos son administrados para completar un proyecto específico, dentro de un plazo establecido y con un estándar de calidad dado”. (Serpell, 2002)

El logro de la productividad involucra entonces la eficiencia y la efectividad, ya que no tiene sentido producir una cantidad de obra si ésta presenta problemas de calidad. El objetivo de cualquier proceso productivo es lograr una alta productividad, lo que se consigue mediante la obtención de alta eficiencia y efectividad (Serpell, 2002).

En la construcción se han detectado diferentes factores que afectan la productividad, los cuales generalmente recaen sobre la falta de información o incomprensión de lo que el cliente realmente está esperando, la coordinación entre los diseñadores, contratistas y contratante y la planeación y el control de la planeación.

La productividad tiende a aumentar cuando los procesos son repetitivos y el tiempo empleado para la realización de los mismos disminuye, lo anterior se debe al fenómeno del aprendizaje y generación de conocimiento.

2.2.3.3. Procesos de producción

En la Tabla 1 Productividad Flujo / Valor se observa cómo los procesos de producción se pueden concebir de tres maneras diferentes:

- Como un proceso en el que existe una conversión de entradas en salidas.
- Como un flujo de materiales e información a través del tiempo y el espacio.
- Como un proceso de generación de valor para los clientes.

Las tres concepciones son apropiadas. Sin embargo, el modelo de conversión es el que ha predominado en la industria de la construcción.

	Modelo de conversión	Modelo de flujo	Modelo de generación de valor
Naturaleza de la construcción	Serie de actividades que convierten entradas en salidas.	Flujos de información por conversiones, inspecciones, transportes y esperas.	Proceso de creación de valor que cumple con los requerimientos del cliente.
Principios	Descomposición jerárquica de las actividades. Control y optimización por actividad.	Descomposición por nudos o uniones. Eliminación de las pérdidas (actividades innecesarias), reducción del tiempo.	Eliminación de la pérdida de valor. Disminución de la brecha entre el valor conseguido y el valor posible.
Métodos y prácticas	Estructura de trabajo por divisiones, método de la ruta crítica. Planeación realizada conforme al inicio de las actividades y responsabilidad de las actividades por contrato o asignaciones.	Trabajo en equipo, reducción rápida de la incertidumbre. Planeación realizada conforme a la calidad y a la liberación de trabajo.	Desarrollo y ensayo del producto final de acuerdo con los medios para cumplir con los requerimientos del cliente. Planeación relacionada con la estructura de trabajo, los procesos y la participación.
Contribución práctica	Tiene en cuenta que las cosas necesarias se hagan.	Tiene en cuenta que lo innecesario se haga lo mínimo posible.	Tiene en cuenta que los requerimientos del cliente se cumplan de la mejor manera posible.

Tabla 1 Productividad Flujo / Valor

Fuente: Ballard, Hernan. The Last Planer System of production control

2.2.3.4. Diferencia entre la producción Lean y la tradicional.

La diferencia entre la producción Lean Construction y la tradicional, radica en que la filosofía Lean está orientada a encontrar todos los factores que influyen en que existan pérdidas, y así tener una idea global y aplicar un plan con el fin de mitigar todos aquellos aspectos que no conllevan al fin esperado, y que por el contrario generan pérdidas, consumiendo tiempo, recursos, costos y espacio, por lo que se hace importante ser revisados y estudiados.

Como objetivo de la utilización del nuevo enfoque de producción Lean, se encuentra el hacer más eficientes las actividades de transformación que agregan valor, minimizando o eliminando las actividades que no lo generan (pérdidas). En la Tabla 2 Produccion Tradicional Vs Filosofia

Lean, se encuentra una comparación general entre el sistema tradicional de producción y la filosofía Lean Production.

	Producción Tradicional	Lean Production
Concepto:	La producción está compuesta por una serie de actividades de conversión que agregan valor.	La producción está compuesta por flujos (no agregan valor) y conversiones (agregan valor).
Control de Producción:	Dirigido al costo de las actividades	Dirigido al tiempo, costo y valor de los flujos.
Mejoramiento:	Incremento al costo de las actividades	Eliminación de las actividades que no agregan valor (pérdidas), incremento de la eficiencia de las actividades que lo generan, a través del mejoramiento continuo y de la implementación de nueva tecnología

Tabla 2 Producción Tradicional Vs Filosofía Lean

Fuente: Diez años de implementación Lean en Colombia: logros y dificultades (Construcción sin pérdidas). Medellín: Universidad EAFIT. (Botero, 2014)

2.2.3.5. Nuevo modelo de producción para la construcción.

El nuevo modelo conceptual es una síntesis y la generalización de diferentes modelos, como el JIT (Justo a Tiempo) y el TQM (Gestión Total de la Calidad).

Lean Construction es una nueva filosofía orientada hacia la administración de la producción en construcción, cuyo objetivo fundamental es la eliminación de las actividades que no agregan valor (pérdidas). Para contribuir a tal fin, Ballard y Howell diseñaron un nuevo sistema de planificación y control denominado Last planner, con cambios fundamentales en la manera como los proyectos de construcción se planifican y controlan.

El nuevo modelo de producción para la construcción, concibe la producción y sus operaciones como procesos. Koskela, lo define como un flujo de materiales y/o información desde la materia prima hasta el producto final. En este flujo, el material es procesado (conversiones), inspeccionado, se encuentra en espera o es transportado. El procesamiento o los procesos representan el aspecto de conversión de la producción, la inspección, la espera y el movimiento representan el aspecto de flujo de la producción.

Los procesos de flujo se pueden caracterizar por tiempo, costo y valor. El valor se refiere a cumplir con los requerimientos del cliente. En la mayoría de los casos, sólo las actividades de conversión (procesamiento) son las que agregan valor.

El nuevo modelo de producción implica una visión dual de la producción, consistente en conversiones y flujos. La eficiencia de la producción se atribuye, tanto a las conversiones como a los flujos, en las actividades de conversión depende del nivel de tecnología, las destrezas, la motivación, etc. y en las actividades de flujo depende de la cantidad de las mismas y la eficiencia con las que estas interactúan con las conversiones, es decir de la planeación efectuada.

Planeación que por lo general no es considerada como un factor fundamental en el desarrollo de las actividades, debido al simplismo del personal a cargo y al enfoque que existe hacia las actividades de conversión como subprocesos del proceso de construcción.

Mientras todas las actividades generan costos y consumen tiempo, sólo las actividades de conversión agregan valor a los materiales o a la información que está siendo transformada en producto. Las inspecciones, esperas y transportes representan los flujos dentro de la producción.

Debido a los principios tradicionales de gestión, los flujos no han sido mejorados o controlados, esto ha conllevado a flujos complejos, inciertos y confusos, generando un incremento en las actividades que no generan valor.

En el control de los proyectos, el estar apagando incendios (solucionando problemas) constantemente consume los recursos de gestión, lo que deja poco tiempo para la planeación, y por lo tanto no se gestionan actividades de mejora o, peor aún, no se realiza ningún tipo de inspección o control que permita identificar las pérdidas.

Al implementar el nuevo sistema de producción se busca que las actividades de transformación, es decir las que agregan valor, sean más eficientes, así como minimizar o eliminar las actividades que no lo generan, logrando una mayor productividad del proceso constructivo.

Koskela (1992), en su reporte técnico establece algunos principios para el mejoramiento del proceso de producción, los cuales están dirigidos al proceso de planeación y ejecución de los proyectos constructivos.

2.2.3.6. Estado actual

La filosofía Lean Construction ha sido implementada con éxito desde 1993. Algunos programas exitosos de mejoramiento de gestión en construcción han sido desarrollados en: Suecia, Finlandia, Dinamarca, Inglaterra, Estados Unidos, Chile, Brasil, Indonesia, Australia, Venezuela, Ecuador, Perú y Colombia (especialmente en Medellín).

Actualmente varias compañías colombianas están capacitando al personal en Lean Construction.

A nivel internacional existen dos organizaciones de apoyo:

- El Lean Construction Institute, fue fundado en agosto de 1997 por Glenn Ballard y Greg Howell como una entidad sin ánimo de lucro. El propósito del Lean Construction Institute es reformar la forma de gestionar la producción en el sector de la construcción.
- El Internaciotal Group for Lean Construction, fundado en 1993 por una cadena de profesionales e investigadores del sector de la construcción. Desde el año 1993, el International Group for Lean Construction organiza conferencias anuales sobre los avances en la filosofía Lean Construction.

2.2.3.7. Experiencia en Colombia

En Colombia, el área de construcción del departamento de ingeniería civil de la Universidad EAFIT de Medellín entre los años 2003 y 2005, en conjunto con un importante grupo de constructores lideró la implementación del proyecto de mejoramiento de la productividad en

proyectos de vivienda de las ciudades de Medellín, Manizales y Bogotá. En el estudio se alcanzaron 4.668 unidades construidas y 353.614 m².

Usando como fuente de información a (Botero L. F., 2006), se encuentran los siguientes resultados de medición de tiempos productivos, contributivos y no contributivos en Colombia entre los años 2003 y 2005:

- El promedio general del estudio del tiempo a nivel nacional para una muestra de 24.425 observaciones dio como resultado un 48.20% de tiempo productivo, cifra muy similar obtenida en los estudios realizados en Chile. El tiempo no contributivo arrojó un resultado del 17.7% y el tiempo contributivo del 34.1%.
- El resultado general obtenido en la ciudad de Medellín para el tiempo productivo fue 47.20%, para el tiempo contributivo 37.5% y para el tiempo no contributivo 15.30%.
- El resultado general obtenido en la ciudad de Bogotá para el tiempo productivo fue 45.46%, para el tiempo contributivo 27.85% y para el tiempo no contributivo 26.69%.
- El resultado general obtenido en la ciudad de Manizales para el tiempo productivo fue 51.23%, para el tiempo contributivo 31.30% y para el tiempo no contributivo 17.46%.

El promedio general a nivel nacional demuestra que ninguna actividad tiene un comportamiento aceptable dentro de los estándares de la filosofía Lean, ya que los tiempos contributivo y no contributivo, superan el productivo.

Dentro del estudio se categorizaron las pérdidas y sus causas en el tiempo no contributivo, obteniendo los siguientes resultados:

En el promedio nacional las principales causas del tiempo no contributivo son las esperas, el tiempo ocioso y el descanso.

Los resultados obtenidos a nivel nacional representan una gran oportunidad de mejoramiento. Las esperas en el proceso constructivo son la principal causa de los tiempos no contributivos en los proyectos de construcción.

Por lo tanto, es necesario mejorar la gestión de la construcción, a través de una eficiente planificación que permita una adecuada disposición y localización de recursos, así como la adecuada utilización y disposición de cuadrillas de trabajo, minimizando constantemente las pérdidas de los procesos productivos.

Los principales motivos que generan las esperas son la falta de materiales, las actividades previas sin ejecutar o mal ejecutado, la falta de instrucción y la falta de equipos o herramientas. En los resultados obtenidos durante el estudio realizado por la Universidad Eafit, los cuatro motivos relacionados representan el 87% de las esperas

Los tiempos contributivos son aquellos que se pueden disminuir más no eliminar, sin embargo, la disminución de los tiempos contributivos permite mejorar la productividad. Los resultados obtenidos por el grupo de investigación de la Universidad EAFIT liderado por el arquitecto Luis Fernando Botero, demostraron que la preparación de superficies, los transportes, los desplazamientos, las mediciones y las instrucciones representan el 85% del trabajo contributivo en las ciudades analizadas.

3. METODOLOGÍA

El enfoque de investigación principal es cualitativo, sin embargo, se utilizaron algunas herramientas del enfoque cuantitativo lo que configura un método mixto de investigación, en el cual se hizo la recolección y análisis de datos sobre las variables de interés y se estudiaron las propiedades y relaciones entre ellas. Para la recolección de información se hizo uso de instrumentos como la entrevista. El trabajo se desarrolló en fases, obteniendo en cada una de ellas un producto necesario para el cumplimiento de los objetivos propuestos, las propuestas de intervención que se realizaron estuvieron basadas en el contexto teórico de referencia, en la tabla 1 se muestra el resumen de la metodología. A continuación, se detalla cada una de las fases.

FASE 1. Recopilación de información general y diseño de estrategia de abordaje del proyecto.

En esta fase se recopiló la información general de la empresa y de los proyectos que se han ejecutado en el caso de estudio, analizando características, procesos, procedimientos y recursos. Esto con el fin de tener toda la información que se necesita como entrada para empezar a analizar el estado actual y el funcionamiento del proceso de construcción de proyectos de obra pública.

Producto: inventario de la información encontrada.

Para llevar a cabo cada uno de los objetivos planteados en este proyecto, a continuación, se presenta la Tabla 3 Objetivos Metodológicos por Fases, con objetivos metodológicos necesarios para cumplir con las fases de este trabajo de grado.

FASE 2. Identificación de los subprocesos.

Se identificaron los subprocesos asociados a la gestión de construcción de proyectos de obra pública y se describirá la relación entre ellos.

Producto: informe con el análisis de los resultados

FASE 3. Establecer las actividades y relaciones entre los subprocesos.

Se analizaron y determinaron las actividades que se llevan a cabo en cada uno de los subprocesos y se establecerán las relaciones entre cada uno de ellos.

Producto: informe con el análisis de los resultados

FASE 4. Mapear el proceso.

Ya con los subprocesos y relaciones identificadas se procedió con la esquematización del proceso de la gestión de producción de proyectos de construcción de obra pública utilizando la herramienta de mapeo de Lean, Value Stream Mapping (VSM).

Producto: mapa de la cadena de valor e informe con el análisis de los resultados

Objetivos Metodológicos		¿Para qué?	¿Qué hacer para alcanzar el objetivo específico?	¿Cómo se hace?	¿Con qué se hace?	Producto
FASE 2	Identificar los sub procesos asociados a la gestión de producción de proyectos de construcción de obra pública en el caso de estudio.	Para establecer cómo funciona y quienes son los actores involucrados en los proyectos.	Recolectar y analizar la información sobre el estado actual y funcionamiento del proceso de construcción de proyectos de obra pública en el caso de estudio	Basándose en antecedentes, el estado del arte y entrevistas a quienes conocen sobre el funcionamiento del proceso.	Encuestas realizadas a personas encargadas del proceso	Informe con el análisis de los resultados.
FASE 3	Establecer las actividades y relaciones entre los subprocesos identificados en la fase anterior.	Para obtener el listado de actividades necesarias para llevar a cabo el proyecto de construcción.	Observar el sistema y determinar las acciones necesarias para que el proyecto se lleve a cabo.	A través de entrevistas, observación de los procesos administrativos y de ejecución de obra.	Encuestas y registros.	Informe con el análisis de los resultados.
FASE 4	Mapear el proceso de gestión de producción de proyectos de construcción de obra pública en el caso de estudio.	Para reconocer todos los elementos en interacción y el flujo que se da entre los subprocesos de una manera gráfica.	Graficar los subprocesos con sus respectivas actividades y relaciones entre ellas	Utilizando Value Stream Mapping (VSM), que es una herramienta gráfica de Lean.	Con software de mapeo.	Mapa de la cadena de valor e Informe con el análisis de los resultados
FASE 5	Identificar las actividades que agregan valor y que no agregan valor en el proceso.	Para identificar las fuentes de desperdicio en la cadena.	Analizar el mapa del proceso y determinar cuáles actividades agregan valor en el sistema	Basándose en antecedentes, el estado del arte y el mapa del proceso.	Mediciones y registros.	Informe con el análisis de los resultados.
FASE 6	Construir un modelo de análisis mediante dinámica de sistemas u otra herramienta que sea pertinente, para establecer las alternativas de intervención.	Para poder observar la complejidad y los cambios que sufre el sistema, a través de un modelo	Modelar el funcionamiento del sistema que está bajo estudio.	Con base en el estado del arte y con la ayuda de un software especializado	Software de modelación.	Modelo dinámico del proceso.
FASE 7	Proponer al menos una estrategia de mejora del proceso.	Mejorar el funcionamiento del sistema mediante el uso de la filosofía Lean Construction.	Analizar el estado actual del sistema e identificar puntos de mejora del proceso	Utilizando la filosofía Lean para generar una mejora en el proceso, a través de la eliminación paulatina de los desperdicios.	Herramientas de la filosofía Lean.	Propuesta de mejora del proceso.

