



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**

**ESTUDIO DE IMPACTO POR LA IMPLEMENTACIÓN DE  
UN MODELO 4D Y LAST PLANNER EN OBRA**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**ROBERTO HUGO PATRICIO OLGUÍN LORCA**

**PROFESOR GUÍA:  
LUIS ALARCÓN CÁRDENAS**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
WILLIAM WRAGG LARCO  
CARLOS AGUILERA GUTIERREZ**

**SANTIAGO DE CHILE  
SEPTIEMBRE 2011**

RESUMEN DE LA MEMORIA  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL  
POR: ROBERTO OLGUÍN LORCA  
FECHA: 07/08/2011  
PROF. GUÍA: Sr. LUIS F. ALARCÓN

“ESTUDIO DE IMPACTO POR LA IMPLEMENTACIÓN DE  
UN MODELO 4D Y LAST PLANNER EN OBRA”

El objetivo general del presente trabajo de título es investigar y evaluar respecto a la implementación de LPS y 4D en dos obras, realizadas en diferente tiempo y por diferentes empresas, pertenecientes al sector de la industria de la construcción chilena, con el objeto de reportar la forma de implementación, beneficios e inconvenientes registrados; se espera proveer información para futuras implementaciones tomando en cuenta los resultados obtenidos y entregando nuevas oportunidades de investigación en base a las oportunidades encontradas del conjunto LPS+4D.

En la actualidad las empresas chilenas se enfrentan a una alta competitividad, la globalización y los avances en el mundo las impulsan a luchar con todas las estrategias posibles para mejorar su productividad, eliminando pérdidas y aumentando el valor de sus productos. Debido a la alta cantidad de recursos que se utilizan en un proyecto de construcción, es que las diferentes empresas del sector se concentran en nuevas metodologías y planteamientos, los cuales se dirigen a una mejor utilización de ellos.

Es por esto que GEPUC junto con dos empresas pertenecientes al rubro de la construcción han seleccionado dos obras ubicadas en la ciudad de Santiago para implementar nuevas tecnologías tales como LPS+4D. A través de esta memoria se pretende evaluar en forma cualitativa dichas implementaciones, que se comenzó a aplicar en Chile en el Museo de la Memoria.

Los resultados obtenidos son un conjunto de descripciones de la forma de realizar la implementación en cada obra estudiada, con esto es posible entregar fortalezas y desventajas de los diferentes planteamientos del uso de LPS+4D y oportunidades en diferentes campos para una implementación de ésta.

*Dedicado a mi madre Silvia Lorca Fuentes*

## AGRADECIMIENTOS

Quisiera en primer lugar agradecer a mi profesor guía el Señor Luis Fernando Alarcón, quien aportó con sus conocimientos y me apoyó durante el proceso de desarrollo de mi memoria. Además quisiera agradecer a la Pontificia Universidad Católica de Chile en especial al Centro de Excelencia en Gestión de la Producción UC (GEPUC), por la oportunidad que me dieron de participar en el proyecto en el cual se basó mi trabajo de título. Agradezco además a las empresas Constructora BASCO S.A. y Constructora L y D, en especial a Patrick Mihalicka, Ignacio Cerpa, Carlos Vargas y Max Gaete.

Agradezco enormemente la formación que he recibido por parte de los profesores a lo largo de mi carrera en la Universidad de Chile, no basta con enseñar un curso para formar un profesional íntegro, si no que es necesario también transmitir ética, humanidad y respeto, tal como muchos de ustedes lo hacen.

Quiero agradecer a mi familia por lo importante que han sido y serán durante mi vida, en especial a mi madre Silvia Lorca, a mi padre Mario Tirado y a mis hermanos Tiare y Nahuel y al señor Guillermo Ross-Murray. Realmente ustedes son la fuerza que me ha inspirado cuando he pensado que los problemas no tienen solución.

A través del tiempo he formado lazos de amistad que han sido pilares importantes para mí, me gustaría comenzar por agradecer por su constante apoyo y cariño a mis grandes amigos Gonzalo E. Giannoni, Mauricio Bea, Luis Aguilera, Carlos Segovia, Eduardo Reyes, Robinson Quezada, Angélica Suarez, Andrea Carilao, Cristián Arancibia y Fernando Zamur. Además me gustaría agradecer a personas que me han ayudado o, simplemente con sus buenas vibras, me han entregado felicidad en diferentes etapas, entre ellas Francisco Femenías, Marisol Sepúlveda, Oscar Gallegos, Francisco Sosa, Inés Aguirre, Roberto Córdova, Fabián Lynch, Juan Pablo Vásquez y Catalina Loayza.

Dicen que la Universidad es la mejor etapa de la vida, que uno jamás olvidará, aún no estoy seguro, pero si estoy seguro que jamás me olvidaré de los que alguna vez fueron mis compañeros y hoy son mis amigos, quiero agradecer por todo lo que han hecho por mí a Sebastián Bascuñán, Álvaro Pérez, Felipe Castro, Álvaro González, Ronald Azaad, Nicolás López, Rodolfo Saldías, Mauricio Marín, Cristian Reyes, Manuel Núñez, Felipe Espinoza, Danilo Vargas e Israel Garrido, junto con el cariño que me han entregado tanto ustedes como sus familias es que fui capaz de soportar tanto tiempo lejos de la mía.

Finalmente agradezco a la vida por haberme entregado tanto, en especial por entregarme la oportunidad de compartir junto a todos ustedes la experiencia más hermosa de todas... vivir.

MUCHAS GRACIAS.

# INDICE DE CONTENIDOS

<b>CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1 Antecedentes Generales</b> .....	2
<b>1.2 Objetivos</b> .....	3
1.2.1 Objetivo General .....	3
1.2.2 Objetivos Específicos .....	3
<b>1.3 Hipótesis</b> .....	4
<b>1.4 Preguntas de Investigación</b> .....	4
<b>1.5 Alcance del Estudio</b> .....	4
<b>1.6 Organización del Trabajo</b> .....	5
<b>CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	7
<b>2.1 Estrategia de la Investigación</b> .....	7
<b>2.2 Fases de la Investigación</b> .....	8
2.2.1 Fase Exploratoria.....	9
2.2.2 Fase Descriptiva .....	10
2.2.3 Fase Evaluativa.....	11
<b>2.3 Principales Fuentes de Evidencia Registrada</b> .....	11
2.3.1 Análisis de Documentos .....	12
2.3.2 Observación Directa .....	12
2.3.3 Observación Participativa.....	13
2.3.4 Medios de Observación .....	13
2.3.5 Entrevistas .....	14
<b>CAPITULO 3: MARCO TEÓRICO</b> .....	15
<b>3.1 Filosofía Lean</b> .....	15
3.1.1 <i>Lean Production</i> .....	15
3.1.2 <i>Lean Construction</i> .....	17
3.1.3 Sistema de Planificación <i>Last Planner (LPS)</i> .....	20
<b>3.2 Diseño y Construcción Virtual (VDC)</b> .....	24
3.2.1 Modelos de Información en Construcción (BIM) .....	25
3.2.1.1 Metas para un Proceso de Mejoramiento.....	28
3.2.2 Modelo 4D.....	30
<b>CAPITULO 4: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	34
<b>4.1 Introducción</b> .....	34
<b>4.2 Fase Exploratoria (Museo de la Memoria)</b> .....	34

4.2.1 Descripción General de la Obra.....	35
4.2.2 Ficha Técnica de la Obra.....	35
4.2.3 Recopilación de Antecedentes.....	36
4.2.4 Entrevistas .....	36
4.2.5 Implementación Realizada .....	37
4.2.5.1 Visualización del Modelo 4D:.....	37
4.2.5.2 Presentación de Modelo 4D.....	38
<b>4.3 Fase Descriptiva (Centro de Servicio Automotriz y Local de Venta de Automóviles) .</b>	<b>41</b>
4.3.1 Descripción General de la Obra.....	41
4.3.2 Ficha Técnica de la Obra.....	41
4.3.3 Implementación LPS + 4D .....	42
4.3.3.1 Realización del Modelo 4D .....	42
4.3.4 Observaciones.....	50
4.3.4.1 Observación Directa .....	50
4.3.4.2 Observación Participativa.....	50
4.3.5 Entrevistas .....	50
<b>CAPÍTULO 5: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>51</b>
<b>5.1 Fase Exploratoria (Museo de la Memoria) .....</b>	<b>51</b>
5.1.1 Aspectos Positivos.....	51
5.1.2 Aspectos Negativos .....	52
5.1.3 Lecciones Aprendidas.....	52
5.1.4 Beneficios de la Implementación de LPS+4D.....	53
<b>5.2 Fase Descriptiva (Centro de Servicio Automotriz y Local de Venta de Automóviles) .</b>	<b>54</b>
5.2.1 Aspectos Positivos.....	54
5.2.2 Aspectos Negativos .....	54
5.2.3 Barreras en la Implementación .....	55
5.2.4 Lecciones Aprendidas.....	55
5.2.5 Beneficios de la Implementación de LPS+4D.....	55
<b>5.3 Síntesis y Análisis de Resultados .....</b>	<b>56</b>
<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES .....</b>	<b>58</b>
<b>6.1 Revisión de Hipótesis y Cumplimiento de Objetivos.....</b>	<b>58</b>
<b>6.2 Comentarios y Recomendaciones.....</b>	<b>60</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>62</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas representativas del Estudio de Casos .....	8
Figura 2. Metodología de la Investigación.....	9
Figura 3. Estrategias Metodológicas.....	14
Figura 4. Esquema conceptual de producción <i>Lean Construction</i> (Koskela, 1992).....	18
Figura 5. Proceso de Planificación <i>Last Planner</i> .....	23
Figura 6. Diagrama de Interacción BIM.....	25
Figura 7. Ejemplo de una Carta Gantt.....	31
Figura 8. Sala de simulación donde se emplean elementos VDC.....	32
Figura 9. Etapas de la Fase Exploratoria.....	35
Figura 10. Museo de la Memoria (Fuente: <a href="http://es.wikipedia.org">http://es.wikipedia.org</a> ; consulta: marzo del 2011) ..	36
Figura 11. Reunión de Planificación Museo de la Memoria (Fuente: Presentación .....	37
Figura 12. Modelo 4D simbolizando las diferentes actividades por los colores representativos. (Fuente: Presentación “Construcción y desarrollo Museo de la Memoria”; .....	38
Figura 13. Presentación del modelo 4D en la reunión de planificación semanal.....	38
Figura 14. Presentación del Plan lookahead. ....	39
Figura 15. Centro de Servicio Automotriz y Local de Venta de Automóviles. ....	41
Figura 16. Primera etapa del modelamiento en 4D.....	43
Figura 17. Segunda Etapa, se debe ir completando el modelo 3D por niveles. ....	43
Figura 18. Segunda Etapa avanzada. ....	44
Figura 19. Detalles que pueden agregarse al modelo final en Naviswork. ....	44
Figura 20. Exportando el modelo 3D en un formato *.IFC .....	45
Figura 21. Importando el archivo en formato *.IFC a Naviswork.....	45
Figura 22. Modelo 3D importado a Naviswork. ....	46
Figura 23. Traspaso de la planificación de la obra a una línea de tiempo. ....	46
Figura 24. Modelo Naviswork con la línea de tiempo importada desde Microsoft Project.....	47
Figura 25. Ejemplo de los diferentes colores utilizados en Obra Gruesa .....	47
Figura 26. Ejemplo de los colores utilizados en Terminaciones.....	48
Figura 27. Esquema de presentación de los resultados.....	51

## INDICE DE TABLAS

Tabla I. Principales Fuentes de Evidencia de la Investigación. ....	12
Tabla II. Colores utilizados en el modelo 4D. ....	38
Tabla III. Dinámica de la reunión semanal (Museo de la Memoria). ....	40
Tabla IV. Colores utilizados en el modelo 4D en Obra Gruesa. ....	47
Tabla V. Colores utilizados en el modelo 4D en Terminaciones. ....	48
Tabla VI. Dinámica de la reunión semanal. ....	49
Tabla VII. Beneficios de la utilización de ambas metodologías y el aporte de cada una de ellas (Museo de la Memoria) (Mora et al. 2009). ....	53
Tabla VIII. Beneficios de la utilización de ambas metodologías y el aporte de cada una de ellas (Centro de Servicio Automotriz y Local de Venta de Automóviles). ....	55
Tabla IX. Fortalezas y desventajas de los diferentes planteamientos del uso de LPS+4D. ....	56
Tabla X. Oportunidades en diferentes campos para una implementación LPS+4D. ....	57

## CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

En la actualidad las empresas chilenas se enfrentan a una alta competitividad, la globalización y los avances en el mundo las impulsan a luchar con todas las estrategias posibles para mejorar su productividad, eliminando pérdidas y aumentando el valor de sus productos, es por esto que la visión de antaño que reflejaba a la construcción como un sector de poca eficiencia ha ido cambiando en forma progresiva, implementando cambios en la manera tradicional de gestionar sus proyectos.

Debido a la alta cantidad de recursos que se utilizan en un proyecto de construcción, es que las diferentes empresas del sector se concentran en nuevas metodologías y planteamientos, los cuales se dirigen a una mejor utilización de ellos.

Dentro de las metodologías que se están utilizando nos encontramos con *Lean Construction*, y una de sus herramientas adoptadas, desde ya hace un tiempo por diferentes empresas en el país, *Last Planner System* (sólo para una mayor facilidad de lectura del presente trabajo, al sistema del último planificador o *Last Planner System* se le denominará llamará LPS), ampliamente estudiado en diferentes revistas especializadas e investigaciones, arrojando constantemente evaluaciones positivas con su buen uso.

Por otra parte, el VDC (*Virtual Design Construction*) una de las recientes tecnologías de información, se ha convertido a nivel mundial en una forma importante de llevar a cabo los proyectos y resultado del avance tecnológico globalizado, en el cual la construcción chilena se encuentra actualmente inmersa; se está utilizando VDC en diversas formas, una de ellas es el 4D dentro de los procesos de planificación.

En el marco de crecimiento de la construcción, la búsqueda por una mejor utilización de recursos, disponibilidad de nuevas metodologías y la combinación de diferentes herramientas es que nace esta investigación, que busca evaluar y describir los impactos que se generan a través de la implementación de un LPS y 4D en obra. Debido a que actualmente en Chile y en el mundo existen escasos antecedentes que describan una metodología de implementación y resultados de esta nueva combinación de herramientas.

La presente investigación está fundamentada metodológicamente en “*Case Study Research, Design and Methods, Second Edition*”, (Robert K. Yin, 2003)

## 1.1 Antecedentes Generales

*Last Planner System* o sistema del último planificador es una herramienta de la filosofía de *Lean Construction* la cual tiene sus bases en los principios de *Lean Production*, que apuntan a incrementar la fiabilidad de la planificación y con eso a mejorar los desempeños. Para este efecto el sistema provee herramientas de planificación y control efectivas aún en proyectos complejos, inciertos y rápidos. En este tipo de proyectos a menudo se argumenta que es “imposible” o una “pérdida de tiempo” planificar con los sistemas tradicionales debido a la gran incertidumbre que presentan y a la rapidez con que cambian las condiciones que los rodean. El LPS está especialmente diseñado para mejorar el control de la incertidumbre. (Alarcón, 2003)

Un modelo 4D es una herramienta de las diversas tecnologías de información que existen, dicho modelo es una representación tridimensional cuyos elementos constituyentes están vinculados a una línea de tiempo, la cual, en el caso de la construcción, representa la programación de la obra.

Debido a las condiciones de inicio de los proyectos dentro de la construcción, la planificación, el diseño y el control son sustituidos por caos e improvisación, generando un clima de incertidumbre dentro de toda la organización, lo que induce a un aumento en la variabilidad (Koskela et al. 1997). Es aquí donde la herramienta LPS puede contribuir para la reducción de la variabilidad, pero Ballard y Howell (2003) y Schramm (2004) señalan que LPS no se está implementando totalmente y que está funcionando como una herramienta de control de corto plazo, por lo que promueven la utilización de técnicas para mejorar su desempeño global. Es por esto que se promueve la utilización de la herramienta 4D del VDC para complementar el uso de LPS

En la filosofía *Lean Construction* y VDC podemos encontrar los siguientes beneficios que convergen a una mejora en todo el proceso de producción y que fundamentan el uso en conjunto de *Last Planner System* (LPS) con un modelo 4D, dentro de estos podemos encontrar los siguientes:

Algunos principios básicos de *Lean Production* (Díaz, 2007):

- Identificar las actividades que no agregan valor.
- Incrementar el valor del producto
- Reducir la variabilidad.
- Reducción del tiempo de ciclo
- Simplificación de procesos
- Flujos bien administrados facilitan la introducción de nuevas tecnologías y viceversa.

Los principales beneficios del uso de modelos 4D son (Mourgues et Fischer, 2001):

- Mejor comunicación entre dueño, diseñadores y constructor.
- Reconocimiento de programas de construcción incompletos.
- Identificando componentes del proyecto que no tienen actividades en el programa.
- Detección de problemas de secuencias constructivas.
- Anticipación de conflictos espacio-tiempo.
- Mostrando componentes que son construidos en espacios de trabajo reducidos.
- Identificación de problemas de accesibilidad
- Congestión dentro de la obra

Es por esto que se plantea en esta investigación analizar el impacto que genera la utilización de un LPS apoyado con la visualización en 4D en obra, a través de un estudio de casos.

El estudio de casos se realizará en dos diferentes fases, la primera de ellas será de carácter exploratoria, y la segunda será de forma descriptiva. En donde la primera fase no fue realizada por el mismo investigador que implementó el segundo caso.

En el primer caso el modelo LPS más 4D se implementó en la construcción de la obra bicentenario “Museo de la Memoria” ubicado en la comuna de Quinta Normal; el segundo caso fue implementado en la obra “Centro de Servicio Automotriz y Local de Venta de Automóviles” ubicado en la comuna La Cisterna.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Investigar y evaluar la implementación de LPS+4D en dos obras realizadas en diferente tiempo y por diferentes empresas, pertenecientes al sector de la industria de la construcción chilena.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- 1 Observar y registrar los diferentes impactos que se obtienen al implementar un modelo 4D con la herramienta LPS.

- 2 Detectar e informar en base a resultados obtenidos de información cruzada, los beneficios y fallas del sistema LPS+4D post implementación.

### **1.3 Hipótesis**

Se plantean las siguientes hipótesis las cuales están orientadas a responder la fase descriptiva de la investigación:

- 1 Obtener resultados positivos, perceptibles por parte de los participantes de las reuniones de planificación, permitirá generar mayor confianza en la implementación de esta combinación de LPS con 4D, facilitando su ejecución en nuevos escenarios.
- 2 La introducción de un modelo 4D fortalecerá la correcta utilización de LPS.
- 3 Al emplearse esta nueva combinación de herramientas (LPS y 4D) para planificar en obra, puede resultar complejo que el cien por ciento de los participantes de las reuniones logren comprender y adaptarse a los cambios o que simplemente se resistan a la implementación de esta combinación.

### **1.4 Preguntas de Investigación**

Para la fase exploratoria y descriptiva se plantean las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Cómo se realiza la implementación en la obra estudiada?
- ¿Qué beneficios se obtuvieron en dicha implementación?
- ¿Cuáles fueron los problemas recurrentes durante la implementación?
- ¿Cómo se puede potenciar la utilización de la combinación LPS con un modelo 4D?

### **1.5 Alcance del Estudio**

Los proyectos analizados en esta investigación son parte de la industria de la construcción chilena y ambas empresas han implementado en diferentes obras LPS y continúan haciéndolo. El análisis que se realizará, será en base a la implementación en conjunto de ambas herramientas y qué influencia tiene en la planificación de la obra.

## **1.6 Organización del Trabajo**

Esta memoria de título se divide en seis capítulos, cuyo contenido es el siguiente:

### **Capítulo 1: Introducción**

En este capítulo se presenta la motivación para realizar el presente estudio. Además contiene los objetivos de la investigación y las hipótesis propuestas. En este capítulo se plantean las preguntas claves que orientan el foco de estudio de la investigación y el alcance que esta tendrá.

### **Capítulo 2: Metodología de la Investigación**

El objetivo de este capítulo es presentar el método de investigación que se utilizará para realizar este estudio, además de definir las etapas y diversas estrategias que comprenden esta investigación.

### **Capítulo 3: Marco Teórico**

En este capítulo se desarrollarán los conceptos básicos para comprender la finalidad de la investigación. Los conceptos definidos serán: Filosofía *Lean*, LPS, Diseño y Construcción Virtual (VDC) y Modelo 4D. Al definir estos conceptos se explicarán sus determinadas características y funcionalidades, de este modo, se tendrá claridad con respecto a la parte técnica, favoreciendo la ejecución de la investigación y la posterior implementación realizada.

### **Capítulo 4: Desarrollo de la Investigación**

En este capítulo se describirán los procedimientos realizados para ejecutar la implementación en una de las obras estudiadas, señalando las principales características y las estrategias metodológicas utilizadas para lograr el objetivo.

## **Capítulo 5: Resultados de la Investigación**

En este capítulo se describirá los resultados obtenidos en la investigación realizada. Permitirá visualizar los análisis de los resultados de la implementación, las barreras encontradas para lograr una óptima ejecución y las lecciones aprendidas. Además se presentará un análisis estratégico de la propuesta de mejoramiento, favoreciendo posteriores implementaciones.

## **Capítulo 6: Conclusiones**

En este capítulo se explicitarán las conclusiones finales obtenidas en la investigación, revisando las hipótesis planteadas y el cumplimiento de los objetivos propuestos. Además se entregarán recomendaciones con respecto al tema estudiado.

## CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La metodología propuesta para ejecutar esta investigación es a través de procesos cualitativos, cuantitativos y mixtos, los resultados obtenidos deberán ser analizados minuciosamente para dar respuesta al planteamiento del problema, probar las hipótesis propuestas y concluir a partir de esto.

### 2.1 Estrategia de la Investigación

El desarrollo de este trabajo se encuentra adaptado para el tipo de investigación cualitativa, el enfoque que se adoptó fue el participativo en el entorno de la observación participativa y directa e investigación acción, encerrado en un mecanismo causal, el cual permitió investigar con mayor profundidad, a diferencia de los estudios estadísticos; además la metodología utilizada fue la de Estudio de Caso que de acuerdo con Yin (2003) es una técnica de investigación adecuada cuando no existe limitación clara entre el fenómeno a ser estudiado y el contexto. Tampoco se cuenta con material bibliográfico suficiente para respaldar el estudio, por ende es una estrategia apropiada que responde preguntas de investigación del tipo “cómo” y “por qué”.

Stake (2000), señala que el estudio de caso no está definido por un método específico, sino por su objeto de estudio. Cada estrategia de investigación posee sus propias características y por ello representa una manera diferente de recolectar datos y analizar sus evidencias, las cuales pueden ser usadas para adecuarse a una investigación exploratoria, descriptiva y explicativa (Yin, 2003).

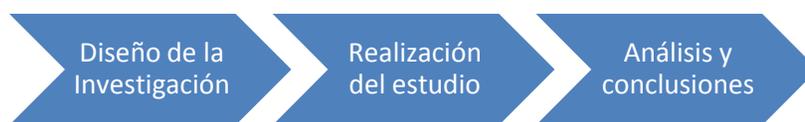
De acuerdo con Naoum (1998), la investigación acción, define al propio investigador, como quién revisa la situación actual, identifica el problema, se involucra en este e introduce algunos cambios para mejorar la situación y evaluar sus efectos. En la investigación acción los investigadores desempeñan un papel activo en el desarrollo de los problemas detectados, acompañando y validando las acciones desencadenadas en la base de los problemas (Thiollent, 2000).

Este tipo de estudios son usados como fuente del conocimiento ordenado de los entes y sus propiedades, por medio de sus causas. (Sanguinetti, 1994), lo que en esta investigación se adapta a desarrollar dicha investigación de forma metódica, dirigiendo nuestros sentidos en la búsqueda de las causas.

Las estrategias cualitativas que se utilizaron para este estudio son del tipo ya que se indagó para recoger la información de los participantes del proceso, se realizaron observaciones y se efectuó una medición de la percepción final, para lo cual el investigador no sólo realizó una labor de observación directa, sino además participativa, contando para esto con la utilización de entrevistas no estructuradas o denominadas cualitativas, Corbeta (2003), el proceso de investigación no es una secuencia bien definida de procedimientos que siguen un diseño nítido, sino una confusa interacción entre el mundo conceptual y el empírico, en la que la deducción y la inducción se realizan al mismo tiempo.

En este trabajo de investigación se realizó un caso a nivel exploratorio y un caso a nivel descriptivo.