Tabla 3 Objetivos Metodológicos por Fases

Fuente propia.

FASE 5. Identificación de la cadena de valor.

Se identificaron los subprocesos asociados a la gestión de construcción de proyectos de obra pública y se describe la relación entre ellos.

Producto: Análisis estructural del problema.

FASE 6. Construcción de un modelo de análisis mediante Dinámica de Sistemas.

Se identificaron las variables de cada subproceso que rigen el sistema, se construyó el modelo utilizando un software de dinámica de sistemas para ello, se ajustó y validó el modelo.

Producto: Modelo dinámico del proceso.

FASE 7. Análisis del sistema.

Mediante la filosofía LEAN CONSTRUCTION se analizó el flujo de la cadena de valor del sistema para disminuir los desperdicios, determinando alternativas de intervención que serán evaluadas en el modelo dinámico del sistema para elegir la más adecuada y de esa manera volver más eficiente el proceso.

Producto: Propuesta de mejora del proceso.

FASE 8. Conclusiones y Redacción del Documento

Finalmente se concluyó el documento con los aspectos más importantes encontrados durante el desarrollo del proyecto y se hizo la redacción final que evidencia completamente el trabajo realizado como proyecto de grado.

Producto: Documento del trabajo de grado.

4. MARCO CONTEXTUAL

4.1. Logo



Ilustración 3 Logo Prodecon S.A.
Fuente: Prodecon S.A.

4.2. Reseña Histórica

En noviembre de 2003, el ingeniero civil JUAN CARLOS AGUILAR BUSTAMANTE, bajo la razón social de "PRODECON E.U.", inició la Empresa para desarrollar el ejercicio de la ingeniería civil.

La Empresa desde su creación ha venido evolucionando y progresando en el desarrollo de la construcción, el mantenimiento y el mejoramiento de obras civiles y edificaciones. Después de 4 años de funcionamiento como Empresa Unipersonal, se realiza el cambio a Empresa Limitada "PRODECON LTDA".

En el año 2008, establece alianza estratégica con el ingeniero civil LEONARDO CORTEZ QUINTERO. Con dicha alianza, la Empresa se fortaleció y continuó desarrollando a partir de allí trabajos para sus antiguos y nuevos clientes, tanto en el sector privado como en el público. Entre los cuales sobresalen los siguientes: Papeles del Cauca, Fundación Argos, Bavaria, Secretaría de Educación Municipal – Santiago de Cali, Municipio de Argelia – Valle del Cauca, Secretaría de Vivienda Social – Santiago de Cali, Empresa Municipal de Renovación Urbana – EMRU, entre otras.

Aumentando así su portafolio tanto de servicios, como de clientes en la ciudad de Cali, en los departamentos del Valle, Cauca y en el territorio nacional donde los clientes lo requieran.

Posteriormente la Empresa amplió su campo de acción, incluyendo en su portafolio de servicios el acondicionamiento y conservación de zonas verdes y jardinería.

En el año 2010, la Empresa aumenta su número de socios y cambia su razón social a PRODECON S.A.

4.3. Misión

Somos una Firma de Ingeniería dedicada a la prestación de servicios de construcción, mantenimiento y mejoramiento de obras civiles, en proyectos propios, públicos y privados, basados en condiciones de desarrollo sostenible desde el punto de vista económico, social y ambiental.

4.4. Visión

Ser referente en el sector de la construcción por nuestra solidez, responsabilidad en el cumplimiento de la normatividad vigente y expectativas de nuestros clientes en el desarrollo de proyectos.

4.5. Portafolio de Servicios

- Construcción y reposición de acueductos y alcantarillados.
- Construcción y mantenimiento de vías.
- Construcción, adecuación y mantenimiento de todo tipo de edificaciones.
- Construcciones en general.
- Mantenimiento locativo.
- Acondicionamiento y conservación de zonas verdes y jardinería.

4.6. Organigrama Institucional

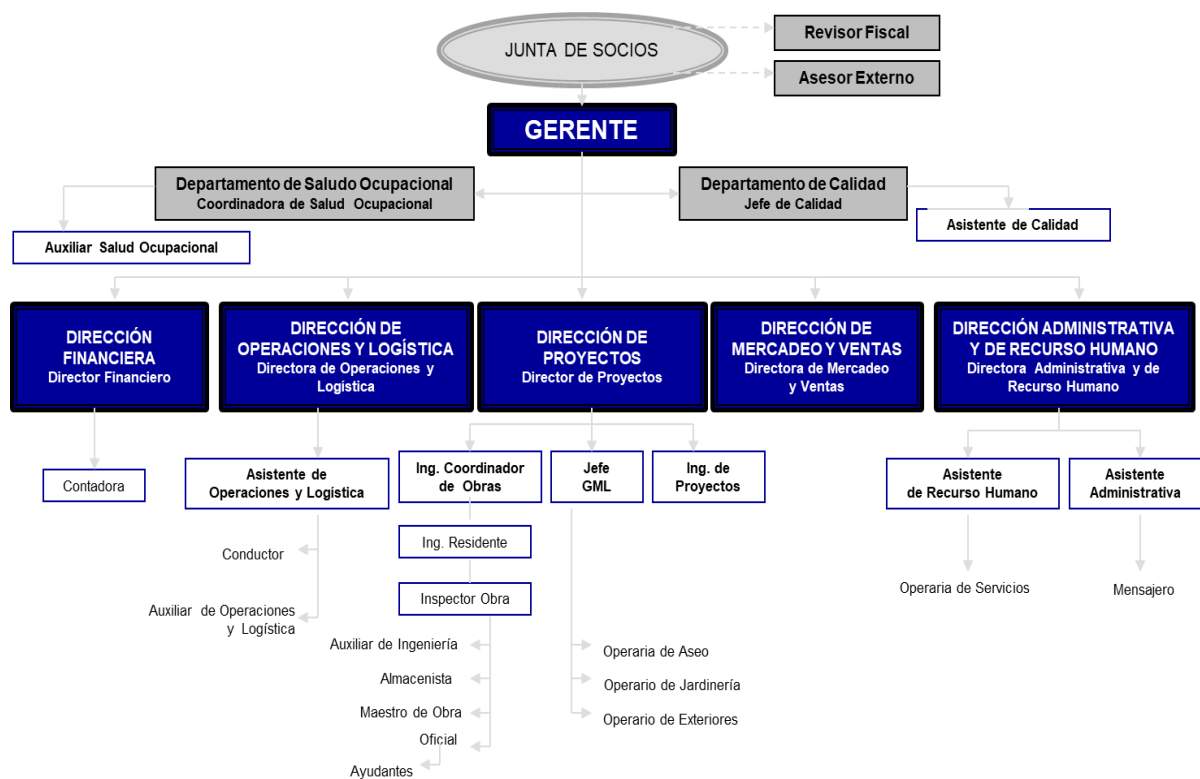


Ilustración 4 Organigrama de la empresa en estudio

Fuente: Prodecon S.A.

4.7. Cadena de Valor de Prodecon S.A.

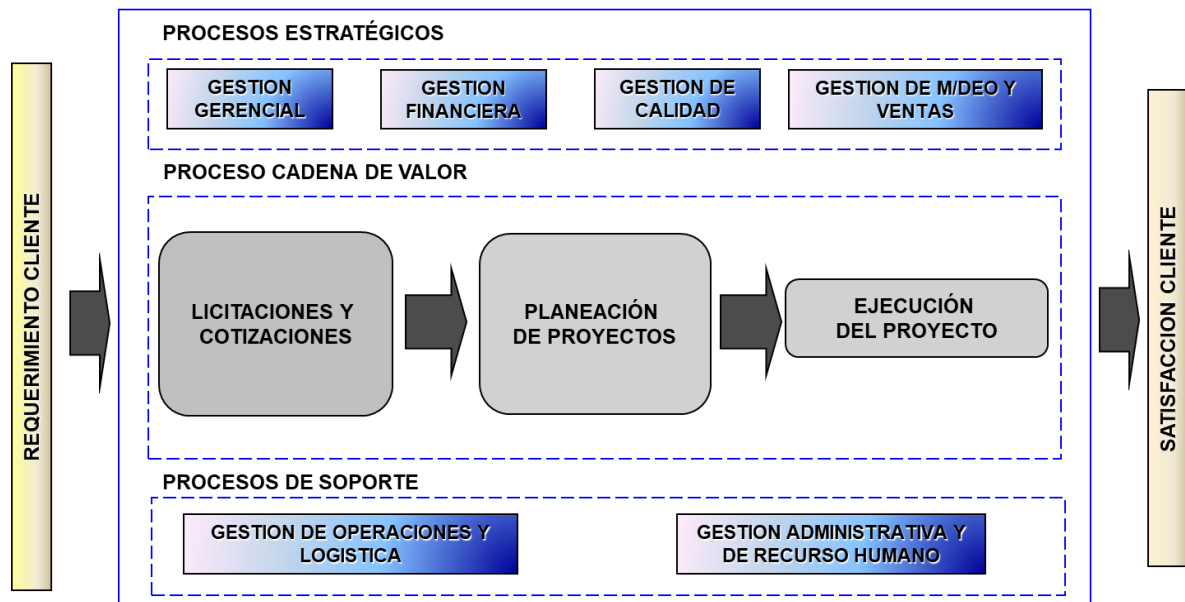


Ilustración 5 Cadena de Valor PRODECON S.A.
Fuente: PRODECON S.A.

5. DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1. Caso de Estudio

5.1.1. Situación Actual

Para dar inicio al desarrollo del proyecto, se recolectó información de la empresa por medio de entrevistas, con el fin de conocer su estructura y funcionamiento. Actualmente la empresa tiene 6 áreas activas; gerencia general, dirección de proyectos, dirección administrativa y de talento humano, licitaciones y por último tesorería, operaciones y logística. Dentro de estas 6 áreas se encuentran integrados todos los procesos de la cadena de valor de la empresa. A continuación, se resumen las actividades ejecutadas en cada una de ellas, donde se pudieron identificar los subprocesos asociados a la gestión de producción de proyectos de construcción de obra pública en la empresa y donde se pudo establecer cómo funciona y quiénes son los actores involucrados en los proyectos:

Gerencia General

- Es la encargada del funcionamiento general de la empresa. Es donde se toman todas las decisiones importantes de la empresa. Todas las autorizaciones pasan por esta dirección.
- El gerente es quien decide a que procesos de contratación se debe presentar la empresa. Revisa información general, presupuestos, análisis de precios unitarios y,

da viabilidad económica, ordenando la presentación de los procesos que a su parecer son rentables para la empresa.

- Una vez lista una propuesta, la revisa por última vez y hace una precalificación.
- Está pendiente y hace seguimiento a todos los trámites e interacciones, entre el proceso de licitaciones y la entidad contratante.
- Una vez adjudicado el proyecto, es quien firma toda la documentación.
- Se encarga de organizar el inicio de la obra y es quien asigna el personal y los recursos necesarios para el funcionamiento.
- Se encarga de la planeación del proyecto desde que inicia hasta que se entrega.
- Aprueba y autoriza la contratación del personal requerido.
- Revisa, autoriza y efectúa todos los pagos de la empresa (proveedores, nomina, compras).
- Está en constante comunicación con la dirección de obras y apoya todo el proceso de construcción de obra, en cuanto a asistencia a comités, revisión de diseños, revisión de cantidades, elaboración de balances, control de calidad.
- Es el encargado de garantizar el flujo de caja del proyecto, por lo que está en constante revisión y seguimiento de los pagos y de los créditos de los bancos.
- Hace seguimiento a las actas parciales de pago de obra, revisa memorias de cálculo, ítems no previstos, actas de modificación y balances necesarios para garantizar el pago de todas las actividades ejecutadas.
- Es quien responde ante la entidad contratante y quien atiende todas las solicitudes de la interventoría.
- Es quien revisa los informes de contabilidad y hace un análisis de la rentabilidad de los proyectos. Controla gastos vs ingresos y anticipa cualquier periodo de iliquidez de los contratos.
- Se encarga de liquidar los contratos y de responder ante la entidad contratante las garantías post venta.

Dirección de Proyectos

- Esta dirección junto con la gerencia general es la encargada de tomar todas las decisiones importantes de la empresa.
- Es la encargada de toda la organización técnica y de ejecución de obra. Es quien coordina a los directores y residentes de obra, así como a los auxiliares de ingeniería que prestan apoyo a diferentes proyectos.
- Una vez adjudicado el proyecto, se asignan los profesionales necesarios para el funcionamiento de las obras.
- Por lo general se contratan los residentes y los auxiliares antes del inicio de obra, y estos se encargan de revisar el proyecto, de sacar cantidades reales y verificar que todo esté en orden en los presupuestos, advertir sobre errores encontrados en cuanto a cantidades y diseños.
- son los encargados de dirigir la obra, de construir. Son quienes programan pedidos, actividades y pagos de planillas de contratistas.
- Responden ante la gerencia y ante la interventoría por la calidad de la obra ejecutada y por el correcto seguimiento del cronograma de obra.

- Están en constante comunicación con operaciones y logística para garantizar el suministro de material, equipo y herramienta a tiempo y evitar retrasos. Deben llevar control de todo lo que ingresa a obra, y revisar los cobros de los proveedores.
- Interactúan con talento humano en todo lo relacionado con afiliaciones a la seguridad social, los soportes de pago, reporte de accidentes, capacitación e implementación del SG-SST.
- Con la gerencia están en constante comunicación, porque deben responder por una adecuada administración de obra. Deben llevar al día el control de cantidades de obra, elaboración de actas parciales, memorias de cálculo y actualización de cronogramas.
- Deben responder todos los requerimientos de la interventoría en cuanto a la ejecución de la obra y la calidad de esta.
- Deben advertir anticipadamente cualquier cambio en los diseños o cualquier impedimento para ejecutar alguna actividad como estaba prevista inicialmente.
- Son los encargados de tener a tiempo todos los balances de obra, antes de la elaboración de cada acta parcial. Revisan y verifican cantidades antes de firmar acta de liquidación.
- Deben asistir a comités de obra y enterarse de la gestión del proyecto desde todos los ámbitos.
- Llevan al día la bitácora de obra.