De acuerdo con George et al. (2005), los estudios de casos tienen en general los siguientes pasos:



**Figura 1. Etapas representativas del Estudio de Casos**

## **2.2 Fases de la Investigación**

Para llevar a cabo el estudio de casos propuesto, en esta investigación se establecerán tres etapas las cuales nos permitirán orientar la investigación en todas sus etapas. Las fases que se utilizaran son descritas a continuación:



**Figura 2. Metodología de la Investigación.**

### **2.2.1 Fase Exploratoria**

Para desarrollar esta fase se realizará una investigación de la estrategia utilizada para implementar la combinación de LPS con un modelo 4D en el Museo de la Memoria, donde se desarrollaran las siguientes actividades:

- **Recopilación de Antecedentes:** Se investigará sobre el tema estudiado, recaudando información que permita establecer bases para la investigación. Además se considerarán estudios anteriores que aporten antecedentes que favorezcan la investigación; sitios web.
- **Marco Teórico:** Se realizará un estudio por separado de las herramientas LPS y 4D a partir de la bibliografía existente para formar una base teórica de la investigación, reconociendo las características más relevantes del sector de la construcción buscando principalmente su

aplicación en Chile. Debido a que no existe una gran cantidad de documentos que expliquen o formalicen la utilización en conjunto de ambas tecnologías de una forma teórica. Se establecerá cómo la aplicación de los principios *Lean*, contribuyen al mejoramiento de los procesos y los beneficios que estos pueden aportar a la planificación de las obras. El marco teórico será sustentado por información detallada en la bibliografía.

- **Desarrollo de la Investigación:** Durante esta etapa se investigará y analizarán los procedimientos utilizados en la obra estudiada, identificando la real situación que se evidencia en ella; desarrollando la metodología propuesta en esta investigación, para ello se aplicarán diversas estrategias que favorecerán la recopilación de antecedentes permitiendo llevar a cabo la investigación. Las estrategias propuestas para la recolección de datos son las siguientes: entrevistas exploratorias, análisis de información y medios de observación; todos estos formarán parte de las diversas fuentes de evidencia.
- **Resultados de la Investigación:** Se recopilarán todos los antecedentes obtenidos, con el fin de explicar y analizar los impactos positivos y negativos que se generen al aplicar el conjunto de herramientas LSP y 4D, logrando evaluar dichos impactos en base al cruce de información obtenida en la etapa anterior.

### **2.2.2 Fase Descriptiva**

- **Recopilación de Antecedentes:** Se reunirán los diferentes antecedentes necesarios para la completar la implementación del modelo 4D en conjunto con LPS.
- **Implementación:** Se explicarán los diferentes pasos a realizar para implementar el modelo 4D con LPS en la obra a estudiar.
- **Observaciones:** Se realizarán diferentes tipos de observaciones con la finalidad de buscar parámetros a analizar y cómo con estos exponer resultados de la implementación.
- **Entrevistas:** Se utilizará esta estrategia para obtener información complementaria y necesaria para mejorar periódicamente la implementación, además se contrastarán los resultados esperados y obtenidos en la fase evaluativa.

### **2.2.3 Fase Evaluativa**

- **Análisis de la Implementación:** Se realizará un análisis de los resultados obtenidos durante y después de la implementación, determinando los resultados positivos y las limitaciones que contribuyeron a la aplicación de la propuesta de mejoramiento desarrollada en las obras estudiadas.
- **Comprobación de Hipótesis y Preguntas de Investigación:** Se realizará una evaluación de la hipótesis y de las preguntas de investigación propuestas en la etapa inicial de la investigación. Posteriormente se establecerá una comparación con los resultados obtenidos.
- **Conclusiones y Recomendaciones:** Esta etapa comprende la explicitación de las conclusiones más relevantes del análisis de la evaluación realizada, además de establecer propuestas de mejoramiento con respecto al estudio desarrollado. Lo anterior permitirá entregar recomendaciones y discusiones que contribuyan futuras investigaciones.

### **2.3 Principales Fuentes de Evidencia Registrada**

La investigación fue ejecutada bajo la metodología de Estudio de Caso, utilizando principalmente un enfoque cualitativo basado en la recolección de datos y antecedentes que favorecerán la argumentación.

Esta investigación no cuenta con medición numérica, los datos se registrarán a través de las observaciones y descripciones de situaciones.

El investigador deberá insertarse en el campo de estudio realizando visitas en terreno e incorporándose como un trabajador más, logrando observar los acontecimientos como un testigo directo.

**Tabla I. Principales Fuentes de Evidencia de la Investigación.**

Fases \ Fuentes de Evidencia	Observación Participativa	Observación Directa	Entrevista Enfocada	Análisis de Datos
Exploratoria			X	
Descriptiva	X	X	X	
Evaluativa		X	X	X

### **2.3.1 Análisis de Documentos**

Los documentos que se analizarán en el transcurso de toda la fase exploratoria serán las especificaciones técnicas y planos aprobados para la construcción en el segundo caso, esto permitirá una mayor comprensión del proyecto, posteriormente se examinará la “programación maestra” y los planes semanales existentes, con el fin de lograr recaudar información importante o complementaria a los antecedentes del estudio.

### **2.3.2 Observación Directa**

A partir del desarrollo de la observación directa se respaldaron los acontecimientos ocurridos en forma contextual (Yin, 2003).

Se realizarán visitas en terreno de acuerdo a un “cronograma de trabajo”, participando en las reuniones de planificación en conjunto con el equipo de planificación de la obra y los asistentes a las reuniones de planificación.

Las observaciones pueden ampliarse, de ser formal a actividades de recolección de datos ocasionales. Los protocolos a desarrollar pueden ser parte del protocolo de estudio de caso, permitiendo medir ciertos tipos de incidencia de comportamiento durante los periodos de observación de campo (Yin, 2003).

El objetivo de la observación directa en el transcurso del estudio es recopilar información con relación al comportamiento y acciones de los involucrados durante el período de trabajo.

### 2.3.3 Observación Participativa

Esta estrategia metodológica requiere que el investigador no sea un observador pasivo, por el contrario, debe asumir diversos roles que el estudio de caso implica, estableciendo una mayor interacción con los participantes que están involucrados. Esta técnica puede ser utilizada en organizaciones grandes o en pequeños grupos informales (Yin, 2003).

Yin (2003), establece que dentro de las debilidades que esta técnica puede presentar, es la tendencia a la manipulación de acontecimientos por parte de los investigadores, a pesar de ello destaca variados aspectos positivos, entre estos:

- La posibilidad de investigar eventos que son inaccesibles a la investigación científica.
- Obtener la realidad a partir de los puntos de vista de los entrevistados.
- Capacidad de controlar acciones de menor importancia, como agendar reuniones de trabajo.

Es relevante mencionar que al momento de observar se debe visualizar el contexto físico, social, las interacciones formales e informales, además de las interpretaciones de los actores sociales (Corbeta, 2003).

Para este estudio de caso se realizarán visitas técnicas a la obra, participando de las reuniones y de las acciones de trabajo, se discutirán los procedimientos realizados, brindando soluciones a diversas situaciones encontradas durante el proceso del proyecto. Cabe señalar que las visitas son flexibles de acuerdo a las necesidades de la investigación.

### 2.3.4 Medios de Observación

Los medios de observación se definen como aquellos elementos que facilitan, amplían o ayudan a perfeccionar los procesos de observación realizados por el investigador (Carbajal, 1992). Los medios de observación utilizados para esta investigación son los siguientes:

- **Diario:** Consiste en un relato escrito de las experiencias vividas y los hechos observados al realizar las visitas en terreno. Los relatos pueden ser redactados al final de una jornada o al término de una tarea importante.

- **Cuaderno de notas:** Generalmente se lleva a cabo a través de una libreta que el observador lleva siempre consigo al realizar las visitas, con el objeto de anotar en el mismo terreno todo tipo de información; los escritos aportan para redactar el diario.

### 2.3.5 Entrevistas

El objetivo principal de una entrevista es conseguir que el individuo transmita oralmente su definición a modo personal de la situación, permite obtener el relato del protagonista que ha experimentado el hecho bajo su propio punto de vista, de tal forma que el entrevistador desempeña el papel de facilitador (Sierra, 1997; Ruiz, 1996).

Para desarrollar la investigación de este estudio de caso se realizarán entrevistas no estructuradas del tipo enfocada. Este tipo de entrevistas asume una diversidad de formas, cada una de las cuales tiende a suponer una variada serie de supuestos teóricos, en contraste al tipo estructurado, además ofrece una considerable libertad en el procedimiento interrogativo (Sjoberg y Nett, 1980).

La entrevista del tipo enfocada presume la participación del informador en la situación social que se investiga. Teniendo como base el conocimiento del escenario social, el investigador formula determinadas preguntas generales que aunque se formalicen, el proceso de presentar las preguntas no es estructurado (Shaw, 2003).



**Figura 3. Estrategias Metodológicas.**

## CAPITULO 3: MARCO TEÓRICO

### 3.1 Filosofía *Lean*

#### 3.1.1 *Lean Production*

El *Lean Production* es un sistema de producción que tiene sus orígenes en Japón, en la década de los 50; este se crea debido a la necesidad de reconstruir el país a raíz de la compleja situación en que se encontraba después de la segunda guerra mundial; para ello se consultaron a especialistas americanos como: Deming, Juran, Feigenbaum. En un comienzo esta filosofía fue bastante difundida por la industria automotriz, siendo implementada inicialmente por la *Toyota Company* siendo su creador Taiichi Ohno, quién confiaba en la posibilidad de eliminar todo tipo de actividad que no agregara valor, con la finalidad de mejorar la productividad de la empresa.

El *Lean Production* o Sistema Toyota se genera como una necesidad de adoptar una serie de estándares o nuevas técnicas. Se desarrolló principalmente para empresas manufactureras, con el objetivo de buscar producir a bajos costos pequeñas cantidades de variados productos, sustentándose en la teoría del desperdicio cero y mejora continua. Taiichi Ohno creador del sistema Toyota, afirmaba que “en su empresa estudiaban la línea de tiempo desde que el cliente hacía el pedido hasta que la empresa recibía el dinero e iban reduciendo esa línea por medio de la eliminación de los desperdicios que no agregaban valor”. Esta nueva filosofía de producción se denominó “*Lean Production*” o Producción sin Pérdidas. En aquella época Toyota logró liderar el nuevo sistema productivo, algunas de las políticas y operaciones llevadas a cabo fueron las siguientes (Ohno, 1993):

- Para integrar a sus trabajadores y resolver el descontento laboral, introdujo nuevos conceptos en el área de administración de recursos humanos, dentro de los cuales se destacan: el trabajo de por vida, pago por antigüedad y bonos en dinero. Esto se tradujo en cambios radicales en los paradigmas del personal, generando el compromiso de estos hacia la empresa, logrando así mejores resultados en los sistemas productivos, los trabajadores adquirieron una actitud más innovadora y proactiva frente a propuestas y soluciones en favor de mejorar su desempeño laboral y de esta forma los resultados generales de la empresa.

- La empresa se orientó principalmente a la calidad y eliminación de partes defectuosas que se perdían o debían repararse a altos costos. Se puede destacar que uno de sus principales fuentes de errores en cuanto a calidad de la producción masiva era no detener la líneas de producción, lo cual hace pasar por alto errores que se multiplican dramáticamente hacia el final de la línea de producción, ignorándose la posición en donde se encontraba la generación del error base.
- Para tener trabajadores motivados y muy especializados, los ingenieros de Toyota introdujeron la estrategia de trabajo en equipo, el que contaba con un líder que guiara los procesos hacia los fines que se deseaban alcanzar, permitiendo al grupo de trabajadores adquirir habilidades que permiten mejorar colectivamente el proceso, el cual se conoce como círculo de calidad (proceso continuo de mejoramiento incremental).
- La empresa, también desarrolló una nueva forma para coordinar el flujo de insumos en el sistema de abastecimiento en base a las necesidades del día a día, denominado *Kanban*, conocido en la época como *Just in Time*.

A principios de los años noventa, esta nueva filosofía llamada *Lean Production*, se transformó en la principal fuente de gestión dentro del mundo empresarial, siendo “exportada” a otros campos de la industria como la producción enfocada hacia el cliente, servicios, administración gestión y desarrollo de productos, etcétera. (Betanzo, 2003).

Son múltiples los autores que han estudiado el sistema *Lean* intentando buscar los principales elementos que le dan vida al sistema. Womack y Jones (1996) identifican 5 elementos centrales:

- **Valor:** Especificar el valor de acuerdo a las expectativas del cliente.
- **Flujo de valor:** Identificar aquellas actividades que aportan valor, y eliminar todas las actividades que no lo aportan.
- **Flujo:** Entender que cualquier detención del flujo hacia el producto debe comprenderse como pérdida.
- **Tirar la producción:** Permitir que los actores de la cadena productiva arrastren el producto, evitando la ejecución de tareas innecesarias y el exceso de capacidad.

- **Perfección:** Administrar pensando siempre en la perfección (cero defecto y combatir los problemas desde sus causas).

La filosofía *Lean Production* se centra en reducir o eliminar las actividades que no agregan valor, tales como: la inspección, los tiempos de espera y el transporte. Esto ha permitido realizar cambios en la manera de trabajar, ordenando muchas empresas haciéndolas más competitivas, con trabajadores cada vez más comprometidos y motivados, además se están introduciendo nuevos enfoques de Gestión como: *Seis Sigma*, *Quality Function Deployment*, Construcción Sustentable, *Just-in-Time*, *Just in Case*, *Total Quality Management (TQM)*, *Total Productive Maintenance (TPM)*, *Visual Management* y Re-ingeniería.

### 3.1.2 *Lean Construction*

El pensamiento *Lean*, es una nueva forma de administrar la construcción, y aplica las técnicas de manufactura a la construcción, tratando de lograr mayor estandarización en los proyectos, considerando la dinámica existente de la construcción (Ballard y Howell, 2003).

La filosofía *Lean Construction* puede ser aplicada y ejecutada en cualquier tipo de construcción, pero resulta mejor en proyectos complejos, variables y rápidos (Howell, 1999a).

Lo que diferencia *Lean Construction* de las prácticas convencionales es su enfoque en las pérdidas y cómo reducirlas. El segundo enfoque fundamental es el manejo del modelo de flujos planteado por Koskela (1992) en contraposición del modelo de transformación. El modelo de flujo de procesos permite visualizar las abundantes pérdidas que usualmente se encuentran en la construcción y que el modelo de transformación no permite ver. En vez de mejorar únicamente los procesos, la nueva filosofía apunta a mejorar tanto los procesos como los flujos. Por lo tanto, la teoría de *Lean Construction* propone fortalecer los sistemas de gestión de producción así como los procesos de producción en sí, centrando su trabajo en el manejo de un sistema adecuado de planificación operacional y diseño de procesos.

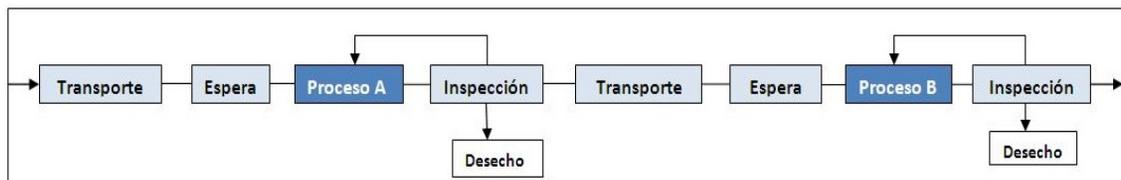
De acuerdo con Howell (1999a), la administración de la construcción bajo el pensamiento *Lean Construction*, es diferente de la práctica habitual, se pueden visualizar las siguientes diferencias:

- Se tienen claros los objetivos de los procesos.
- Contribuye a maximizar el desempeño del cliente en el proyecto.
- Se diseña el producto y el proceso
- Permite aplicar el control de la producción durante todo el ciclo del proyecto.

El enfoque *Lean Construction*, apunta a generar a través de la planificación de la producción, un flujo de trabajo más confiable así como resolver en equipo las causas de la variabilidad en los procesos (Ballard, 1999b).

El nuevo concepto de producción, puede ser definido de la siguiente forma (Koskela, 1992): “La producción, es un flujo de materiales y/o información desde las materias primas hasta el producto final. En este flujo, el material es procesado (transformado), inspeccionado, permanece en espera o en movimiento”. Estas actividades son inherentemente diferentes. El procesamiento representa el aspecto de transformación de la producción, en cambio, la inspección, el movimiento y la espera, representan el aspecto de flujo de la producción.

Los procesos de flujo pueden ser caracterizados por tiempo, costo y valor. El valor de un producto se puede determinar sólo en referencia al cliente y a las metas de producción que satisfacen las necesidades del cliente, oponiéndose al modelo de transformación, donde subprocesos internos de producción se definen antes que el cliente”.



**Figura 4. Esquema conceptual de producción *Lean Construction* (Koskela, 1992)**

La nueva conceptualización implica una visión dual de producción, que consiste en transformaciones y flujos. La eficiencia de la producción es atribuible a la eficiencia de las actividades de transformación y a la eficiencia de los flujos de actividades (a los que pertenecen las actividades de transformación). Todas las actividades implican costos y consumen tiempo, pero es importante distinguir aquellas actividades que agregan valor y las que no lo hacen.

La filosofía *Lean Construction*, postula una base de estudio de once principios claves, los cuales permiten el correcto control y administración de la producción (Koskela, 1992)

- 1 Reducción de actividades que no agregan valor.
- 2 Aumento del valor por medio de la consideración de los requisitos del cliente.
- 3 Reducción de la variabilidad.
- 4 Reducción del tiempo de ciclo.
- 5 Simplificación, minimizando pasos.
- 6 Aumento de la flexibilidad en la ejecución de productos.
- 7 Aumento de la transparencia.
- 8 Enfoque en el control de todo el proceso.
- 9 Mejora continua.
- 10 Balance de flujos y mejora de la conversión.
- 11 *Benchmarking*.

La filosofía *Lean Construction* permite captar las particularidades de los sistemas productivos en la industria de la construcción, proponiendo diferentes herramientas para enfrentar acertadamente el dinamismo, la variabilidad, y la temporalidad de los proyectos (Koskela, 1992).

### 3.1.3 Sistema de Planificación *Last Planner* (LPS)

Actualmente en el área de la construcción se utiliza el concepto *Lean Construction*, el cual es conocido como una nueva filosofía enfocada hacia la administración de la producción en construcción. Su principal objetivo es descartar todas aquellas actividades que no dan respuestas concretas a los requerimientos o simplemente no agregan valor a los resultados siendo consideradas como pérdidas. El descarte de dichas actividades va a depender del criterio de los profesionales a cargo de la obra y de las condiciones en que ésta se encuentre.

Para contribuir a tal fin, Ballard y Howell diseñaron un nuevo sistema de planificación y control denominado *Last Planner System*; este sistema cuenta con cambios fundamentales en la manera como los proyectos de construcción se planifican y controlan, dando respuesta a su finalidad de reducir la variabilidad de los procesos, haciéndolos más confiables. El LPS o Sistema del Último Planificador puede aplicarse en los proyectos de construcción, tanto en obras civiles como en edificaciones.

Ballard (2000), señala que el “último planificador” es una herramienta que tiene como fundamento el seguimiento de los compromisos y la liberación de las restricciones. Para poder establecer sus bases se deben identificar responsables de las diferentes tareas y hacer seguimientos al cumplimiento de estas; para ello se usa el PAC (Porcentaje de Actividades Completadas), como indicador numérico de cumplimiento y la identificación de las causas de incumplimiento con el fin de propiciar el aprendizaje y mejorar todos aquellos aspectos que no se estén manejando adecuadamente.

Esta herramienta busca incrementar la fiabilidad de la planificación y con ello mejorar el desempeño mediante compromisos confiables de planificación, además de preparar el trabajo suficiente para que pueda ser asignado cuando sea requiera, contribuyendo a mejorar un flujo de trabajo más confiable (GEPUC, 2009).

LPS incorpora la definición de las unidades de producción y el control del flujo de las actividades realizadas, mediante asignaciones de trabajo. Además este sistema permite poder detectar los problemas favoreciendo una oportuna toma de decisión que beneficie los resultados esperados. Este método se basa en aplicar a cada obra una planificación que se adapte a las necesidades y características individuales.

El Sistema Último Planificador pretende planificar las actividades que pueden ejecutarse, y no las posibles, para conseguir estos resultados, la planificación se divide en etapas, hasta llegar a la planificación semanal siendo esta la operativa. Es necesario igualmente determinar las razones para el no cumplimiento de las asignaciones de trabajo. Esta acción proveerá información necesaria para el mejoramiento del PAC que traerá como resultado que el proyecto sea completado más eficientemente (Botero et Álvarez, 2005).

Planificar en distintos niveles permite liberar progresivamente las restricciones, permitiendo programar el trabajo futuro considerando a todos los involucrados, y de este modo aumentar la probabilidad de cumplimiento.

A continuación se describirán las diferentes etapas que comprende la planificación.

- **Plan Maestro:** Se comprende como el programa completo del proyecto, con todas las actividades que este requiere. Se debe desarrollar con la información real que represente las características más importantes del proyecto.
- **Programación General:** es la encargada de examinar y establecer las actividades principales del proyecto, es en este proceso donde se establecen las metas y se proponen fechas a los objetivos previamente planteados. Además se determinan los tiempos de ejecución, actividades a realizar y los recursos destinados para lograr un desarrollo óptimo de la edificación.
- **Programa de Fases:** este se realiza en caso que el proyecto presente mayor complejidad; para ello se agrupan ciertas tareas en paquetes de actividades, en otras palabras se separa el Plan Maestro en fases de menos actividades (Betanzo, 2003).
- **Planificación Intermedia:** corresponde al segundo nivel de la jerarquía en la planificación inicial, y le sigue la planificación inicial, de la cual se deriva el plan maestro y antecede a la planificación, compromiso que genera el plan de trabajo semanal (PTS). La planificación intermedia abarca intervalos de 5 a 6 semanas, permitiendo que las actividades sean exploradas con más detalle, esto favorece la determinación de las subtarear para su ejecución, estos pueden entenderse como prerrequisitos de trabajo, directrices o recursos necesarios para su realización, eliminando las restricciones que afecten el cumplimiento del programa, dejando así la actividad lista para ser ejecutada (Botero et Álvarez, 2005).

Dentro de la planificación intermedia el concepto de revisión (*screening*) es fundamental, es el encargado de determinar el estado de las tareas en relación a sus restricciones y a la posibilidad de removerlas antes del comienzo programado de la actividad, ya sea adelantándolas o retrasándolas en el programa general.

- **Planificación semanal:** LPS pretende la calidad de plan de trabajo semanal (PTS), el cual cuando se combina con el proceso de planificación intermedia, genera el control del flujo de trabajo (Botero et Álvarez, 2005). Es esta planificación la que evidencia lo que se va a ejecutar realmente, por ende su nivel de detalles es mayor.

Algunas características propias en la realización de los planes acertados de trabajo semanal son las siguientes:

- La correcta selección de la secuencia de trabajo, de acuerdo con el plan de trabajo establecido, las estrategias de ejecución y la constructabilidad (características que hacen que un diseño pueda ser construido).
- La correcta cantidad de trabajo seleccionada, teniendo en cuenta la capacidad de trabajo de las cuadrillas que ejecutarán las actividades.
- La definición exacta del trabajo por realizar y que puede hacerse, es decir, la garantía de que todos los prerrequisitos se han ejecutado y además se cuenta con los recursos disponibles para tal objetivo.

La planificación semanal se debe realizar con todos los involucrados directos e indirectos en el proyecto. Es importante antes de definir las actividades de la próxima semana, revisar el cumplimiento de las tareas asignadas en la semana anterior; para esto se debe comprobar que actividades fueron ejecutadas, asignándole el número uno cuando se han logrado en un ciento por ciento, y a las actividades que fueron parcialmente completadas o no fueron ejecutadas, se les asignarán el valor cero.

Además es importante que los involucrados estén comprometidos, con el ánimo de tomar acciones correctivas, para esto se deben analizar y documentar las causas de no cumplimiento, evitando de que vuelvan a ocurrir, siendo estas documentaciones consideradas al momento de preparar las actividades de la semana siguiente. Es preciso

establecer los compromisos necesarios y la liberación de restricciones para favorecer el flujo de trabajo continuo.

Medición de desempeño del sistema de planificación con el porcentaje de actividades completadas (PAC).

LPS requiere medir el desempeño semanal de cada plan de trabajo, y de este modo poder estimar su nivel de calidad. Esta medición se comprende como el primer paso para aprender de las fallas y lograr implementar las mejoras, se realiza a través del porcentaje de actividades completadas (PAC), que es el número de realizaciones divididas por el número de actividades para una semana dada. De esta forma, el PAC evalúa hasta qué punto el sistema del último planificador fue capaz de anticiparse al trabajo que se realizaría en la semana siguiente; es decir, compara lo que será hecho según el plan de trabajo semanal con lo que realmente fue ejecutado, evidenciando de este modo la fiabilidad del sistema de planificación.