Dirección Administrativa

- En esta dirección se encargan de todos los trámites administrativos, y todo lo relacionado con la contratación y gestión del talento humano.
- Son los encargados de contratar el personal que se requiere para un determinado trabajo.
- En el proceso de elaboración de propuestas, están en constante comunicación con la parte de licitaciones, para suministrar toda la información relacionada con profesionales, hojas de vida, soportes y pagos de seguridad social y paz y salvo por concepto de parafiscales.
- Cuando el contrato es adjudicado, se encargan de tramitar toda la legalización del contrato. Con el acta de adjudicación solicitan expedición del RUT (en caso de que el proyecto sea en consorcio), y con este y el contrato de obra, tramitan las pólizas contractuales, y el acta de inicio del proyecto.
- La gerencia, la dirección de proyectos y el área de logística y operaciones, hacen la solicitud del personal que se requiere, y en caso de no contar con algún perfil, se hace una convocatoria para los diferentes cargos.
- Inicialmente, se hace una preselección de hojas de vida y se hace una entrevista telefónica, donde se va registrando información en un formato. Este formato se pasa a la gerencia o a la dirección de proyectos, y son ellos quien deciden a quien llamar para entrevista personal.
- Conjunto con la gerencia y la dirección de proyectos, hacen la entrevista personal y es la gerencia o la dirección de proyectos quien decide quién pasa a la segunda

etapa del proceso, que son las pruebas psicotécnicas, técnicas y exámenes médicos de ingreso. Una vez superada esta etapa y con los resultados de las pruebas, la gerencia o dirección de proyectos decide a quien contratar.

- A la hora de iniciar el contrato, deben verificar que todos y cada una de las personas que pertenecen a cada proyecto, estén afiliados al sistema general de seguridad social y deben velar porque ninguna persona ingrese a obra antes de contar con la afiliación a la aseguradora de riesgos laborales.
- Mensualmente deben pasar a operaciones y logística todos los soportes de pago de seguridad social, que debe entregarse como control a la interventoría de los proyectos o a la entidad contratante.
- En esta dirección se reciben facturas y correspondencia, se lleva un registro de lo que se recibe y se distribuye al área respectiva.
- A esta área pertenece la coordinadora general SISO que es la encargada de la implementación y seguimiento del SG-SST, tanto de las obras como de la oficina principal.
- Cuando se acaba el proyecto, debe tramitar la terminación del contrato y la liquidación, de todos los profesionales que se contrataron durante el periodo que duraba el proyecto.
- También son los encargados de preparar los pagos de nómina de todos los empleados y lo pasan a gerencia, quien hace los pagos.

Licitaciones

- En esta área se consultan permanentemente las ofertas públicas para contratación de obra. Por el momento solo están concentrados en la construcción y no en la consultoría como tal. Dentro de la búsqueda se seleccionan los procesos que puedan ser de interés para la empresa, de acuerdo con el presupuesto oficial, plazo y lugar de ejecución. Para los procesos seleccionados, se revisan los pliegos de condiciones y/o términos de referencia y se hace una lista de verificación de cumplimiento de requisitos, que se deja registrado en un formato, donde se relaciona la página del pliego de condiciones que corresponde a cada requisito. Ese formato se le presenta a la gerencia y a la dirección de proyectos, y ellos deciden a cuáles procesos se van a presentar.
- Una vez definidos los procesos de contratación a los cuales se van a presentar, inicia la elaboración de propuestas. Debe comunicarse con la dirección de tesorería, operaciones y logística, para obtener toda la información relacionada con cotizaciones, requisitos técnicos, certificaciones de contratos, entre otros.
- Con la dirección de talento humano se comunica para obtener información de profesionales, hojas de vida y soportes.
- Los presupuestos y análisis de precios unitarios son elaborados generalmente por consultores externos, lo mismo pasa con los cronogramas de obra.
- Una vez en orden todos los documentos de la propuesta, incluido apu's, programación y presupuesto, surge otra reunión con la gerencia y con la dirección de proyectos, donde se hace una revisión de la parte económica y se toma una última decisión de presentar la propuesta. Antes de radicar la propuesta en la

entidad contratante, se hace una precalificación y se procura ir por el puntaje más alto. Para esto el proceso de licitaciones tiene comunicación con la dirección de tesorería, logística y operaciones, con la dirección de talento humano, con la gerencia y dirección de proyectos y con consultores externos.

- Las personas encargadas de este proceso deben hacer seguimiento a la propuesta hasta el momento en que se publique el acta de adjudicación. Durante ese periodo deben estar pendientes de todos los documentos publicados en el SECOP o en la entidad contratante y hacer observaciones de ser necesario.

Tesorería, Operaciones y Logística

- En este proceso trabajan 4 personas; 1 directora, 2 auxiliares de ingeniería y 1 auxiliar de tesorería. Son los encargados de todas las actividades requeridas para el funcionamiento técnico de los proyectos.
- Les suministran a licitaciones todo lo relacionado con cotizaciones, costos, presupuestos, inventarios y certificaciones de contratos.
- Son los encargados de recibir las solicitudes de pedidos, hacer cotizaciones, tramitar órdenes de compra, evaluar proveedores, enviar órdenes de compra, hacer seguimiento a pedidos, revisar facturas, solicitar pago, programar pago y efectuar el pago a proveedores.
- Controlan todos los suministros e inventarios.
- Cuando el contrato es adjudicado, reciben solicitudes de pedidos, valoran cada ítem, registran en un formato y lo pasan para liberación y autorización de compra por parte de la gerencia.
- Para el proceso de compras, primero se hace una evaluación de proveedores, se consiguen varias cotizaciones y de acuerdo a lo que sea más favorable para la empresa, se escoge el proveedor. Se hace un ingreso a proveedores con la documentación requerida y se negocian las formas y plazos de pago.
- En esta dirección es donde se revisan las facturas radicadas por los proveedores, se verifica la información, se pone un visto bueno y se programa para pago. La programación de pagos se pasa a la gerencia, quien decide los pagos a efectuarse.
- Cuando el proyecto termina, se recoge todo el equipo y material sobrante de las obras, y se ingresa al almacén inventariado.
- Para efectos de facturación a la entidad contratante, esta dirección es la encargada de entregar los soportes como los certificados de cuentas, factura, Rut, y también se encarga de radicar la factura, hacer seguimiento y verificar el ingreso del pago a la cuenta correspondiente.
- A la hora de liquidar el contrato se encargan de tramitar las actas de recibo a satisfacción de obras, de liquidación y las respectivas certificaciones de obra, que deben ser archivadas para control de la experiencia de la empresa.

5.1.2. El Proceso

La empresa caso de estudio, actualmente en los proyectos que ejecuta, los de obra pública representan el mayor porcentaje. El proceso de gestión de construcción de proyectos de obra pública inicia con una revisión de los proyectos ofertados por las entidades públicas a través

de la página de Colombia Compra y otras páginas de entidades con régimen especial de contratación. De esa revisión se hace una preselección de los procesos a los que la empresa puede presentarse según los requisitos. La información principal se consigna en formatos que son presentados al gerente, quien decide a cuáles se van a presentar. Una vez elegidos, inicia el proceso de preparación de las propuestas, para esto, el área de licitaciones se encarga de recopilar toda la información necesaria. Del área administrativa recibe toda la información relacionada con los requisitos legales, hojas de vida, pagos de seguridad social y certificaciones de paz y salvo. Del área de operaciones y logística, recibe información de experiencia, certificaciones, cotizaciones, cantidades ejecutadas, etc. Del área de proyectos recibe análisis de precios unitarios, presupuestos, programación, flujo de caja, entre otros. Del área de contabilidad recibe los índices financieros, estados financieros y certificaciones de revisoría fiscal.

Una vez recopilada toda la información se arman las propuestas, se revisan y se entregan a gerencia. El gerente revisa el presupuesto y hace un análisis de factibilidad, si lo cree conveniente autoriza entregar la propuesta, de lo contrario ordena que se archive. A las propuestas aprobadas para entrega se les hace una precalificación para saber con cuantos puntos posibles cuentan en la calificación de la entidad contratante. Una vez entregada la propuesta, el área de licitaciones hace seguimiento y atienden todos los requerimientos de la entidad hasta el proceso de adjudicación. Cuando el proyecto está adjudicado, el área administrativa es la encargada de gestionar el RUT y las pólizas para la legalización del contrato. El gerente firma el contrato después de la respectiva revisión por parte de su staff jurídico. Normalmente la interventoría ya está contratada para esta etapa del proceso y después de hacer las revisiones y aprobación correspondiente a hojas de vida de los profesionales y programación de obra, se procede a la firma del acta de inicio. Simultáneamente desde el momento de la adjudicación, el área de Dirección de proyectos trabaja en la planificación de los trabajos y revisa planos, especificaciones técnicas, tareas críticas, tiempos de ejecución, con el fin de detectar falencias y anticiparse a cualquier ajuste necesario del proyecto. Así mismo identifica la necesidad de contratación de personal y de asignación de recursos del proyecto. El área administrativa se encarga de buscar los profesionales que cumplan con el perfil requerido. Hace una entrevista telefónica, llena unos formatos con la información general y le presenta al gerente las personas preseleccionadas. El gerente analiza la información y define a quien entrevistar. Las entrevistas las realiza con el director de proyectos y la jefe de talento humano. Cuando se decide a quien contratar, el jefe de talento humano inicia con todo el proceso de vinculación. Por otro lado, el área de logística y operaciones se encarga de coordinar la asignación de recursos. Se encarga de suministrar todo para las instalaciones provisionales de la obra como campamento, almacén, casino, baños y oficinas. También empieza a hacer los primeros pedidos de material, con el objetivo de tener todo listo para iniciar obra a tiempo.

Durante la revisión y planificación de los proyectos, es muy frecuente encontrar necesidades de ajustes que requieren de diseños o rediseños y de asignación de recursos adicionales tanto para los diseños como para la construcción. En estos casos, se hace una solicitud a la entidad contratante, quien de acuerdo a la prioridad que tengan los ajustes dentro del proyecto, decide

contratar a una persona externa para dichos ajustes, o se le hace al contrato una adición tanto en tiempo como en presupuesto. Este proceso tiene unas demoras que van de la mano de políticas de la entidad contratante, por lo que afecta considerablemente el tiempo inicial estimado del proyecto, y en algunos casos el flujo de caja del contratista.

Una vez coordinados los recursos y firmada el acta de inicio, empieza la ejecución de las obras. Durante la ejecución se hacen comités permanentes en conjunto con la entidad contratante y la interventoría, con el fin de hacer seguimiento a la programación y a la inversión de los recursos. En el proceso de construcción resultan situaciones no previstas que se van solucionando en su momento y por lo general requieren de modificaciones en los ítems previstos inicialmente y en sus cantidades. Este tipo de proyectos son muy sensibles a cualquier cambio en actividades y en cantidades, pues por mínimo que sea el cambio, afecta considerablemente el tiempo de ejecución y los recursos inicialmente estimados.

La forma de pago del proyecto es mediante actas parciales de obra mensuales, de acuerdo a las actividades recibidas a satisfacción y cantidades concertadas con interventoría. Cuando una actividad debe corregirse por calidad, el contratista debe entrar a hacer las modificaciones respectivas antes de incluirla en el cobro.

Cuando la obra está ejecutada en su totalidad, la interventoría hace una primera revisión de entrega dejando consignando en un acta los detalles a corregir. Una vez corregidos los detalles se elabora un acta de recibo a satisfacción y posteriormente se procede a liquidar el proyecto. Con el acta de liquidación, el contratista empieza a gestionar las certificaciones correspondientes, con la entidad contratante, a fin de poderlas incluir dentro de su experiencia en el Registro único de proponentes expedido por la Cámara de Comercio.

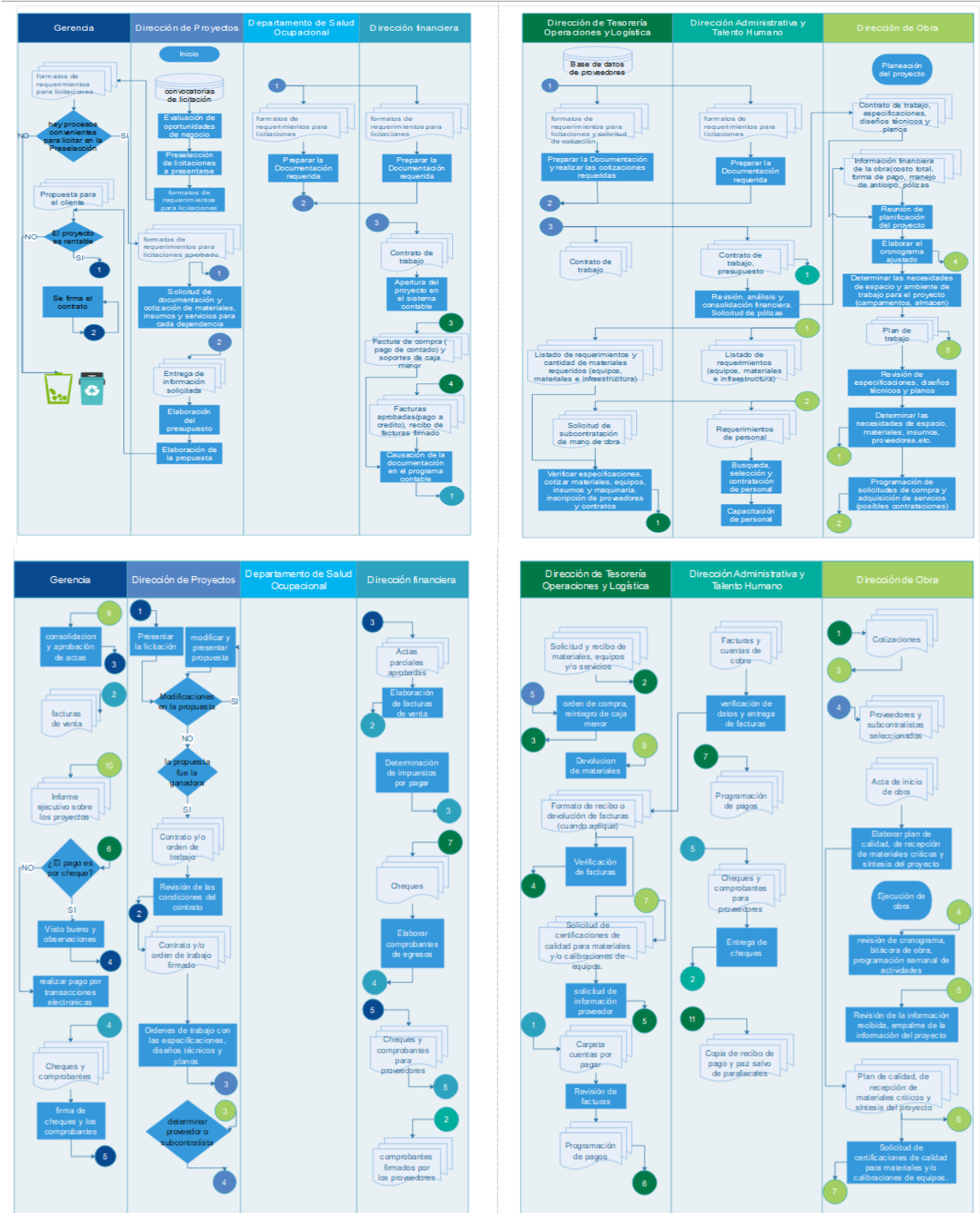
5.2. Mapa del Estado Actual

En la Figura 1 Mapa del Estado Actual, se pueden identificar los flujos de información y de materiales, así como las interacciones que se dan en el proceso. Para construir este mapa se hizo uso de una herramienta llamada SIPOC-Z, que permitió conocer el proceso paso a paso y el flujo de la información. Se construyó un mapa de flujo del proceso en gran formato, tanto horizontal (Anexo 1) como vertical (Ilustración 6 Mapa del Flujo de Valor Vertical (VSM)), que permitió visualizar el flujo de valor en su totalidad, desde que nace el proyecto hasta que se entrega, mostrando todas las actividades que agregan y que no agregan valor al proceso y cómo transita la información y el proyecto a través de diferentes áreas. En este mapa de flujo también se pudo identificar el tiempo que consume cada paso en las estaciones de trabajo y conocer de manera más precisa los desperdicios, que al final se traducen en demoras que no son favorables para el flujo del proceso.