**Figura 5. Proceso de Planificación *Last Planner***

Es preciso señalar que la aplicación de sistemas de gestión de calidad y productividad, nos permite ser más competitivos, mejorando además los niveles de productividad y calidad. Sin embargo, la implementación del LPS no siempre resulta una tarea fácil, esto se debe a los posibles típicos problemas que se pueden generar en una construcción. La gran influencia del factor humano presente sumado a la incertidumbre, hacen que las cosas a veces no funcionen como se propone en la teoría (Botero et Álvarez, 2005).

### **3.2 Diseño y Construcción Virtual (VDC)**

Uno de los grandes intereses a través del tiempo para el ser humano ha sido y continuará siendo la construcción, y al igual que el ser humano, la construcción ha evolucionado planteándose mayores desafíos, para lograr que se cumplan, es indispensable avanzar en forma continua y a la velocidad que hoy en día se requiere para ser competitivos, y además lograr utilizar de mejor forma los recursos con los que contamos; es así como el hombre ha innovado trabajando el área de la construcción en forma paralela a la tecnología presente el actual siglo.

En este largo proceso se han incorporado diferentes herramientas y tecnologías en favor del desarrollo de la construcción. La época en que vivimos nos ha enseñado la utilidad de las computadoras y como aportan al desarrollo de cualquier industria, de igual modo, la construcción debe aprovechar los beneficios que los avances tecnológicos ofrecen, puesto que también forma parte importante del desarrollo de la humanidad. Es por esta razón que el rubro no se queda atrás y en la actualidad se están incorporando diferentes tecnologías que tienen su base en el Diseño y Construcción Virtual VDC.

Se comprende como VDC al uso de modelos multi-disciplinarios de alto rendimiento, en proyectos de diseño y construcción, incluyendo el producto en sí, procesos de trabajo y organización de equipos de diseño, construcción y operadores del proyecto para apoyar los objetivos comerciales (Fisher et al. 2004). VDC permite a un profesional construir modelos simbólicos del producto, organización y procesos, mucho antes que un gran compromiso de tiempo o dinero sea adquirido. Así VDC apoya la descripción, explicación, evaluación, predicción, formulación alternativa, negociación y decisión respecto al alcance de un proyecto organización y planificación con métodos virtuales. El objetivo del VDC por lo tanto es usar este modelo virtual del producto, organización y procesos para simular las complejidades en la manera de realizar el proyecto, para comprender la esencia el equipo de trabajo debe reunirse para analizar dicha esencia y conducirlas en un mundo virtual antes que la construcción se realice en forma real (Khanzode et al. 2006).

### 3.2.1 Modelos de Información en Construcción (BIM)

Desde siempre los proyectos de construcción han requerido de especialistas para llevarlos a cabo, el reto que existe hoy en día se ha multiplicado debido a la gran complejidad de los proyectos y a la continua búsqueda de mayor eficiencia por parte de los mandantes, diseñadores y constructores. Esto ha resultado en la progresiva cooperación, formando grupos multidisciplinarios que necesitan cada vez mayores facilidades para informar, comunicar, estimar, evaluar, entre otros aspectos. Es aquí donde juega un rol importante los nuevos modelos de información BIM (la sigla en inglés corresponde a *Building Information Modeling*), los cuales tienen por función principal combinar de forma inteligente modelos en tres dimensiones con información requerida para hacer de estos una herramienta de la cual se puedan tomar decisiones y facilitar el traspaso de información entre los diferentes agentes involucrados en un proyecto en forma confiable (Kymmell, 2008).

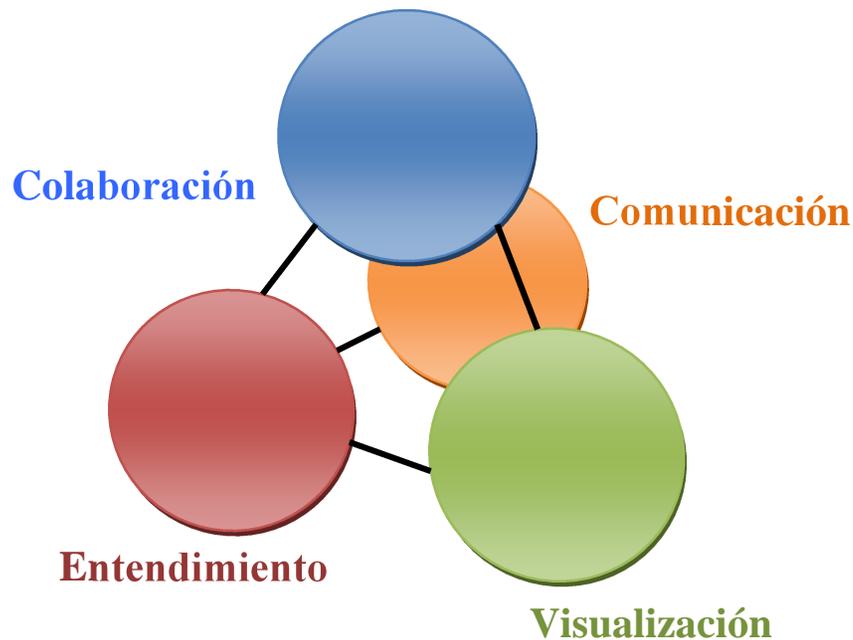


Figura 6. Diagrama de Interacción BIM

De modo sintético, diríamos que BIM consiste en una metodología de trabajo, soportada básicamente por *softwares* específicos y 3D, basada a la utilización de un sólo modelo virtual que englobe la totalidad de tareas asociadas al proceso constructivo. Este término empieza a tomar una importancia relevante durante el reciente período de auge constructivo sin precedentes, difícilmente imaginable con anterioridad, a partir de la constatación de que a pesar de la bonanza económica se producen escasos avances hacia la mejora de la productividad del sector.

Todos en mayor o menor grado, somos conscientes de la gran cantidad de procesos que se repiten a diario en la mayoría de proyectos y que no aportan valor, más bien al contrario:

- Planos 2D. En los proyectos de creciente dificultad las técnicas tradicionales y la plasmación de un proyecto en 2D con software 'no inteligente' impiden la revisión clara de la información en soporte y no evitan la aparición en obra de un sin fin de conflictos de mayor o menor grado (económica, de plazo o de calidad).
- Repetición de tareas. Los diferentes equipos participantes en la redacción de 'porciones' de proyecto, suelen empezar su trabajo a partir de cero, alargando innecesariamente los tiempos de redacción de proyecto, aumentando los costes y honorarios, entre otros.
- Procesos constructivos no innovadores. Los diferentes equipos mantienen actitudes poco evolutivas y herméticas frente al resto de los participantes del proyecto, debido a que esta mentalidad está fuertemente arraigada, existen pocas opciones de incorporar nuevas metodologías y tecnologías.
- Falta de gestión documental. El envío de la información en soporte informático por email o copias en CD. En un modelo constructivo en dónde cada vez aparecen más actores en el proceso constructivo, es imposible controlar si la información difundida es accesible a todo el mundo, si todos los equipos trabajan con información actualizada.
- RFI y CO (*Request for Informations / Change Orders*). El proceso constructivo necesita dedicar cantidades ingentes de recursos a la gestión de una gran cantidad de consultas por dudas de proyecto así como los cambios de proyecto en fase de ejecución. El proceso abordado de forma tradicional nos aboca de forma casi irreversible a la aparición de conflictos en fase de ejecución que requieren de todas nuestras energías para su resolución, además de mermar el grado de satisfacción de los diferentes participantes, especialmente el mandante.

Los *softwares* 'no inteligentes' no están preparados para la gestión eficaz de dichas modificaciones que conllevan a costos elevados en las diferentes organizaciones, lo que es motivo de grandes desviaciones del proyecto, tanto en costo como en plazo.

Uno de los problemas dentro de la construcción, es la planificación de la obra, y dentro de esto juega un papel importante la visualización del proyecto. Si no está completamente visualizado, comprendido y comunicado, no se puede representar correctamente y esto puede derivar en problemas durante la construcción.

Una vez que el diseño está representado puede incluso que no sea claro, debido a la cantidad de documentos y planos que se suelen entregar para la comprensión del proyecto (documentos en 2D principalmente), lo que puede derivar en una serie de consultas que muestran la inadecuada comunicación que existe entre diferentes actores del proyecto.

Otras dificultades de comunicación pueden incluso deberse a problemas propios de la naturaleza humana, personas de diferente carácter o cultura deben trabajar juntas, simplemente puede que algunos no se lleven bien, así como hay veces que es difícil comprender las ideas de alguna persona en especial. Todos estos problemas pueden guiarnos a un fracaso dentro de la cooperación necesaria que debe existir entre los equipos de trabajo (Kymmell, 2008).

En la actualidad la mayor parte del diseño de la construcción se ha basado generalmente en diagramas en 2D, sin embargo, lo que se realiza al ejecutar la planificación es en 3D. Es usual que los resultados en base a 2D, difieran por diferentes problemas, entre ellos lo más común es la comunicación. Hasta hace un tiempo, todo esto era aceptado debido a que no existían las ventajas computacionales para desarrollar los modelos, los que en la actualidad se pueden realizar con los variados softwares existentes.

El descontento con los resultados y los avances tecnológicos han llevado a la construcción, en general, a implementar nuevas metodologías. Uno de los factores relevantes es la aceptación por parte del equipo de trabajo para generar los cambios requeridos por la nueva metodología. Es por esto que, para que se acepten e implementen dichas tecnologías, es bueno crear incentivos para que la colaboración con estas sea productiva, cuando se muestran beneficios económicos por ejemplo, es normal que la implementación de dicha metodología venga de parte del mandante del proyecto, luego de esto es necesario además que el equipo que trabaja directamente con la implementación tenga claro cuáles son los beneficios que esta tecnología tiene para ellos.

Por lo general la construcción está asociada a largos procesos que involucran a su vez una gran cantidad de tiempo. Debido principalmente a las complejidades de la industria, problemas en la resolución de conflictos, errores y omisiones, que generalmente se originan entre la fase de

planeamiento y la de construcción. Una de las consecuencias de esto puede tornarse en problemas legales, litigaciones entre empresas debido a cambios entre las propuestas iniciales y los tiempos requeridos para la ejecución de tales proyectos. Muchas de estas diferencias se pueden subsanar antes de haber comenzado un proyecto. Esto, si existiese una mejor comunicación entre los diferentes miembros del proyecto, ya sean de diseño, mandantes, constructores, entre otros.

### **3.2.1.1 Metas para un Proceso de Mejoramiento**

Las metas relacionadas con el proyecto vienen generalmente directo de las necesidades y deseos del mandante o de otros miembros del proyecto. Las metas se enfocaran en alcanzar resultados positivos al final del proyecto, y así también se quitaran obstáculos que pueden interponerse en el proceso. Estas metas pueden ser vistas como un refuerzo positivo para el equipo de trabajo.

Es necesario comprender las debilidades del proceso de construcción para poder direccionarlas de manera efectiva. Analizar los síntomas no es suficiente, es necesario buscar en las reales causas de los problemas para poder descubrirlas y direccionarlas. La formulación de metas del proyecto necesita ser consecuente con la debilidad encontrada durante el proceso (Kymmell, 2008).

- **Reducir el riesgo.**

Mejorar la comunicación es un factor importante dentro de línea crítica de un proyecto. La complejidad de los proyectos de construcción da la oportunidad para que se malinterpreten cosas o simplemente se olviden. Cada equipo de trabajo necesita responsabilizarse por la comunicación de información esencial durante el transcurso del proyecto, los canales de comunicación deben ser claros, estar bien definidos y probados al comienzo del proyecto.

Es además un factor crítico para la reducción del riesgo la cooperación de cualquier equipo de trabajo asociado. Generalmente los miembros de un grupo de trabajo prefieren trabajar en forma independiente, con la finalidad de no compartir ya sean sus victorias o derrotas con otras entidades.

La colaboración entre equipos está basada en que los diferentes equipos tienen las mismas metas, que apuntan a los intereses de los mandantes; es responsabilidad de cada uno

anteponer estas metas y obtener ayuda para solucionar problemas específicos que afectan la capacidad de todo el grupo de trabajo para operar de forma óptima.

El mejoramiento de la predictibilidad de diversos factores, dentro de la planificación y el proceso de construcción puede anticipar problemas. Es posible reducir los RDI (Requerimientos de Información) y cambiar órdenes entendiendo los detalles de la construcción, de manera que esta pueda ser comunicada dentro de la fase de planificación. Métodos que faciliten la habilidad de prever dichos problemas son requeridos por la industria.

- **Reducción de costos.**

La utilización de estudios paralelos pueden complementar el desarrollo y la ejecución de las tareas de la industria, esto repercute directamente dentro de la construcción, logrando reducir los costos y potenciar la producción en beneficio de todos los involucrados.

- **Mejoras en la calidad del proyecto**

Mejorar la calidad del diseño de un proyecto puede contribuir en un mejor uso de materiales, además de mejorar los resultados en base a los requerimientos del mandante en cuanto a estética, funcionalidad de edificios, entre otras.

Para los equipos de trabajo se puede traducir como mejores métodos de montaje, reducción de pérdidas, procesos de trabajo más seguros, entre otras, reduciendo la energía utilizada en un proyecto, se cumple también con una de las bases de sustentabilidad.

- **Reducir tiempo.**

Mejorar la pre construcción del proceso de planificación con BIM, depende de que todos los involucrados en el proyecto sean capaces de generar una colaboración cercana; generalmente esto no es examinado como debiese ser, debido al incremento de complejidad en las fases de planeamiento.

Se puede mejorar la planificación incorporando diagramas 4D en lugar de utilizar diagramas de barras, tales como carta Gantt u otros, incorporando la dimensión del tiempo a un modelo 3D, tal como se mostrará en el siguiente subcapítulo.

### **3.2.2 Modelo 4D**

En el transcurso del tiempo las empresas vinculadas en el área de la construcción han visto afectada la eficiencia en la ejecución de sus procesos; diversas variables dificultan los resultados, como el tiempo que demorarán en la construcción de una obra, la secuencia que se seguirá en el desarrollo del proyecto, la cantidad de equipos a utilizar y los recursos necesarios; todas estas variables han sido difíciles de manejar con exactitud, utilizando finalmente la intuición como argumento de control, motivo por el cual la experiencia adquirida de los constructores y líderes de proyectos argumentan la necesidad de requerir de instrumentos y herramientas en busca de la optimización de los procesos constructivos.

Actualmente algunas empresas realizan proyectos de construcción que resuelven sus potenciales problemas antes de comenzar con los trabajos en terreno. Esto se hace a través de la construcción virtual, utilizando un modelo de enfoque para proporcionar mejores datos sobre los proyectos para aumentar la previsibilidad y reducir el riesgo.

Modelos en cuarta dimensión (3D + tiempo) implica unir la planificación de construcción al modelo en 3D para visualizar que ocurre con el plan simulando y mostrando que actividades del proyecto serán construidas y su secuencia (Rischmoller et al. 2006). Estos modelos son usados interactivamente y en forma iterativa para realizar planificaciones y programaciones en proyectos de construcción, con esto se extienden los beneficios del diseño asistido por computador CAD (*Computer Aided Design*) más allá del diseño del proyecto, a la etapa de construcción del mismo (Rischmoller et Alarcón, 2002).

Aplicar la combinación de herramientas computacionales para la conformación de un modelo 4D de simulación con el fin de optimizar el proceso constructivo de la obra, requiere que una vez creado el modelo se deben evaluar las diferentes alternativas de la programación y secuencia del proceso constructivo, utilizando la simulación como herramienta de visualización, analizando las diferentes variables que pueden incidir en el rendimiento de la obra.

Luego de comenzar las actividades iniciales del proyecto, el modelo permite establecer comparaciones entre la trazabilidad teórica y la trazabilidad real ejecutada, así como también entre la programación inicial y el cumplimiento de lo programado, llevando de esta manera un registro histórico que permita documentar el proceso constructivo, levantar lecciones aprendidas y establecer proyecciones y líneas de tendencia del programa de trabajo.

Es necesario en la fase inicial definir lo que se quiere simular. Dentro de las múltiples variables que pudieran encontrarse en un proyecto es necesario definir el rango de estudio. Los elementos que componen el modelo 3D deben ser cuidadosamente clasificados e identificados con la finalidad de crear una base de datos que se corresponda con la previa identificación que se le dio a los elementos del modelo tridimensional. Las plantas estructurales de cada nivel en tercera dimensión, son acopladas secuencialmente según orden de construcción con el objetivo de descartar incongruencias en los diseños geométricos. La planificación del proceso de construcción comprende el detalle del proceso constructivo, la asignación del tiempo de ejecución, fecha de inicio, fecha de fin, precedencias de construcción, asignación de recursos (horas hombre, materiales) entre otros. Esta programación está basada en el Diagrama de Gantt y la Teoría de Precedencias y es lo que hace posible la inserción del tiempo como una cuarta dimensión al modelo tridimensional existente (Martínez et al. 2008).

El proceso de construcción en sí puede mejorar a través de una mejor planificación de todas las actividades a realizar. La visualización de los procesos de construcción es, a menudo, representados por diagramas de barras, en donde se muestra la duración de las diferentes tareas a realizar en obra y sus restricciones, o actividades predecesoras.

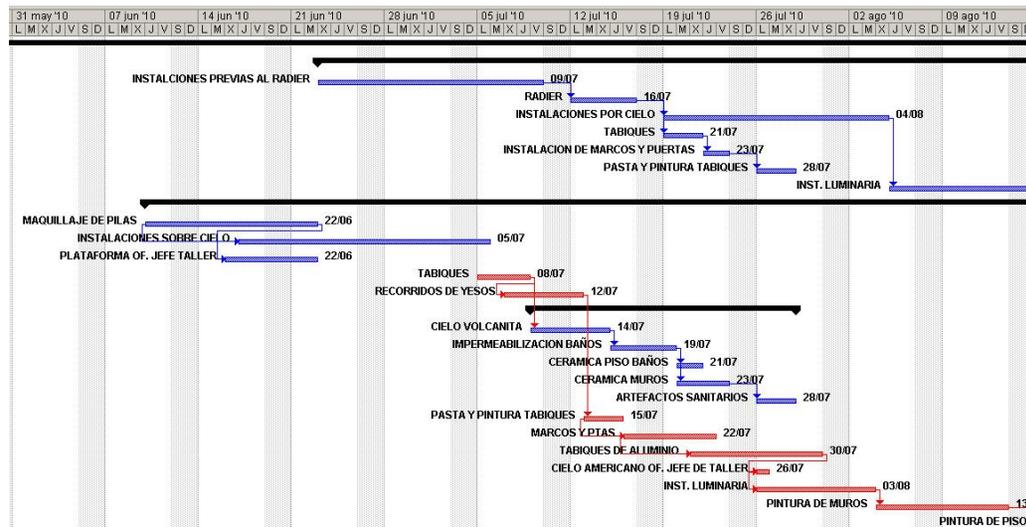


Figura 7. Ejemplo de una Carta Gantt

Dicho diagrama o carta Gantt se puede hacer más entendible, representando tareas y sus líneas de tiempo a través de un modelo el cual muestre las diferentes interacciones entre actividades programadas, dependiendo del detalle de dicho modelo podrá dársele diferentes tipos de uso en la construcción de un proyecto.

Generalmente la planificación de la industria de la construcción no es bien mirada por otro tipo de especialidades, debido al escaso mantenimiento que se le da a esta en obra, además que no representan una mejor comprensión del proyecto. Usando la planificación para desarrollar un análisis detallado para todas las tareas del proyecto puede resultar en un mejor entendimiento del proyecto y además permitirá una línea de tiempo más realista para todas las actividades.

Un modelo de 4D se referirá a partir de ahora a un modelo diseñado en 3 dimensiones al cual se le agrega una línea de tiempo que representa la secuencia constructiva de algún proyecto, en donde el tiempo es la cuarta dimensión incorporada.

En base a los modelos 3D se puede ubicar y obtener los inputs para calcular por ejemplo la duración de las tareas (en base a rendimientos estimativos). La planificación que resulta luego de obtener la duración de las actividades puede ser objeto de análisis y simulación, se recomienda diferenciar por colores las actividades a realizar para así visualizar de mejor forma el modelo. Este nivel de visualización entrega un gran conjunto de posibilidades para mejorar el proceso de planificación de la construcción.



**Figura 8. Sala de simulación donde se emplean elementos VDC**

Una de las ventajas dentro de la utilización de un modelo 4D es que, un mejor entendimiento de los procesos puede resultar en mejorar la planificación de las actividades. Al modelar el proceso de construcción es posible generar diferentes escenarios y visualizar las diferentes secuencias para así comunicar las diferentes ventajas y desventajas de las variadas opciones de programación de actividades.

Los datos obtenidos en las evaluaciones de rendimiento de obra y las comparaciones entre lo planificado y lo ejecutado mediante la construcción de graficas permitirán comparar y relacionar la actualidad de la obra, permitiendo optimizar los procesos que estén ocasionando algún retraso, generando los resultados que podrán decidir hasta qué punto es posible optimizar el proceso. Esta optimización estaría dirigida directamente al ahorro del factor tiempo, generando así un proceso más preciso y libre de retrasos (Martínez et al. 2008).

Un modelo 4D requiere establecer una serie de pasos previos que a su vez van generando beneficios al proyecto sin haber llegado aún al producto final, esto tiene que ver directamente con la generación de modelos 3D, integración de los diseños, definición de la trazabilidad de ejecución y establecimiento de un plan de trabajo, lo cual permite, a lo largo del camino, ir tomando correctivos que inducen a mejorar la ruta de trabajo, hasta llegar a obtener el proceso constructivo más idóneo para la edificación.

Si bien es cierto que hasta hoy que los modelos 3D/4D no han sido aceptados en gran escala en la administración de la construcción (Webb et al. 2004), debido probablemente a que la teoría y visiones asociadas a las tecnologías de información en construcción han resultado, algunas veces, ser distantes de la realidad de las tecnologías de información utilizadas en construcción (Koskela, 2000). Cabe recordar los beneficios pueden venir: la integración del diseño y la planificación de la obra agrega la cuarta dimensión a los modelos 3D, el análisis y optimización de horarios de trabajo pudiendo crear estrategias que impacten directamente en la disminución del plazo de entrega, descartando fácilmente sobrepoblación en áreas de trabajo y la sobrecarga de actividades con suficiente anterioridad a la fecha de ejecución; la reducción del riesgo de secuencias constructivas poco lógicas; detección de cuellos de botella, determinando así actividades críticas que generalmente atrasan la duración del proyecto si no se prevé con antelación; la comunicación interactiva y dinámica del desarrollo de la obra entre el personal de campo, la dirección técnica del proyecto, los dueños de la empresa contratista y los inversionistas (Martínez et al. 2008).

## **CAPITULO 4: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **4.1 Introducción**

La primera experiencia realizada en Chile fue en el Museo de la Memoria, dónde en conjunto con las empresas COMSA S.A. y Constructora BASCO S.A., se da comienzo al proceso de planificación, generado por el Centro de Excelencia en Gestión de la Producción UC (GEPUC), LPS basado en un modelo 4D el cual representa el avance real acumulado, los compromisos adquiridos, el avance planificado a corto, mediano y largo plazo. La segunda obra en dónde se desarrolla esta metodología (LPS + 4D) fue realizada por GEPUC en conjunto con la empresa constructora L y D.

El investigador que presenta este estudio, se incorpora a GEPUC en forma posterior a la investigación realizada en el Museo de la Memoria, y participa activamente sólo en la construcción del Centro de Servicio Automotriz y Local de Venta de Automóviles, en donde estuvo encargado de realizar e implementar el modelo 4D y hacer un seguimiento de la utilización de LPS por parte de la empresa constructora, analizando al mismo tiempo las impresiones, ventajas y desventajas de la implementación.

El estudio se centró en investigar en terreno utilizando diversas estrategias, la implementación del conjunto de herramientas LPS + 4D en las dos obras, con el objetivo de analizar ventajas y desventajas del uso de ambas metodologías en conjunto.

Para explicar de manera ordenada el desarrollo del estudio, la investigación en terreno se dividió en dos etapas, a continuación se describen cada una de las etapas.