En el caso de estudio se mapeó un flujo con características de un proceso transaccional. El área responsable de la gerencia tiene centralizadas todas las decisiones, de manera que la ejecución del proyecto de construcción, para que fluya, no depende solo de la gestión de otras áreas sino de las autorizaciones que estas requieren de la gerencia. Estas autorizaciones

generan en el proceso un vaivén de información aumentando actividades que no agregan valor y con ello mayor desperdicio.

El proceso principal se convierte en cliente de otros procesos, que vistos desde la cadena de valor en estudio, se pueden identificar como cadenas anidadas. En cada cadena se presentan demoras en la atención del proyecto, ya que dependen de las autorizaciones de gerencia para dar trámite a cada una.



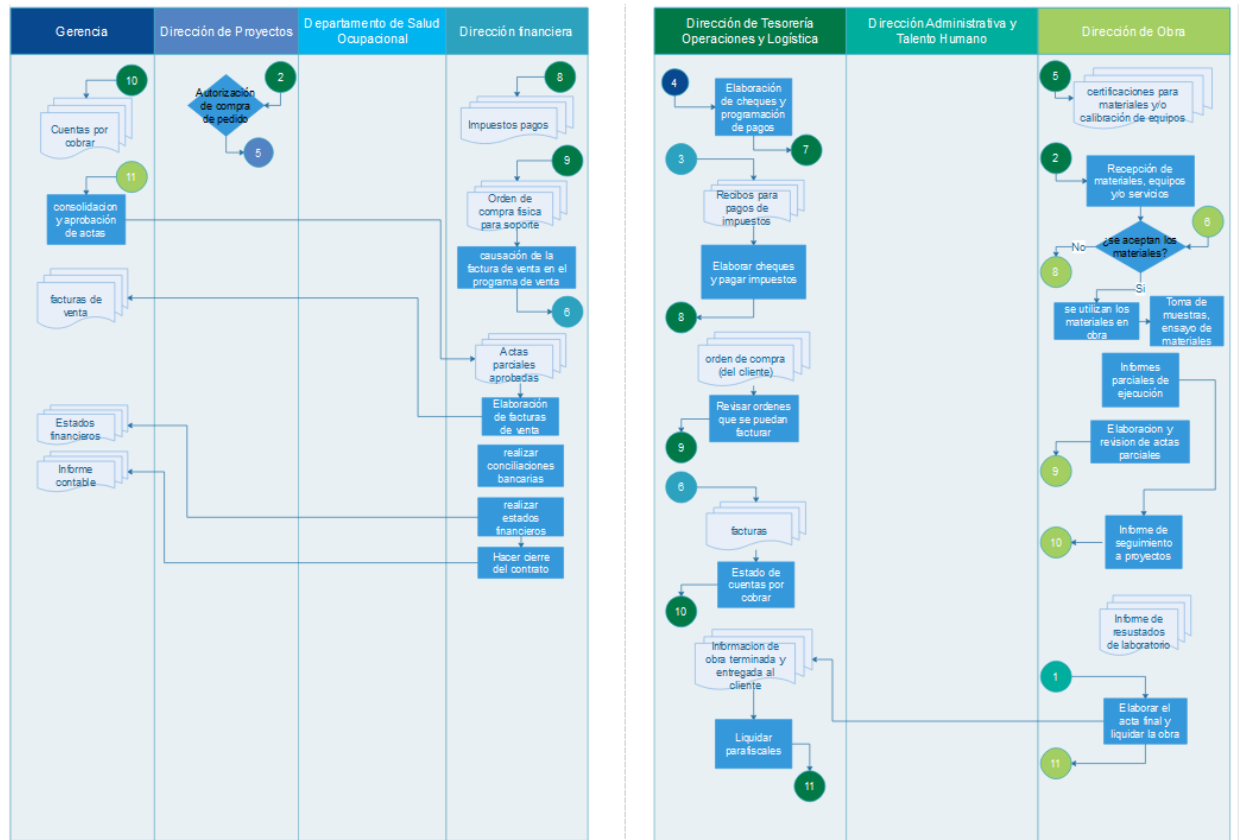


Ilustración 6 Mapa del Flujo de Valor Vertical (VSM)
Fuente: Propia

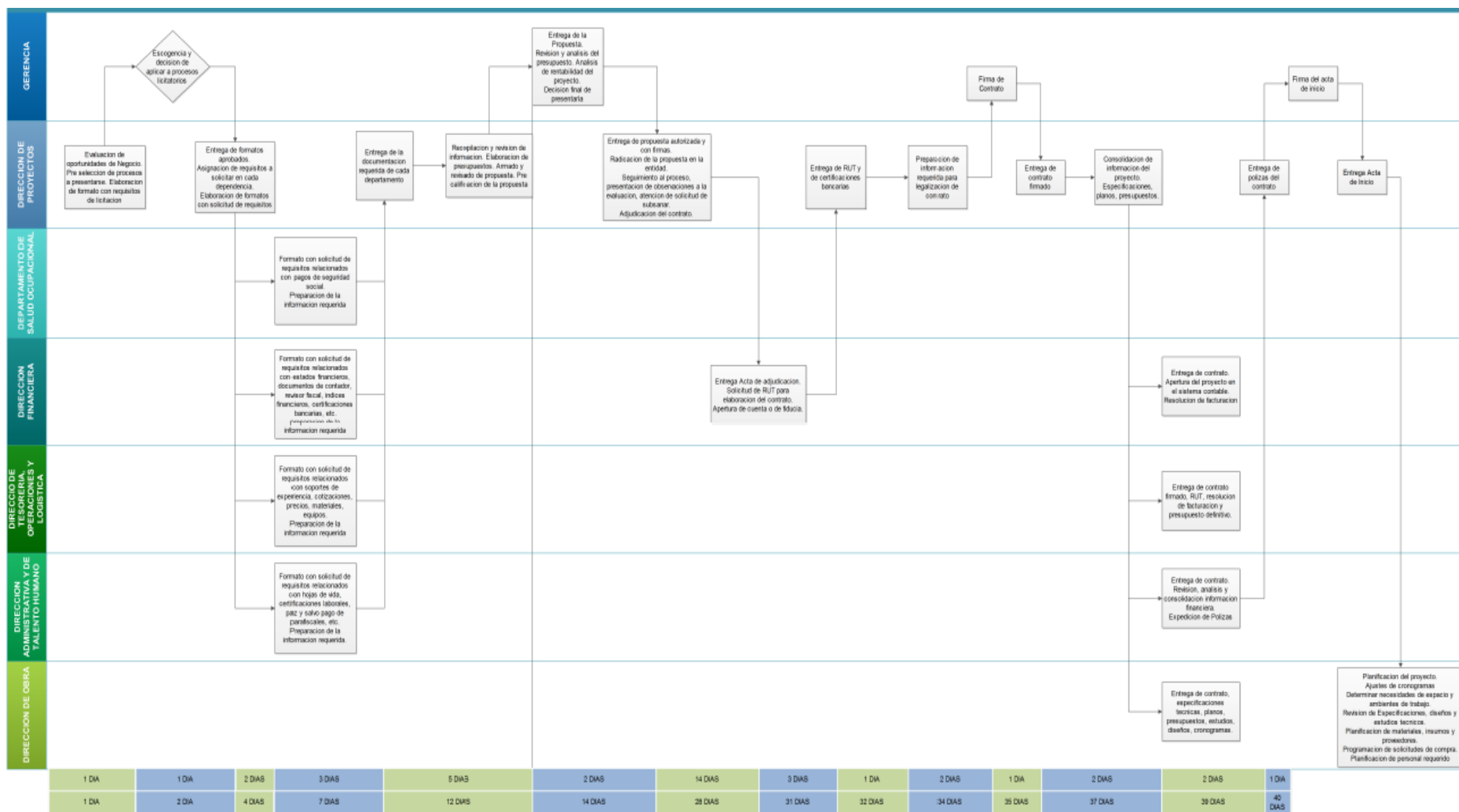


Ilustración 7 Mapa del Flujo de Valor Horizontal (VSM)

Fuente: Propia

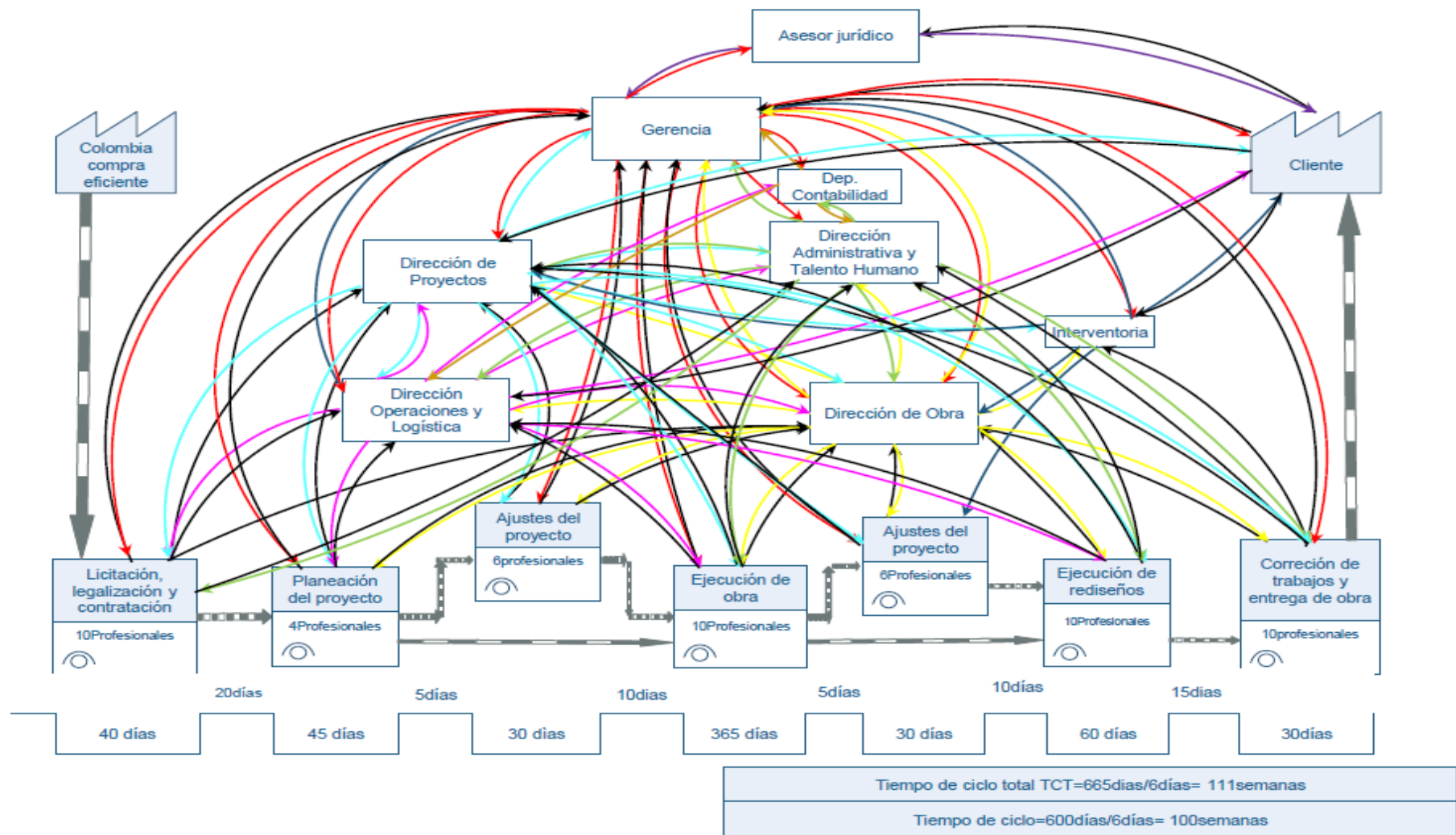


Figura 1 Mapa del Estado Actual
Fuente: propia.

5.3. Interrelaciones entre los Factores y Variables del Proceso de Gestión De Producción de Proyectos de Construcción de Obra Pública

Para poder comprender el comportamiento del sistema, es importante entender el comportamiento de cada elemento que lo conforma y cómo interactúa con los demás, y de esta manera identificar cómo sus acciones pueden afectar el sistema completo. A partir de esto se busca encontrar una alternativa de intervención, de manera que al impactar cada elemento, mejore el comportamiento general del sistema completo.