### **4.2 Fase Exploratoria (Museo de la Memoria)**

A la primera etapa de la investigación la denominaremos fase exploratoria; esta fase se desarrollará una vez propuestas las preguntas de la investigación. Es preciso mencionar nuevamente que el investigador no tuvo participación directa en la implementación de LPS + 4D en este proyecto. En este caso se investigó a partir de lo ejecutado; esta investigación es considerada como la base para la implementación realizada posteriormente, siendo el Museo de la Memoria el primer modelo a analizar, el resultado de esta investigación servirá como ejemplo para realizar la implementación en la siguiente obra, considerando las conclusiones y recomendaciones obtenidas.

En esta etapa se realiza principalmente una amplia recopilación de información y de antecedentes, esto con el fin de lograr realizar una repetición efectiva del problema a desarrollar: implementar en LPS una visualización 4D.

Los pasos a seguir son los siguientes:



**Figura 9. Etapas de la Fase Exploratoria.**

#### **4.2.1 Descripción General de la Obra.**

El Museo de la Memoria es una de las obras que se proyectaron para celebrar el Bicentenario de la independencia de Chile, uno de los fundamentos para realizar esta obra es proponer a la población chilena instancias de reflexión que trasciendan en el tiempo, con respecto a lo acontecido en el país en años anteriores, de este modo se potenciará en las nuevas generaciones la construcción de un futuro mejor de respeto irrestricto a la vida y la dignidad de las todas las personas (<http://www.museodelamemoria.cl>; consulta: marzo del 2011).

Esta construcción es un edificio de tres pisos y dos subterráneos en donde se combinan grandes luces exteriores e interiores con sencillas terminaciones.

#### **4.2.2 Ficha Técnica de la Obra**

<b>Destino:</b>	Museo.
<b>Ubicación:</b>	Av. Matucana 501-583, Santiago.
<b>Nº de Pisos:</b>	3 Pisos.
<b>Estacionamientos:</b>	2 Subterráneos.
<b>Tipo de Estructura:</b>	Hormigón Armado – Estructura Metálica.
<b>Cantidades de Obra:</b>	10.900,53 m <sup>2</sup> .



**Figura 10. Museo de la Memoria (Fuente: <http://es.wikipedia.org>; consulta: marzo del 2011)**

#### **4.2.3 Recopilación de Antecedentes**

En esta etapa se realiza la recopilación de información necesaria para poder comprender la implementación realizada, de los cuales son importantes de mencionar:

- Modelos 4D del Museo de la Memoria
- Artículos respecto a la implementación de LPS + 4D en el Museo de la Memoria

Para una etapa posterior de evaluación también se recopilaron:

- Presentaciones empresa constructora BASCO S.A. de la implementación de LPS + 4D

#### **4.2.4 Entrevistas**

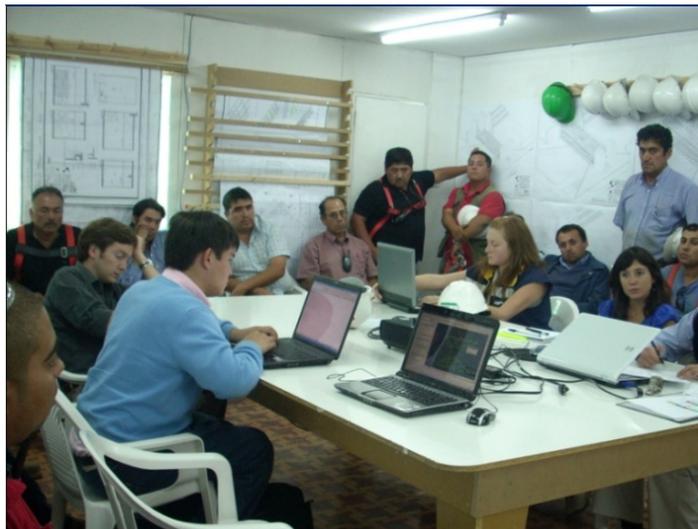
Se realizan entrevistas no estructuradas a las siguientes personas para obtener información respecto a la implementación realizada en este proyecto y los resultados obtenidos:

- Patrick Mihalicka, encargado de desarrollo y tecnología, empresa BASCO S.A.
- Daniela Mardones, investigadora parte del equipo de trabajo de GEPUC.

#### 4.2.5 Implementación Realizada

La implementación realizada en esta etapa da paso a la configuración a utilizar para la siguiente implementación, respecto principalmente a la visualización del modelo 4D (el cuál fue diseñado y manejado por Miguel Mora como parte del equipo de GEPUC) y la forma de presentación de este dentro de la reunión de planificación semanal.

Dentro de la reunión de planificación semanal se muestran instantáneas que simbolizan los trabajos comprometidos a realizar la semana anterior y los trabajos que se concretaron. Es necesario indicar que no se muestran actividades con porcentajes de avance, sólo actividades cien por ciento completadas, fundamentos basado en LPS (Mora et al. 2009).



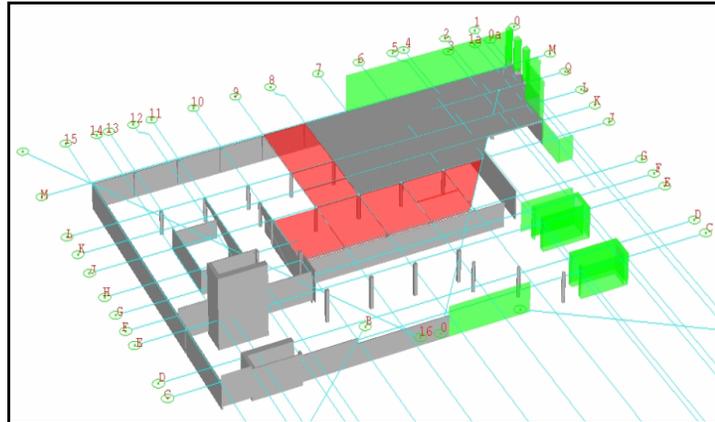
**Figura 11. Reunión de Planificación Museo de la Memoria (Fuente: Presentación “Construcción y desarrollo Museo de la Memoria”; Empresa BASCO S.A. 2009)**

##### 4.2.5.1 Visualización del Modelo 4D:

Para cada una de las actividades se define un color único no confundible con el de otra actividad. Cuando la actividad ha sido completada el elemento del modelo toma el color correspondiente en forma sólida, en cambio cuando la actividad ha sido programada y no se ha comenzado se visualiza del color correspondiente con cierta transparencia que muestre una diferencia entre tareas programadas o tareas completadas. A continuación se muestra los colores básicos utilizados y una figura que se utilizó en las reuniones de planificación.

**Tabla II. Colores utilizados en el modelo 4D.**

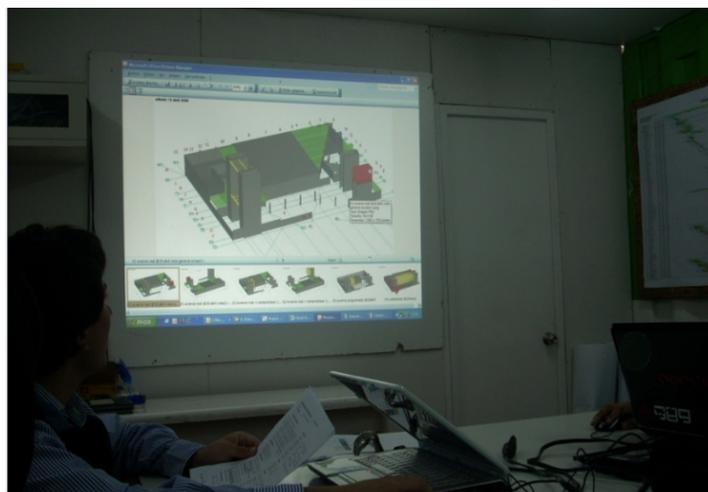
Enfierradura	Verde
Moldaje	Rojo
Hormigonado a realizar	Amarillo
Hormigonado descimbrado	Gris



**Figura 12. Modelo 4D simbolizando las diferentes actividades por los colores representativos. (Fuente: Presentación “Construcción y desarrollo Museo de la Memoria”; Empresa BASCO S.A. 2009)**

#### 4.2.5.2 Presentación de Modelo 4D

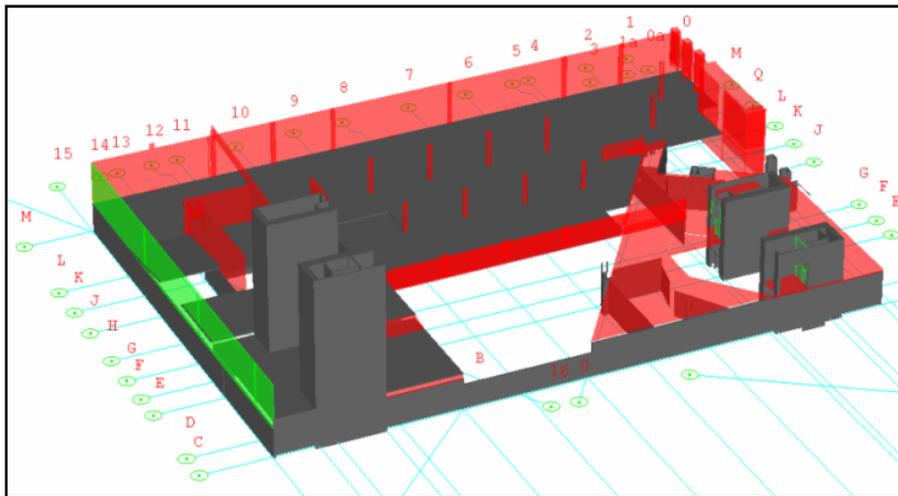
- En instantáneas se muestran los avances comprometidos y los avances reales por semana, confrontando los trabajos comprometidos con los trabajos realizados.



**Figura 13. Presentación del modelo 4D en la reunión de planificación semanal. (Fuente: Presentación “Construcción y desarrollo Museo de la Memoria”; Empresa BASCO S.A. 2009)**

- Videos de la programación de mediano plazo

Para visualizar el plan de mediano plazo se muestra un video, de similares características de las instantáneas antes explicadas, en el cual se proyecta en una mayor cantidad de tiempo la planificación, presentando el plan *lookahead*. Además del video mostrado se deja registro de la planificación de mediano plazo en las mismas características anteriores.



**Figura 14. Presentación del Plan lookahead.**  
(Fuente: Presentación “Construcción y desarrollo Museo de la Memoria”;  
Empresa BASCO S.A. 2009)

Finalmente se presenta una tabla mostrando la dinámica que las reuniones de programación semanal dentro de la obra: Museo de la Memoria.

**Tabla III. Dinámica de la reunión semanal (Museo de la Memoria).**

	LPS	4D
Previo a la Reunión		Se actualiza el modelo para mostrar el avance real de la obra.
Reunión	Se calcula el PAC y se pregunta a los responsables de cada actividad no cumplida cual fue la CNC del compromiso. Ambos datos son registrados por la oficina técnica del proyecto.	 Se muestran las siguientes imágenes comparativas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avance Real</li> <li>• Avance Real con los compromisos que se adquirieron la semana anterior.</li> </ul>
	Observando en las imágenes lo que se debe realizar, los capataces adquieren los compromisos que pueden ejecutar para la semana siguiente.	 Se proyectan las siguientes imágenes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avance Real</li> <li>• Avance para la semana siguiente según el plan maestro.</li> </ul>
	Se discuten y analizan las posibles restricciones que pueden existir para lograr el avance programado a cuatro semanas más.	 Se muestra imagen digital y video de <i>lookahead</i> (avance programado por plan maestro para 4 semanas).
		Se muestra imagen digital del avance real incorporando los compromisos adquiridos a realizar para la semana siguiente.

### 4.3 Fase Descriptiva (Centro de Servicio Automotriz y Local de Venta de Automóviles)

En esta etapa, se expondrá con una visión participativa del investigador (encargado de la realización del modelo 4D y de la utilización del mismo durante las reuniones de planificación semanal), la implementación realizada. Mostrando además los distintos pasos a seguir para la realización del modelo 4D y las consideraciones que se tienen en cuenta.

#### 4.3.1 Descripción General de la Obra.

Esta obra pertenece a una empresa privada, su construcción fue adjudicada por la Empresa Constructora L y D y se inició en el año 2010, tiene como finalidad entregar al mandante un centro de servicio automotriz de acuerdo con los planteamientos de calidad propios de la empresa constructora.