En el diagrama de interrelaciones se presentan los elementos en relaciones causales que pueden agruparse en subsistemas como son:

- a) Licitaciones
- b) Proyectos en ejecución
- c) Inversión
- d) Tiempo de ejecución

A continuación, en el Grafico 1 Diagrama Causal o de Interrelaciones se presenta el diagrama de interrelaciones o diagrama causal del caso de estudio:

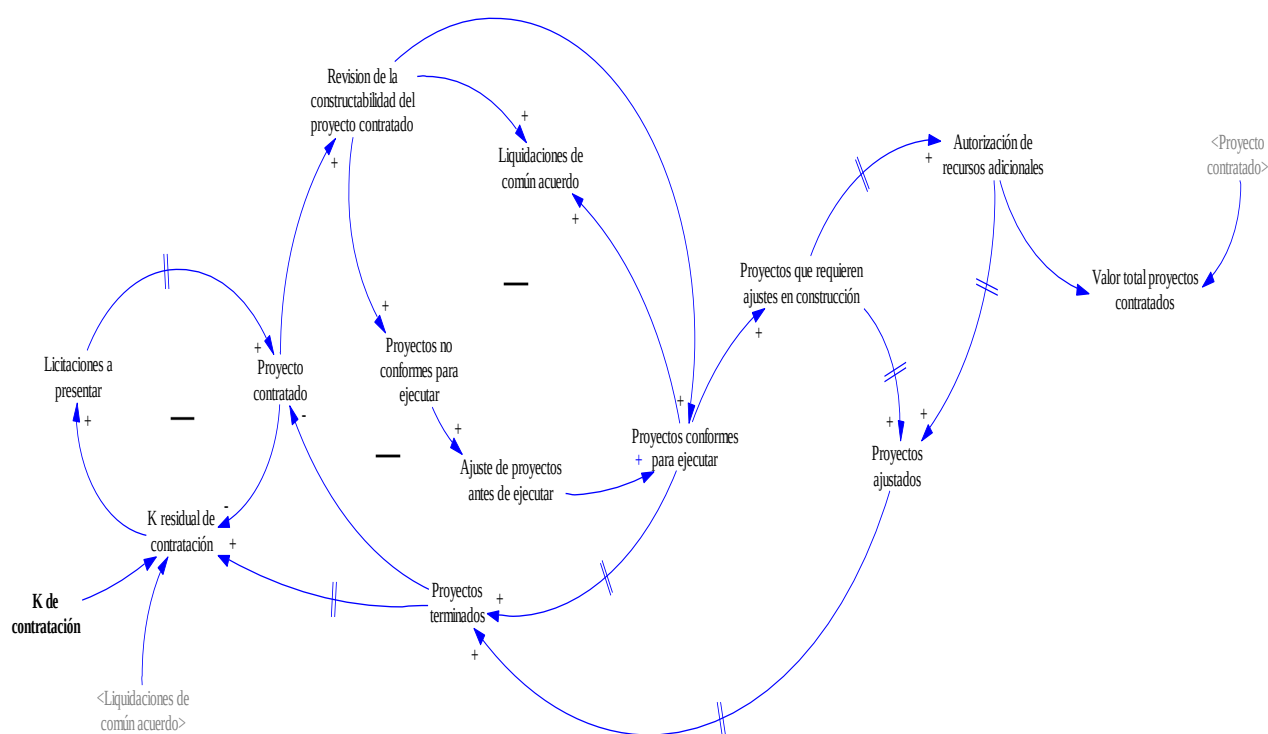


Grafico 1 Diagrama Causal o de Interrelaciones
Fuente: Propia.

En un diagrama causal se muestran los elementos de un sistema y sus interrelaciones, que son representadas por flechas con un signo positivo (+) o negativo (-) según la relación que se dé

entre dos elementos, si un cambio en el primer elemento genera un cambio en el mismo sentido en el otro, se da una relación positiva de lo contrario se da una relación negativa. Un bucle de retroalimentación se genera por la interacción de varios elementos del sistema, si todas las relaciones del bucle son positivas o la suma de las relaciones negativas es par, sería un bucle de refuerzo (positivo), estos se caracterizan por que tienden a generar el cambio en la misma dirección, lo que no siempre conlleva a un crecimiento exponencial, pero si a una amplificación; Por otro lado si todas las relaciones del bucle son negativas o la suma de relaciones negativas es impar, se tendría un bucle de compensación, estos se caracterizan por oponerse al cambio original y/o mitigar los efectos del cambio inicial, estos bucles son muy comunes en sistemas de crecimiento controlado, que a diferencia de los sistemas que son principalmente de bucles positivos tienden a ser más estables.

El diagrama causal del Grafico 1 Diagrama Causal o de Interrelaciones, recoge los elementos claves del sistema y los relaciona entre sí. Para la elección de estos elementos, se tuvieron en cuenta qué partes del sistema eran los más relevantes para llevar a cabo el objetivo principal de la organización, que es la producción de proyectos de construcción de obra pública.

Se eligieron elementos según los subsistemas que gobiernan la organización, comenzando por el subsistema de licitaciones del cual se eligió el elemento de **Licitaciones a presentar**, para tomar éste, se tuvo en cuenta que gran parte de los procesos que se dan en este subsistema dependen íntimamente a sistemas externos como lo son las entidades estatales que son las que definen los tiempos de los procesos, por esto se comienza el análisis desde el número de licitaciones a presentar, el cual la empresa tiene la oportunidad de variar. Continuando desde este punto se tiene el elemento **K residual de contratación**, que limita el número de las licitaciones a presentar según el estado financiero actual de la empresa, y que permite llegar al siguiente elemento de este sistema que es el **Proyecto contratado**, a este se llega pasando por procesos externos del sistema. De aquí sigue la **Revisión de la constructabilidad del proyecto contratado**, en este se evalúa la factibilidad de la construcción del proyecto, la calidad de la información y recursos que realmente se necesitan para llevar a cabo la construcción, con esta información se decide, si se hace una **Liquidación de común acuerdo** para desistir del contrato, se pasa como **Proyecto conforme para ejecutar**, o como **Proyecto no conforme para ejecutar**, que pasaría a **Ajuste de proyectos antes de ejecutar** y luego a **Proyecto conforme para ejecutar**, la siguiente parte importante del sistema es la de **Proyectos que requieren ajustes en construcción**, de aquí a **Autorización de recursos adicionales** o a **Proyectos ajustados** que se conecta a los **Proyectos terminados**, también está el **Valor total proyectos contratados** que viene conectada de Proyectos contratados y de Autorización de recursos adicionales. Este diagrama trata de plasmar de manera gráfica y simplificada el sistema objeto de estudio.

En el diagrama del Grafico 1 Diagrama Causal o de Interrelaciones, se puede evidenciar tres bucles de retroalimentación de compensación conformado por **Licitaciones a presentar**, **Proyecto contratado** y **K residual de contratación**, en donde hay dos relaciones positivas y una negativa entre proyecto contratado y K residual de contratación, esta relación tiene una función de control ya que entre más proyectos se tengan contratados en determinado momento mi capacidad K para contratar nuevos proyectos disminuye. El segundo bucle de retroalimentación de compensación está compuesto por **Proyecto contratado**, **Revisión de la constructabilidad del proyecto contratado**, **Proyecto conforme para ejecutar** y **Proyectos terminados**, en este bucle solo hay una relación negativa la cual es entre proyectos terminados y proyectos contratados, ya que entre más proyectos terminados hay menos proyectos contratados porque estos se des acumulan al llegar a ser proyectos

terminados. El tercer bucle de retroalimentación es similar al segundo, la única diferencia es que se pasa por los elementos del sistema de **Proyectos no conformes para ejecutar** y por **Ajustes de proyectos antes de ejecutar**, al igual que en el bucle anterior, en este solo hay una relación negativa entre proyectos terminados y proyectos contratados.

5.4. Mapa del Problema

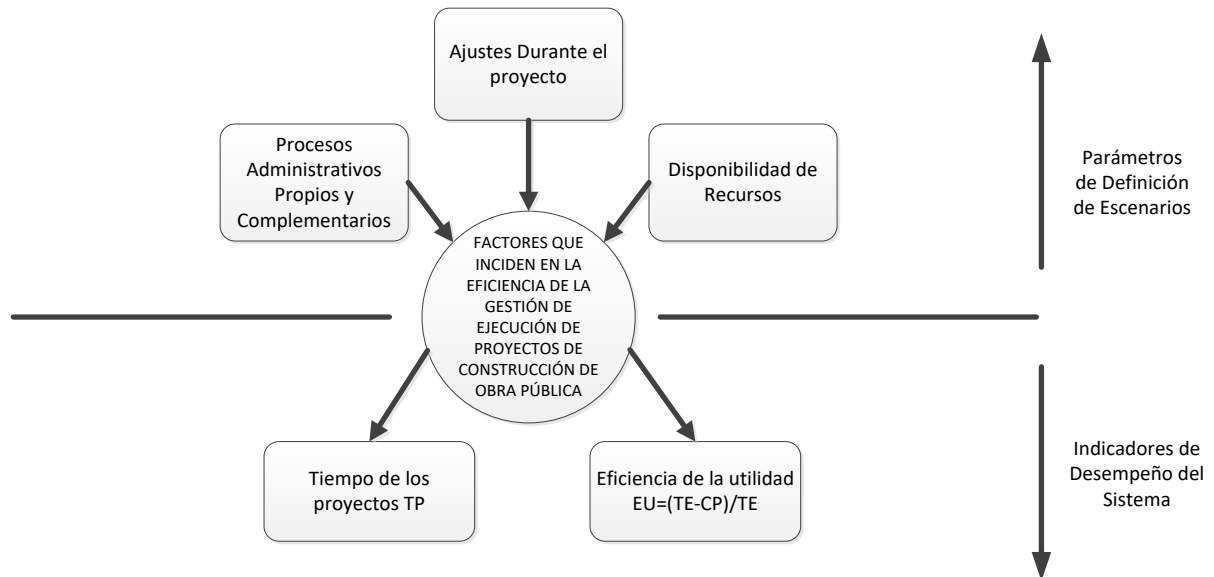


Gráfico 2 Mapa del Problema

Fuente: Propia.

El Gráfico 2 Mapa del Problema muestra una herramienta por medio de la cual se pueden relacionar los factores que definen los escenarios a simular, así como mostrar los indicadores de desempeño del sistema. Los parámetros que definen los escenarios de simulación son: Procesos propios y complementarios, Ajustes durante el proyecto y Disponibilidad de recursos, mientras que los indicadores que se van a evaluar son:

Tiempo de los Proyectos (TP)

Esta variable acumula los tiempos individuales de cada proceso por el cual pasa el proyecto de construcción, entre estos tiempos están:

Tiempo de legalización y contratación

Tiempo de planeación del proyecto

Tiempo medio de ajuste de proyectos

Tiempo de ejecución de proyectos

Tiempo de ejecución de proyectos ajustados

Tiempo medio de ajuste de contrato

Tiempo autorización de recursos adicionales

Tiempo de liquidación

Esta variable arroja como resultados los tiempos individuales que dura cada proyecto de construcción que desarrolla el sistema que se está analizando.

Eficiencia de la Utilidad (EU)

$$EU = \frac{(TE-CP)}{TE} \text{ Donde,}$$

EU = Eficiencia de la utilidad

CP = costos de los proyectos

TE = total ejecutado

5.5. Análisis Estructural del Problema

Se identificaron tres factores que afectan directamente el flujo del proceso, estos son: Procesos administrativos propios y complementarios, Ajustes durante el proyecto y disponibilidad de recursos. A continuación, se explican cada uno de ellos:

5.5.1. Procesos Propios y Complementarios:

La estructura de la organización es cefálica, todas las decisiones por pequeñas que sean, las debe tomar la gerencia, en su mayoría en conjunto con la dirección técnica. Esto exige una interacción continua entre cada área y la gerencia, donde la información va y viene sin control de tiempo, generando demoras en cada estación de trabajo por donde debe pasar el proceso principal, incluyendo en muchos casos reprocesos y colas en la atención, ya que la empresa ejecuta diferentes proyectos simultáneamente. Sumado a esto, por tratarse de proyectos de obra pública, el flujo del proceso principal se afecta directamente por las políticas internas y demoras en los procesos y la gestión de la entidad contratante.

Lo mencionado, se traduce no solo en demoras y afectación del plazo legal de los proyectos de construcción, sino también en sobre costos administrativos y financieros.

5.5.2. Ajustes durante el proyecto:

Los proyectos de obra pública deben pasar por diferentes fases de preparación para su aprobación y contratación. Las entidades estatales cuentan con un tiempo limitado para ejecución del presupuesto asignado en cada vigencia. Para que un proyecto pueda salir a licitación, debe contar con estudios y diseños que, en el mayor de los casos, son ejecutados mucho tiempo antes y por la premura del proceso no son revisados y verificados a la minucia. Por esto, después de asignarse un proceso licitatorio, a la hora de ejecutarse, es muy frecuente encontrar incoherencia entre los diseños y las condiciones reales del proyecto; incluso se presentan necesidades de estudios y diseños para situaciones no previstas inicialmente y que son prioritarias y necesarias para cumplir a cabalidad con el objeto del contrato. En estas condiciones, son proyectos que no están madurados, es decir, no se pueden construir hasta no contar con la información suficiente y necesaria para ser llevados a cabo exitosamente con un mínimo impacto en costos, tiempo y calidad.

Para seguir adelante con el proyecto se hace necesario entrar a hacer los ajustes correspondientes involucrando usualmente consultores externos. Esto demanda tiempo y por lo general recursos adicionales, que para ser obtenidos deben cursar un proceso enmarcado dentro de la normatividad de la Ley de Contratación Estatal y políticas internas de la entidad contratante.

Esto afecta considerablemente el normal avance del proyecto, pues en el mejor de los casos, estos imprevistos logran identificarse en la etapa de planeación, sin embargo, lo más frecuente es que las partes se empiecen a percatar a medida que van avanzando las actividades. En este punto ya empiezan los problemas para el contratista, pues por la naturaleza de este tipo de contratos, el tiempo siempre es limitado y una espera de dos meses, que es el tiempo promedio necesario para ajustes, puede afectar enormemente no solo el tiempo inicial estimado sino también el flujo de caja y la rentabilidad, ya que estos tiempos muertos consumen recursos.

Es cuando se hace necesario recurrir a recursos como suspensiones, prorrogas o modificaciones tanto en plazo como en presupuesto, que no siempre cuentan con la viabilidad de la entidad contratante.

5.5.3. Disponibilidad de Recursos:

En los últimos años la Ley de contratación en Colombia ha venido sufriendo diferentes cambios. Entre ellos, la eliminación de obligatoriedad de entregar un porcentaje del valor del contrato a manera de anticipo. De esta forma es el contratista quien debe contar con financiación, ya sea mediante un cupo crédito o por medio de una fiducia, para poder iniciar actividades. El valor promedio exigido dentro de este tipo de contratos es el 30% del valor total.

Uno de los factores que tiene mayor afectación en el correcto desarrollo del proyecto, es el flujo de caja. Así las cosas, una vez agotado ese 30% obligatorio para iniciar el proyecto, el contratista depende únicamente de los pagos que hace la entidad contratante mediante actas parciales de pago mensuales. El pago de estas actas está sujeto a varios procesos que se deben agotar tanto al interior de la empresa contratista como en la empresa contratante. Primero debe pasar por una aprobación de la interventoría, de acuerdo con conciliación de cantidades y actividades recibidas a satisfacción, luego se deben diligenciar diferentes documentos para radicar el acta y por último pasa por la revisión de la supervisión del contrato antes de autorizarse el pago.

A lo anterior se debe sumar la problemática asociada a la necesidad de reajustes del proyecto. Pues por un lado se debe esperar a que se aprueben las modificaciones y a que estén listos los diseños, y, por otro lado, las actividades adicionales que se pueden ir ejecutando no se pueden llevar a cabo mientras tanto no estén aprobados los recursos. En muchas ocasiones esta situación frena también actividades contractuales, que si no se ejecutan como se tenía previsto, empiezan a afectar el flujo de caja programado.

Los procesos asociados a las situaciones mencionadas a menudo toman bastante tiempo y es por eso que la disponibilidad de recursos se convierte en uno de los factores más críticos que afectan el flujo del proyecto.

5.6. Intervención del Sistema

5.6.1. Intervención en Procesos Propios y Complementarios:

En este punto se propone delegar ciertas responsabilidades a las cabezas de los procesos sin desligar por completo las decisiones de la gerencia. Si bien es cierto que el gerente debe autorizar la ejecución de decisiones importantes, este proceso puede resultar mucho más sencillo si pasa por un filtro importante en cada área de la organización, donde el responsable de cada proceso tenga unos criterios definidos y claros para tomar decisiones hasta cierto nivel.

Es así como la dirección administrativa puede llevar a cabo todo el proceso de reclutamiento de personal previo a la firma del contrato, sin tener que involucrar al gerente en cada uno de los filtros del proceso.

Por otro lado, en el proceso de licitaciones, con el fin de eliminar obstrucción del flujo del proceso al tener que esperar una segunda revisión y aprobación de presentación de la propuesta, se propone que una vez esté listo el presupuesto, se pueda evaluar la rentabilidad del proyecto y de acuerdo a unos criterios fijados por la gerencia, se tome la decisión de presentarla o no, sin tener que esperar a que sea el gerente quien haga todo este análisis.

En cuanto a la dirección de proyectos, se debe contar con profesionales idóneos que estén en la capacidad de adelantar análisis técnicos y proponer soluciones, para que el gerente pueda tomar decisiones rápidas sin entrar en detalles que no son de su nivel. Lo anterior incluye la etapa de planeación del proyecto, ejecución de las obras y entrega de los trabajos.

De esta manera, la intervención propuesta en este factor, puede impactar directamente el flujo de información, eliminando tareas desperdiciadoras que no generan valor y de esta forma se agiliza el flujo físico del mismo.

5.6.2. Intervención en Ajustes durante el proyecto:

La empresa debe estar en capacidad de hacer una factibilidad del proyecto, previa a la presentación de un proceso licitatorio. De esta manera puede anticiparse e identificar posibles errores omitidos por la entidad contratante durante la formulación del proyecto. Al poder identificar falencias en esta etapa, se tiene la oportunidad de hacer observaciones a tiempo para que la entidad logre hacer las correcciones y/o adiciones en dinero pertinentes en la etapa precontractual, donde cualquier demora no afecta directamente al contratista, pues aun no empiezan a correr las condiciones del contrato. Para esto se propone contar con un staff de asesores externos que revisen técnicamente el proyecto paralelamente a la organización documental y preparación de la propuesta.

Es natural que en este tipo de proyectos se presenten situaciones no previstas y que se tienen que superar para cumplir a cabalidad con el objeto del contrato. Estas situaciones se convierten en críticas dentro de la programación inicialmente planeada, tanto de tiempo como de costos. Por ello la empresa debe estar preparada para afrontar estos impases y estar en la

capacidad de actuar a tiempo. Para esto se propone que el contratista ponga de su parte y no le delegue todo a la entidad contratante. Es decir, que debe estar en la capacidad de ofrecerle a la entidad contratante, una solución tanto de diseños como de ejecución, con la solicitud de modificaciones necesarias al proyecto inicial. Contando con un equipo técnico eficiente, se puede agilizar esta etapa de reajustes y evitar retrasos durante la etapa de construcción, ya que no estaría sujeta únicamente a la gestión de la entidad.

Sin desconocer la obligatoriedad de una aprobación y adición, ya sea en tiempo y/o en presupuesto, se debe contar con una fuente alternativa de financiación, con el fin de seguir adelante con la ejecución mientras la entidad desembolsa el dinero necesario.

Si bien es cierto que esta propuesta requiere de una mayor inversión en recursos en esta etapa crítica, es muy probable que se optimice el tiempo de ejecución, disminuyendo costos administrativos y costos de tiempos muertos, equilibrando consecuentemente el costo beneficio de esta decisión.

5.6.3. Intervención en Disponibilidad de Recursos:

Garantizar un flujo de caja muy cercano al inicialmente programado se convierte en una actividad crítica, pues no depende solo del avance de la ejecución sino del trámite que se debe agotar tanto al interior de la empresa como en la entidad contratante. Para minimizar el tiempo que demanda este proceso, se propone que, dentro de la estructura de la organización, en la parte de ejecución de obra, se incluya un nuevo cargo llamado residente administrativo, quien estará a cargo de mantener al día cantidades de obra ejecutada, memorias de cálculo, análisis de precios unitarios de ítems no previstos, reajustes en el presupuesto, actualización de los cronogramas de obra y planos récord. Con toda esta información en tiempo real organizada, se puede reducir considerablemente el tiempo que normalmente le toma a la gerencia y a la dirección de proyectos la revisión de las actas parciales de pago y de las modificaciones necesarias. Así mismo se puede llevar un control más preciso de las actividades realmente ejecutadas, los costos y los desperdicios, garantizando que se cobre lo realmente ejecutado sin que se escapen actividades que consumen recursos y que muchas veces son pasadas por alto. Este control es muy difícil ejercerlo tal como está planteada la organización actualmente.

5.7. MODELO DINÁMICO

El objetivo básico de la dinámica de sistemas es conocer las causas que provocan el comportamiento de un sistema, analizando cómo se comporta cada elemento y que impacto tienen las acciones sobre estos en el comportamiento general del sistema. Además, la dinámica de sistema es especialmente útil para el estudio de sistemas complejos, que se caracterizan por ser no lineales y poco intuitivos, permite incluir parámetros que varían en el tiempo y una gran cantidad de variables interconectadas.

Teniendo en cuenta lo anterior y que el sistema que se está evaluando en este trabajo se caracteriza por tener una importante cantidad de elementos interconectados, y que la dinámica de sistemas permite dar un conocimiento general de como las acciones sobre unas

partes afectan a otras, sin perder de vista el enfoque en el todo que es el sistema, se decide utilizar esta herramienta para focalizar las acciones de mejora en los elementos que se identifiquen que al momento de aplicar acciones sobre estos muestren una mejora para el sistema en general.

5.7.1. Factores del Problema

Con ayuda del software VENSIM® se desarrolló el modelo y se construyó el diagrama de Forrester Grafico 4 Diagrama de Forrester, así mismo se identificó la estructura de retroalimentación del modelo.

El modelo que se ha planteado para representar la respuesta en el tiempo del sistema de gestión de producción de proyectos de construcción de obra pública está conformado con los tres subsistemas principales que más afectan el proceso, estos son: los subsistemas de licitaciones, de proyectos en construcción, de la inversión y del tiempo de ejecución. A partir del modelo se sacan los gráficos que definen el desempeño del sistema. Los factores con los que se configuran los escenarios son:

Factor A: Procesos propios y complementarios

Factor B: Ajustes durante el proyecto

Factor C: Disponibilidad de recursos

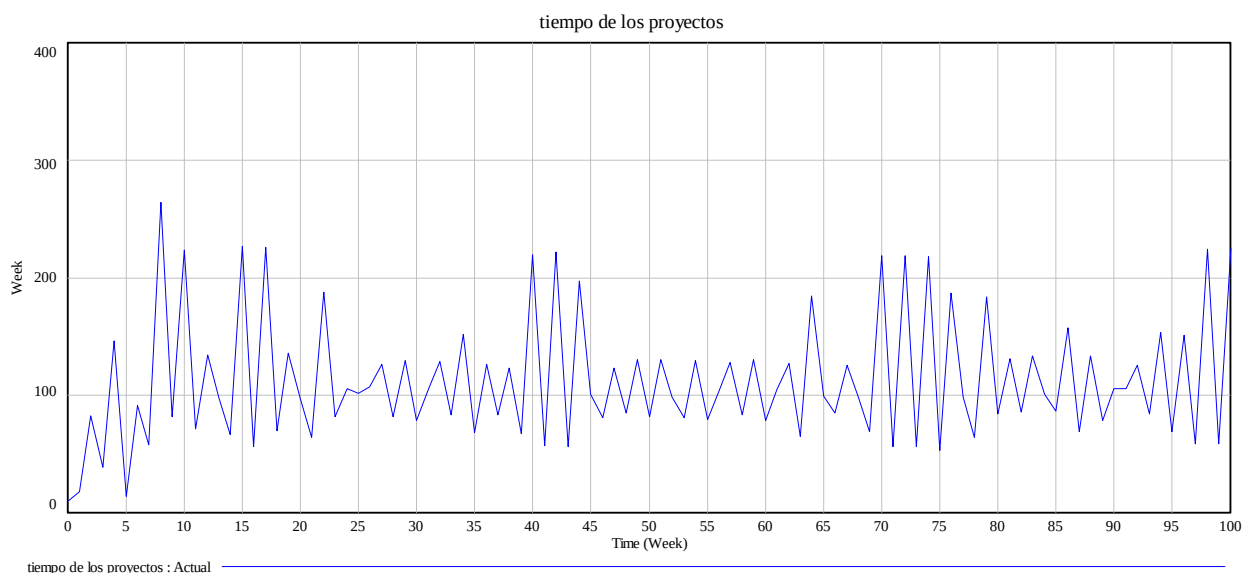


Gráfico 3 Tiempo de los proyectos (modelo del estado actual)

Fuente: Propia.

En el Gráfico 3 Tiempo de los proyectos (modelo del estado actual) se muestra uno de los indicadores de desempeño, el tiempo de los proyectos. En esta grafica se observa cómo varía el tiempo de desarrollo de los diferentes proyectos de construcción que se realizarían en la empresa según los datos del modelo actual. Según los datos recolectados sobre la duración de

los proyectos de construcción, este grafico nos muestra una buena aproximación a la situación real de la organización ya que el promedio normal de duración de los proyectos esta alrededor de las 111 semanas y que también hay casos en que esta duración se aumenta en gran medida debido a inconvenientes por tiempos que dependen de las entidades estatales y/o demoras por la disponibilidad de recursos.

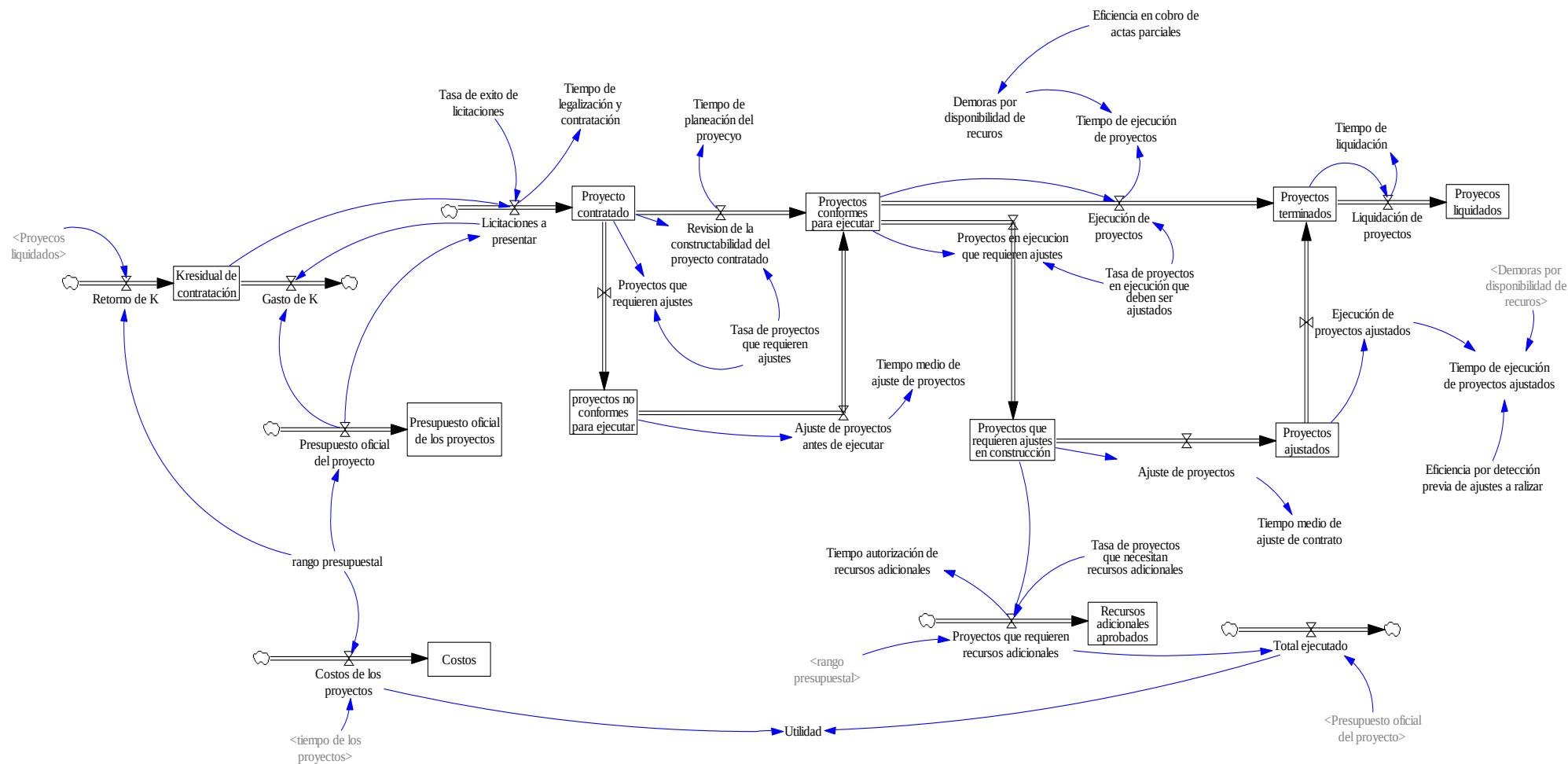


Grafico 4 Diagrama de Forrester

Fuente: Propia

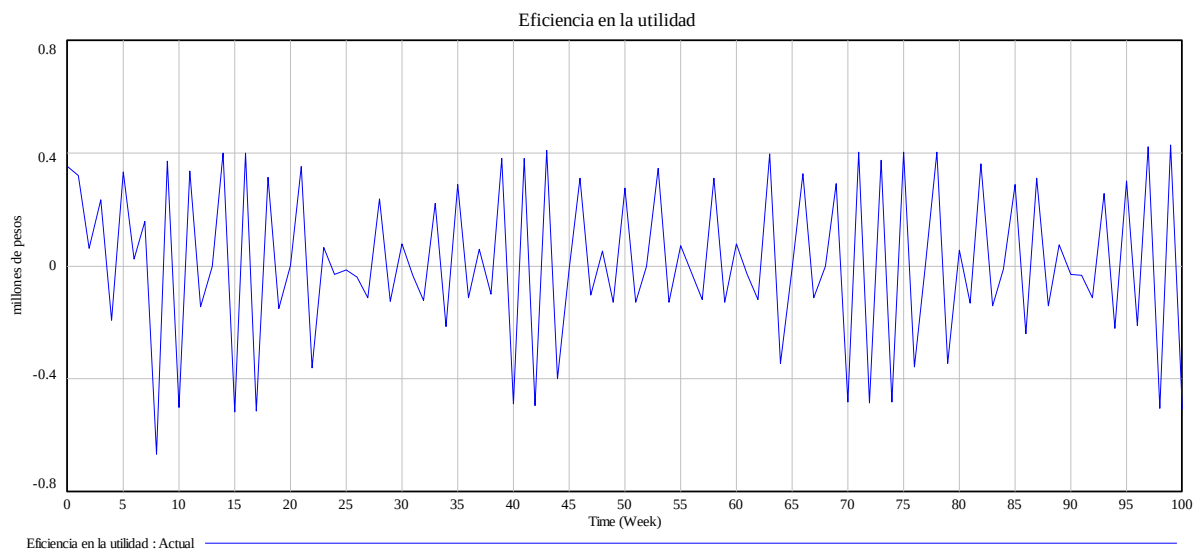


Gráfico 5 Eficiencia de la Utilidad
Fuente: Propia.

En el Gráfico 5 Eficiencia de la Utilidad, se muestra cómo varía la eficiencia en la utilidad, donde se compara el costo de los proyectos con el total ejecutado.

En los gráficos anteriores se puede ver cómo se comportan las variables que representan los indicadores de desempeño del sistema y que muestran un rango de valores que se dan en distintos instantes de tiempo y con diferentes particularidades, como el número de proyectos que se están ejecutando y el presupuesto que tiene cada uno de ellos, esto da un gran panorama para dar una idea de cómo se comporta la empresa en ciertos instantes de tiempo, estos datos reflejan cómo se comporta la organización actualmente, mostrando una buena aproximación de cuál es el tiempo promedio de duración de los proyectos y del comportamiento de las utilidades que en ciertas ocasiones muestran pérdidas y que las ganancias que muestran se asemejan al comportamiento actual.

5.7.2. Validación del Modelo

Cuando se simuló el estado actual, se pudo verificar que hay buena aproximación a la situación real de la empresa. Al correr el modelo del estado actual arrojó un tiempo promedio de 111.24 semanas. Este dato es similar al tiempo total estimado de duración de proyectos en la Ilustración 7 Mapa del Flujo de Valor Horizontal (VSM), que es de 111 semanas. Esta diferencia se debe a que para el modelo se utilizaron en ciertas variables un rango de valores probables para tener en cuenta la gran variabilidad que existe entre los proyectos.

El modelo actual presenta los siguientes indicadores:

TP: 111.24 (Tiempo de los Proyectos)

EU: 0,215 (Eficiencia de la utilidad)

6. RESULTADOS

6.1. Formulación y Simulación de Escenarios

Con la combinación de los tres factores del problema, se logró obtener 7 escenarios de comportamiento del sistema. Con cada uno de estos escenarios se pudo obtener diferentes valores para los indicadores del estudio establecidos. Para un entendimiento más claro del comportamiento de los indicadores de desempeño, se hizo necesario normalizar los resultados. En la Tabla 4 Resultados de Simulación de Escenarios se relacionan los resultados de la simulación del estado actual y de cada uno de los escenarios y sus combinaciones sin normalizar. En la Tabla 5 Resultados de Simulación de Escenarios con resultados normalizados se puede ver los resultados ya normalizados y la identificación del escenario más favorable.

Escenario	Factores	Valores promedio de las simulaciones				
		Parámetros de Definición de Escenarios			Indicadores de Desempeño	
		EDPA	ETD	ECAP	TP	EU
ACTUAL	ACTUAL	0,001	0,001	0,92	111,24	0,215
1	A	0,001	0,4	0,92	89,9	0,225
2	B	0,4	0,001	0,92	99,81	0,203
3	C	0,001	0,001	0,98	111,07	0,22
4	A, B	0,4	0,4	0,92	77,51	0,214
5	A, C	0,001	0,4	0,98	89,25	0,229
6	B, C	0,4	0,001	0,98	97,62	0,204
7	A,B,C	0,4	0,4	0,98	75,8	0,213

Tabla 4 Resultados de Simulación de Escenarios

Fuente propia, donde EDPA (eficiencia por detección previa de ajustes a realizar), ETD (eficiencia en tiempo por toma de decisiones) ECAP (eficiencia en el cobro de actas parciales), TP (tiempo de los proyectos), EU (eficiencia en la utilidad).

Escenario	Factores	Valores promedio de las simulaciones				
		Parámetros de Definición de Escenarios			Indicadores de Desempeño	
		EDPA	ETD	ECAP	Porcentaje de mejora	
					TP	EU
ACTUAL	ACTUAL	0,001	0,001	0,92	0	0
1	A	0,001	0,4	0,92	19,18%	4,65%
2	B	0,4	0,001	0,92	10,28%	-5,58%
3	C	0,001	0,001	0,98	0,15%	2,33%
4	A, B	0,4	0,4	0,92	30,32%	-0,47%
5	A, C	0,001	0,4	0,98	19,77%	6,51%
6	B, C	0,4	0,001	0,98	12,24%	-5,12%
7	A,B,C	0,4	0,4	0,98	31,86%	-0,93%

Tabla 5 Resultados de Simulación de Escenarios con resultados normalizados

Fuente propia, donde EDPA (eficiencia por detección previa de ajustes a realizar), ETD (eficiencia en tiempo por toma de decisiones) ECAP (eficiencia en el cobro de actas parciales), TP (tiempo de los proyectos), EU (eficiencia en la utilidad).

Parámetros de definición de escenarios:

- **EDPA** = Eficiencia por detección previa de ajustes a realizar
- **ETD** = Eficiencia en tiempo por toma de decisiones
- **ECAP** = Eficiencia en el cobro de actas parciales

Indicadores de desempeño:

- **TP** = Tiempo de los proyectos
- **EU** = Eficiencia en la utilidad

En la Tabla 4 Resultados de Simulación de Escenarios y Tabla 5 Resultados de Simulación de Escenarios con resultados normalizados, se consignan cada uno de los resultados de los escenarios, donde se resaltan en verde cuales fueron los parámetros que se variaron respecto al escenario actual y su acción reflejada en los indicadores de desempeño del sistema. Es de anotar que comparando todos los resultados, los escenarios 1, 2 y 3 que evalúan individualmente una variación en cada uno de los tres factores, muestran una respuesta en el sistema a través de los indicadores que va en caminata a la lógica de las intervenciones, por ejemplo para el escenario 1 en el que se evalúa una acción de mejora en el factor A, mediante la mejora en el parámetro ETD se ve una mejora importante en el TP y una mejora en la EU ya que el factor A implica una disminución en los tiempos al descentralizar la toma de decisiones sin necesidad de incurrir en gastos de más personal, se disminuyen los costos al disminuir los tiempos de permanencia en obra. En el escenario 2 en el que se evalúa el factor B, mejorando el parámetro EDPA, se nota un mejor resultado en el TP, pero se genera un resultado negativo en la EU, esto debido a que al proponer un staff externo que revise los proyectos en etapa precontractual mejora mis tiempos de desarrollo de proyecto, pero aumenta mis costos al incluir personal para realizar estas revisiones. En el escenario 3 en el que se realiza una acción de mejora en el factor C interviniendo el parámetro ECAP, se puede evidenciar una leve mejora en el TP y un buen resultado en la EU, esto porque al incluir personal encargado de mantener los cobros a tiempo, se garantiza más la disponibilidad de recursos y el cobro eficiente de las cantidades de obra reales disminuyendo perdidas por falta de control de estas. Que la mejora en estos elementos individuales se traduzca en una mejora al sistema y que esta tenga un sentido lógico según la acción tomada, valida en cierto modo la respuesta del modelo a las variaciones que se le hacen en sus elementos individuales.

En el Grafico 6 Tiempo de los proyectos de los 7 escenarios simulados. se muestra uno de los indicadores de desempeño, el tiempo de los proyectos. En esta grafica se observa cómo varía el tiempo de desarrollo de los diferentes proyectos de construcción que se realizarían en la empresa según los datos del modelo actual.

En el Grafico 7 Eficiencia de la Utilidad de los 7 escenarios simulados. se muestra cómo varia la eficiencia en la utilidad, donde se compara el costo de los proyectos con el total ejecutado de los escenarios propuestos.

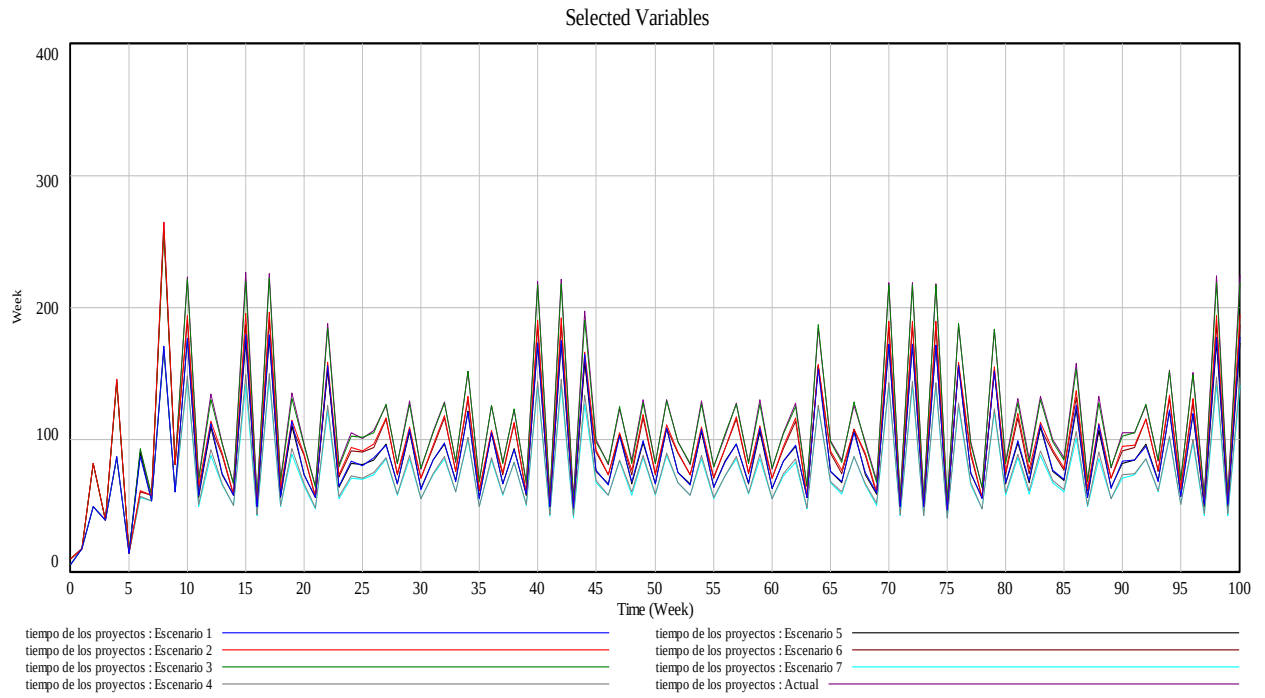


Grafico 6 Tiempo de los proyectos de los 7 escenarios simulados.

Fuente: Propia

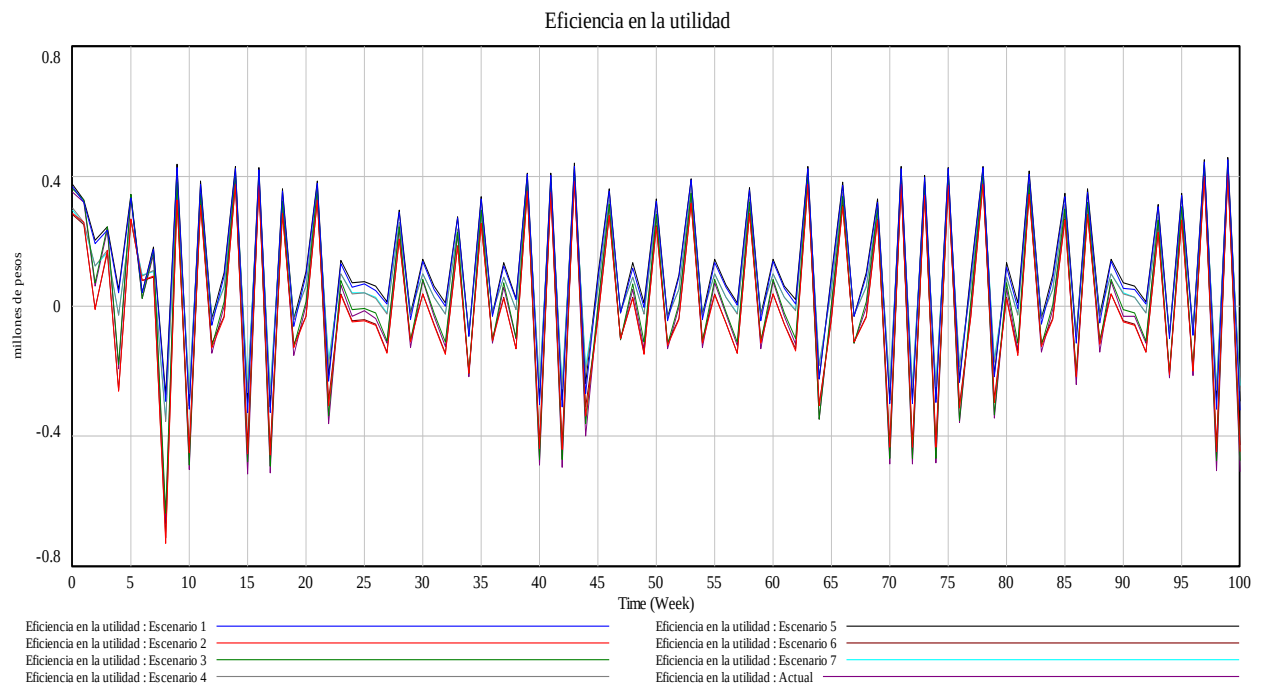


Grafico 7 Eficiencia de la Utilidad de los 7 escenarios simulados.

Fuente: Propia.

Estado actual

Al correr el modelo del estado actual el tiempo total de ejecución de un proyecto está dando en promedio 111,24 semanas. Este dato es similar al tiempo total estimado de duración de proyectos en el mapa de flujo de valor (VSM) que es de 111 semanas. Esta diferencia se debe a que para el modelo se utilizaron en ciertas variables un rango de valores probables para tener en cuenta la gran variabilidad que existe entre los proyectos.

Escenario 1

En el escenario 1 se propone descentralizar algunas decisiones que toma la gerencia y delegar responsabilidades para que así se ahorre en tiempos de espera, al poder darle trámite a un proceso en una dependencia sin esperar a la disponibilidad de la gerencia, esto se simuló aumentando la variable **Eficiencia en tiempo por toma de decisiones**, esto resultó en una mejora en el tiempo de los proyectos en un 19,18% y en la eficiencia de la utilidad en un 4,65%.

Escenario 2

En el escenario 2 se propone incluir un staff de asesores externos para que revisen el proyecto paralelo a labores previas de documentación y preparación de la propuesta para así anticiparse a los posibles cambios y tenerlos en cuenta ya sea con una propuesta de intervención lista o la consideración previa de los costos y tiempos que se incurrirían esperando a la formulación de los cambios por parte de la entidad contratante. Para simular este escenario se modificó la siguiente variable, **Eficiencia por detección previa de ajustes a realizar**, al aumentar este porcentaje se disminuyen demoras por tiempos de ajustes al proyecto lo que mejora la eficiencia en el tiempo de los proyectos en un 10,28%, pero que conlleva a una disminución en la eficiencia en la utilidad en un 5,58%.

Escenario 3

En el escenario 3 se propone incluir en la organización en la parte de ejecución de obra el cargo de residente administrativo, el cual estará encargado de mantener el flujo de caja lo más cercano posible al planeado inicialmente, esto garantizará la disponibilidad de recursos para que el proceso no se detenga a la espera de estos. Este escenario se simuló afectando la variable de **Eficiencia en el cobro de actas parciales**, lo que se traduce en una mejora en eficiencia en el tiempo de los proyectos en un 0,15% y en la eficiencia de la utilidad en un 2,33%.

Escenario 4

En el escenario 4 se propone combinar los factores A y B de los escenarios 1 y 2 respectivamente, afectando las mismas variables que ya mencionamos en esos dos escenarios, en la combinación de estas dos propuestas se ve una mejora en eficiencia en el tiempo de los proyectos en un 30,32% y se ve afectada en forma negativa la eficiencia de la utilidad en un 0,47%.

Escenario 5

En el escenario 5 se propone combinar los factores A y C de los escenarios 1 y 3 respectivamente, afectando las mismas variables que ya se mencionaron en esos dos escenarios, en la combinación de estas dos propuestas se ve una mejora en la eficiencia en el tiempo de los proyectos en un 19,77% y en la eficiencia de la utilidad en un 6,51%, esto se traduce en una mejora en tiempo y en dinero, que significa un avance positivo para la empresa, en esta búsqueda de optimización de resultados.

Escenario 6

En el escenario 6 se propone combinar los factores B y C de los escenarios 2 y 3 respectivamente, afectando las mismas variables que ya se mencionaron en esos dos escenarios, en la combinación de estas dos propuestas solo se ve una mejora en la eficiencia en el tiempo de los proyectos en un 12,24% y una disminución en la eficiencia de la utilidad del 5.12%.

Escenario 7

En el escenario 7 se propone combinar los factores A, B y C de los escenarios 1, 2 y 3 respectivamente, afectando las mismas variables ya mencionadas en esos tres escenarios, en la combinación de estas propuestas solo se ve una mejora en la eficiencia en el tiempo de los proyectos en un 31,86% y una disminución en eficiencia de la utilidad del 0,93%.

Luego de observar las gráficas y las tablas de los indicadores de desempeño, se puede decir que el escenario número cinco, que combina los factores A y C que se traducen en descentralizar la toma de decisiones de la organización y asegurar el flujo de caja para el proyecto, dan los mejores resultados en cuanto a la Eficiencia en el tiempo de los proyectos (TP) y la eficiencia en la utilidad (EU).

6.2. MODELO DEL ESTADO FUTURO

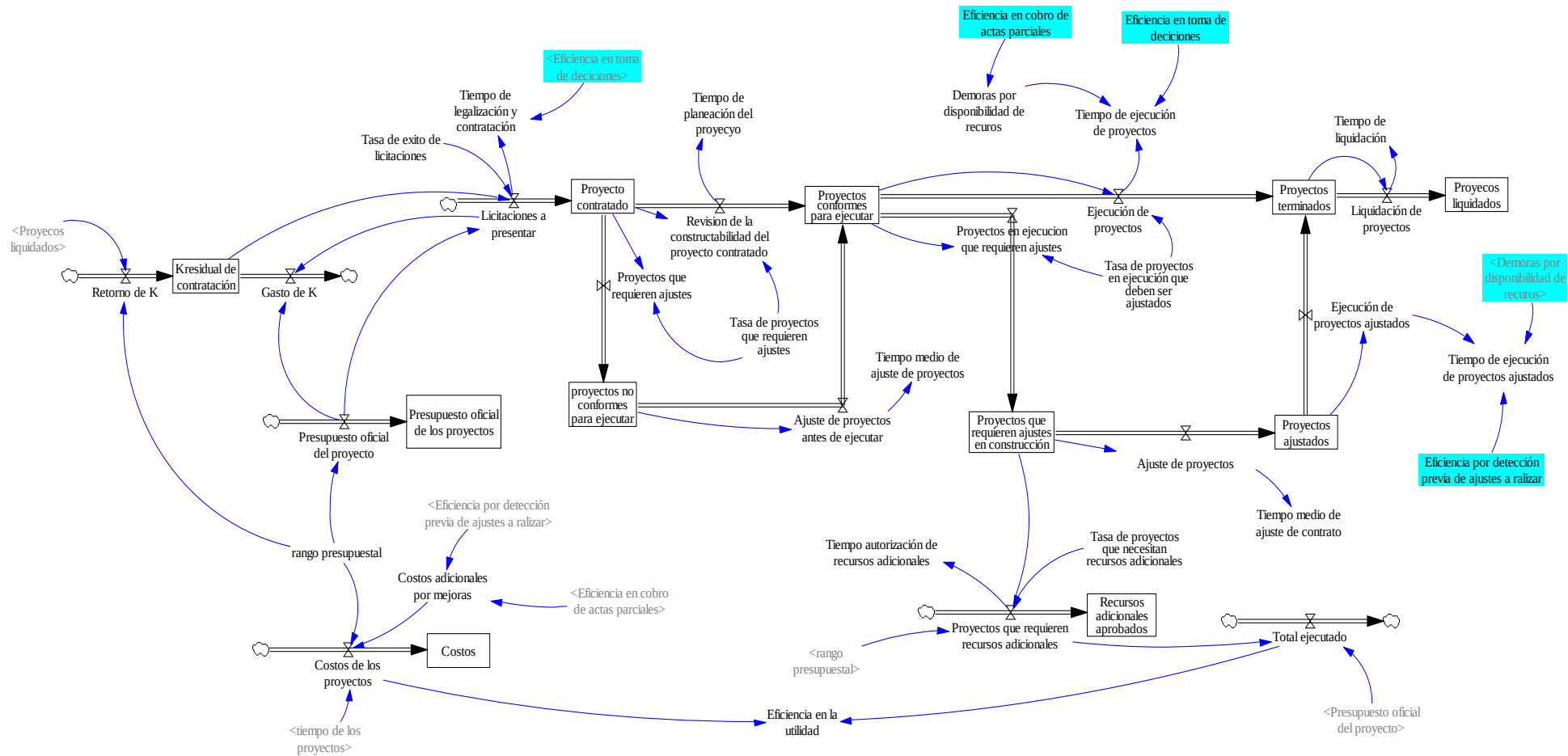


Grafico 8 Modelo del Estado futuro simulado con el escenario 5
Fuente: Propia.

7. CONCLUSIONES

- Con el análisis y procesamiento de la información obtenida durante la ejecución de este trabajo de grado, se puede afirmar que, aunque la empresa es organizada en sus procesos, actualmente no implementa un método con estándares y medición, que le permita ser más productiva y conocer en tiempo real la optimización de los recursos y el valor generado al cliente. Es decir, que cuando se entrega un proyecto, no hay forma de saber si en algunas actividades se pudo disminuir tiempos, costos y desperdicios. De esta manera, no se puede saber cuál fue realmente el valor agregado entregado al cliente.
- Con la realización de este proyecto se pudo validar que para analizar los problemas que se presentan en una organización, es importante hacerlo con un enfoque sistémico, que permita identificar los elementos que componen dicha organización y comprender como se relacionan e interactúan entre ellos y así conocer como una acción ejecutada en una de sus partes, puede afectar a los demás. De esta manera se puede llegar a la raíz de los problemas, determinar sus consecuencias y saber qué efectividad puede tener una alternativa de intervención en una de sus partes.
- El hecho de analizar el comportamiento de la empresa caso de estudio desde un enfoque sistémico y mapear el flujo, permitió identificar las tareas que no agregan valor y los subprocesos que necesitan mayor atención en la intervención. De esta forma se establecieron los factores principales a intervenir y se fijaron unos indicadores que evaluaron el comportamiento y el impacto que cada una de las alternativas tuvieron sobre el sistema.
- La visión de flujo permitió la eliminación de algunos desperdicios del sistema, siendo consecuentes con los principios de reducción del tiempo de entrega y la simplificación de los procesos que son promovidos por la filosofía Lean. Lo anterior, obteniendo generación de mayor valor para el cliente, que es uno de los pilares fundamentales de dicha filosofía.
- En los diferentes escenarios estudiados se encontraron algunos en los cuales se tenían efectos positivos elevados en algunos indicadores, pero al mismo tiempo en esos mismos escenarios otros indicadores se vieron afectados de manera negativa. Lo que se busca es que todos los indicadores se afecten de manera positiva así el efecto sobre estos no sea tan alto como en otros de los escenarios que se estudiaron. Así las cosas, el escenario 5 es el más favorable para la empresa, donde se propone agilizar el flujo del proceso eliminando tareas desperdiciadoras mediante la delegación de responsabilidades por parte de la gerencia y la implementación de algunos cambios en su estructura de toma de decisiones. Por otro lado, para que los proyectos fluyan es importante garantizar un flujo de caja permanente, lo que lleva a la necesidad de

incorporar un nuevo subproceso de seguimiento y control en tiempo real de todas las actividades que afectan directamente la disponibilidad de recursos.

- La implementación de la propuesta de este proyecto de grado implica un cambio en el paradigma bajo el cual funciona actualmente la empresa. Esto, como es de esperar, puede generar barreras debido a la posible resistencia al cambio. Para superarlo, es importante que exista un compromiso de la gerencia, donde el liderazgo sea el vehículo para que los demás niveles entiendan, interioricen y acepten gradualmente los cambios que se requieren. La empresa debe empezar a enfocarse en la medición del desempeño y el mejoramiento continuo, estableciendo indicadores reales de los procesos que le permitan identificar la raíz de las pérdidas. Esto con la participación de todos los equipos, quienes deben adoptar como cultura la propuesta permanente de ideas que busquen el mejoramiento. No se puede ignorar que toda implementación de cambios requiere de un aprendizaje y por ello se debe llevar a cabo gradualmente haciendo ensayos en proyectos limitados y así en el camino hacer los ajustes pertinentes.

Bibliografía

- Alarcón Cárdenas, L. F., & Pellicer Armiñana, E. (2009). Un nuevo enfoque en la gestión: la construcción sin pérdidas. *Revista de Obras Públicas*.
- Alarcon, L. (2008). Un nuevo enfoque en la gestion: la construccion sin perdidas. *Revista de Obras Publicas*, 45-52.
- Aracil, J. (1995). *Dinámica de Sistemas*. Madrid: Isdefe.
- Ballard, G., & Howell, G. (1997). *Implementing lean construction: improving downs tream performance*. . Lean construction, 111-125.
- Ballard, G.; Koskela, L. (1998). *On the Agenda of Design Management*.
- Bernardez, M. (2001). *Capital Intelectual: Creacion de Valor en la sociedad del conocimiento*. . Indiana: AuthorHouse.
- Botero Botero, L. F., & Álvarez Villa, M. E. (2003). Identificación de Pérdidas en el Proceso Productivo de la Construcción. *Revista Universidad EAFIT*.
- Botero Botero, L. F., & Álvarez Villa, M. E. (2005). Last planner, un avance en la planificación y control de proyectos de construcción. *Ingeniería y Desarrollo*.
- Botero, L. F. (2006). *Construccion sin perdidas*. 2 ed. Bogotá, D.C.: Legis.
- Botero, L. F. (2008). *Construccion sin perdidas*. Bogota: Legis.
- CALVANO MENDEZ, J. M., & SUAREZ BETANCOURT, P. F. (2008). *Desarrollo de una herramienta informativa sobre reduccion de riesgo de perdidas en construccion en los estratos cuatro, cinco y seis de la ciudad de cartagena*. . Cartagena: universidad tecnologica de bolivar.
- CAMACOL. (2005).
- Cano, S., Botero, L., & Rivera , L. (2017). Evaluación del desempeño de Lean Construction. *ESPACIOS*.

- Cortés, M. C., & Higueta, L. F. (2020). Estudio dinámico del impacto ambiental asociado a la gestión de residuos sólidos orgánicos en una central de abastecimiento del valle del cauca.
- Coyle, R. G. (1996). *System dynamics modelling : a practical approach*.
- Forrester, J. W. (2009). *Some Basic Concepts in System Dynamics*.
- Forrester, J. W. (1994). *System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR*.
- Izquiero, L. M., Galan, J. M., Santos, J. I., & Del Olmo, R. (2008). *Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas*.
- Jones, D., & Womack, J. (2002). *Seeing the Whole: Mapping the Extended Value Stream*. Brookline, Massachusetts: The Lean Enterprise Institute.
- Lee, C. K., Ng, K. K., Kwong, C. K., & Tay, S. T. (2019). *A system dynamics model for evaluating food waste management in Hong Kong, China*.
- Lee, S., Diekmann, J., Songer, A., & Brown, H. (1999). *Identificación de residuos: aplicaciones de análisis de procesos de construcción*. . Documento presentado en las Actas de la Séptima Conferencia Anual del Grupo Internacional para la Construcción Esbelta.
- Porras Díaz, H., Sánchez Rivera, O. G., & Galvis Guerra, J. A. (2014). Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos: una revisión actual. *AVANCES Investigación en Ingeniería*, 11.
- Redacción el Tiempo. (11 de Marzo de 2016). Más de \$1 billón de pesos están en riesgo por 83 obras inconclusas. *EL TIEMPO*.
- Roberto, C. (2009). *Investigación de Operaciones en Administración*.
- Rother, M., & Shook, J. (2003). *Value stream mapping to create value and eliminate muda*. The lean enterprise institute.

Rubiano Ovalle, O., & Cano Moya, S. L. (2015). MODELO DINÁMICO PARA EVALUAR EL FLUJO DE LA GESTIÓN DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN: ESTUDIO DE CASO EN INFRAESTRUCTURA UNIVERSITARIA PÚBLICA.

SENA; CAMACOL. (2015). Proyecto de investigación del sector de la construcción de edificaciones en Colombia.

Serpell, A. (2002). *Administración de operaciones de construcción*. México, D.F: Alfaomega Grupo Editor.

Sterman, J. (2000). *Business Dynamics, System Thinking and Modeling for a Complex World*.

Tapping, D., & Shuker, T. (2003). *Value Stream Management for the Lean Office*.