#### 4.3.2 Ficha Técnica de la Obra

<b>Destino:</b>	Centro de Servicio Automotriz y Local de Venta de Automóviles.
<b>Ubicación:</b>	Gran Avenida J. M. Carrera 7665 - 7711, La Cisterna.
<b>N° de Pisos:</b>	2 Pisos.
<b>Estacionamientos:</b>	2 Subterráneos.
<b>Tipo de Estructura:</b>	Hormigón Armado – Estructura Metálica.
<b>Cantidades de Obra:</b>	2.518,95 m <sup>2</sup> .



Figura 15. Centro de Servicio Automotriz y Local de Venta de Automóviles.  
(Fuente: [www.brunofritsch.cl](http://www.brunofritsch.cl); consulta: mayo 2011)

### **4.3.3 Implementación LPS + 4D**

Para realizar esta implementación se debe tener en consideración que la primera herramienta LPS ha sido implementada anteriormente en diferentes oportunidades por la empresa constructora L y D, y en esta obra se ha implementado desde el comienzo, sin embargo, la herramienta 4D se comienza a aplicar luego de unas semanas de iniciada la obra, por lo que la implementación del LPS se considera realizada por el equipo de profesionales de la constructora L y D, y el investigador en coordinación con el GEPUC realiza la implementación del 4D.

Para los resultados obtenidos se toma en cuenta la implementación de ambas herramientas, evaluando ambas implementaciones por separado, y además en conjunto.

La realización del modelo en 4D se lleva a cabo en diferentes etapas, las cuales serán explicadas a continuación. Cabe destacar que los programas utilizados no son los únicos que existen para dicha realización, y además esta explicación no pretende ser un incentivo para la utilización de los mismos. Se utilizan estos programas por recomendaciones del equipo de trabajo y por su anterior utilización en el modelo 4D realizado para el Museo de la Memoria.

#### **4.3.3.1 Realización del Modelo 4D**

Para modelar el edificio proyectado primero se recopila información entregada por la empresa LD, dentro de la información entregada se encuentran los planos de arquitectura y de cálculo de la estructura.

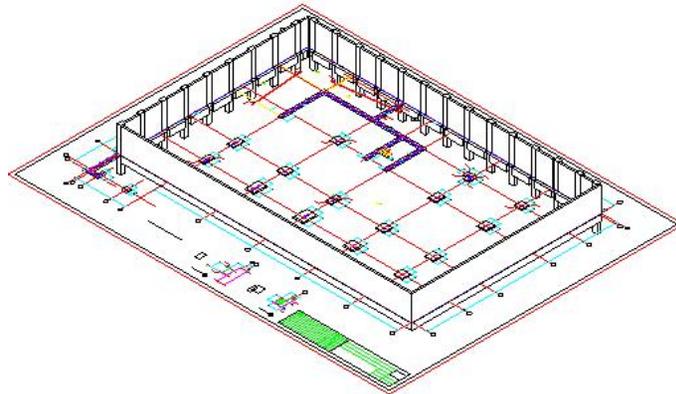
Con esta información se modela en tres dimensiones del proyecto, utilizando el programa “Autodesk Revit Architecture 2010” en conjunto con la información proporcionada. A continuación se muestran diferentes etapas del proyecto y cómo se realizó el modelo.

- **Primera etapa:**

Una vez definidos las alturas de los diferentes niveles, se realiza la importación de los planos de cálculo sobre el modelo en las alturas correspondientes utilizando en forma congruente las dimensiones del modelo en modelo 3D con los planos a importar. Luego sobre las mismas plantas de los planos se comienza a replicar los elementos que se construirán en cada nivel.

Agrupándolos según corresponda, por ejemplo, los muros serán un grupo, las pilas de entibación serán otro grupo, etcétera.

En las siguientes figuras se muestra como se realizó el modelo. El cual en este caso no fue utilizado para cubicar, ni para obtener mayor información del modelo, sin embargo dadas las características de realización del mismo, podría haberse utilizado para obtener cubicaciones de material entre otras. Esto viene definido por los objetivos planteados para la realización del modelo, ya que sólo será utilizado de apoyo para visualizar en 4D la programación constructiva de la obra.

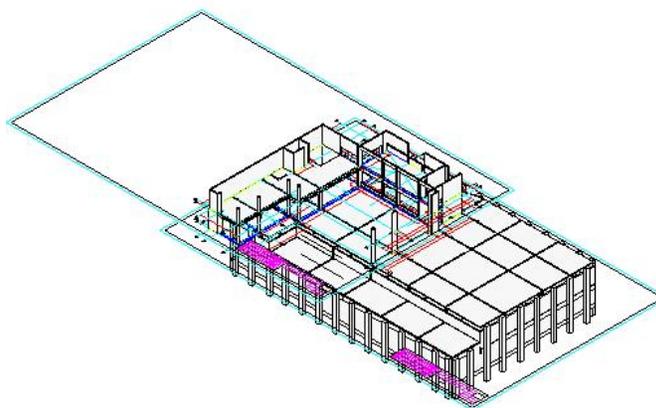


**Figura 16. Primera etapa del modelamiento en 4D.**

En la primera etapa se incluye el plano en 2D del proyecto en el programa que genera el modelo tridimensional y se comienza a dar la tercera dimensión la cual indica altura de los elementos.

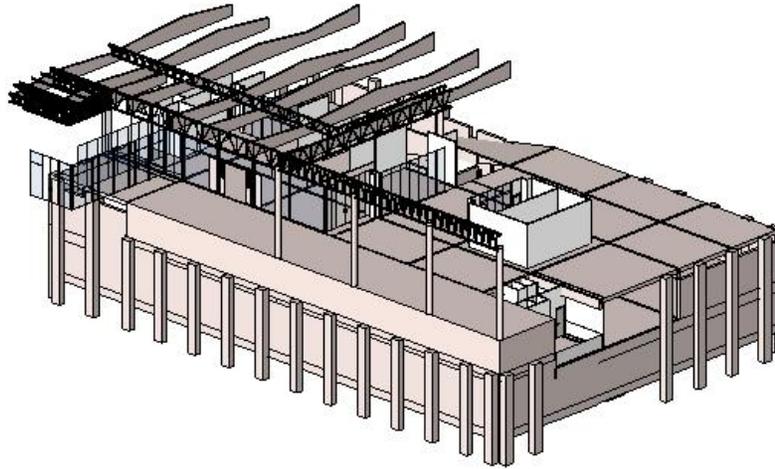
- **Segunda Etapa**

Se van completando los diferentes niveles, incluyendo en cada nivel los diferentes planos.



**Figura 17. Segunda Etapa, se debe ir completando el modelo 3D por niveles.**

A medida que se va completando el modelo 3D se deben ir verificando las posibles interferencias que este pueda tener e informarlas debidamente al equipo de planificación de la obra.



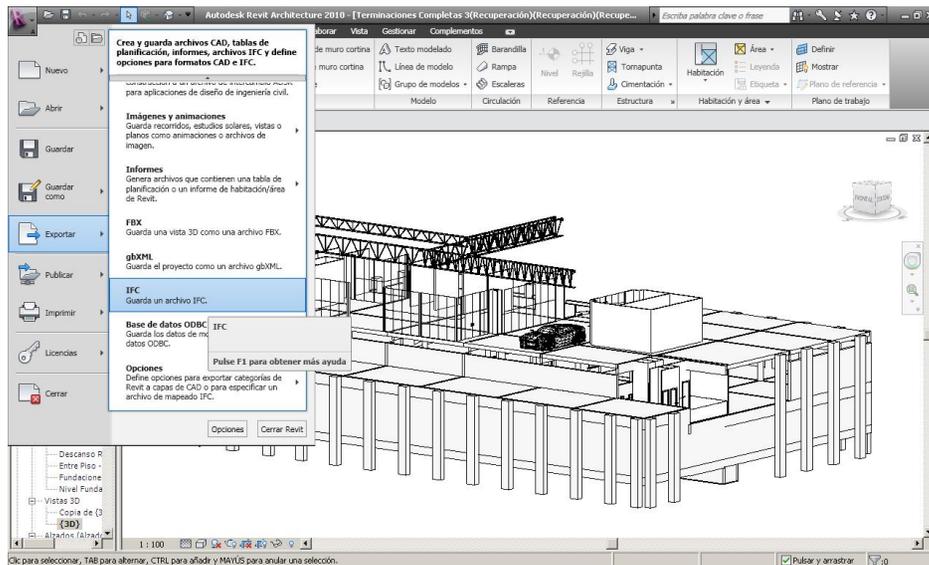
**Figura 18. Segunda Etapa avanzada.**

Existen diferentes detalles y/o sectores, los cuales pueden ser realizados en archivos diferentes, para una vez completado el modelo agregarlos al programa en donde se agregará la línea de tiempo requerida para realizar un modelo 4D.

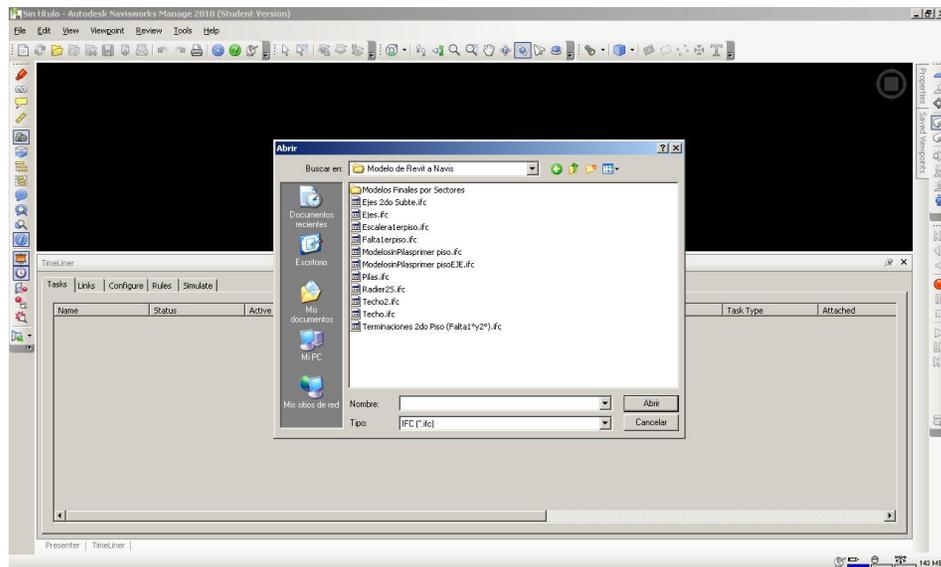


**Figura 19. Detalles que pueden agregarse al modelo final en Naviswork.**

Una vez completado el modelo 3D y sus diferentes partes, se deben (en este caso, que se utilizará el programa “Autodesk Naviswork Manage 2010”) exportar a un formato \*.IFC para que el programa para realizar el 4D lo reconozca.



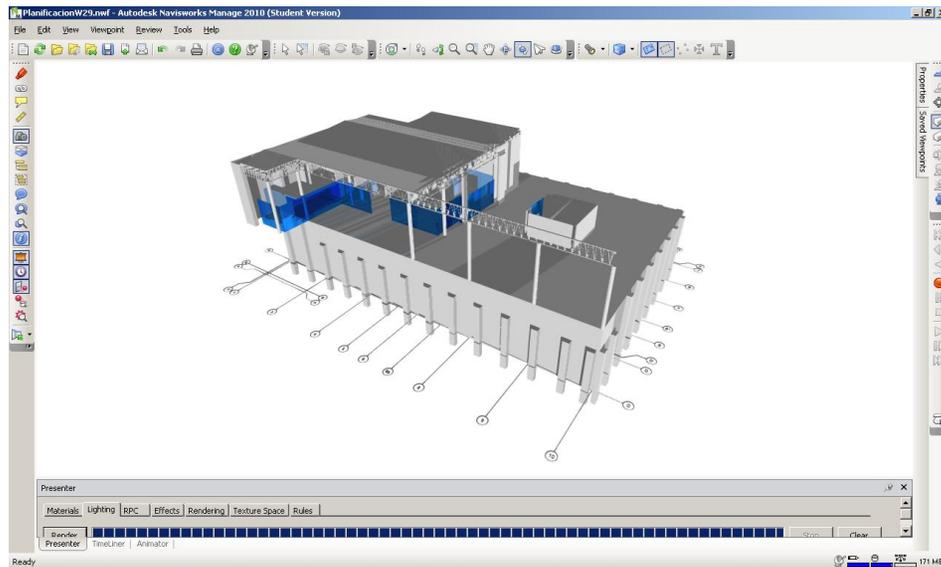
**Figura 20. Exportando el modelo 3D en un formato \*.IFC**



**Figura 21. Importando el archivo en formato \*.IFC a Naviswork**

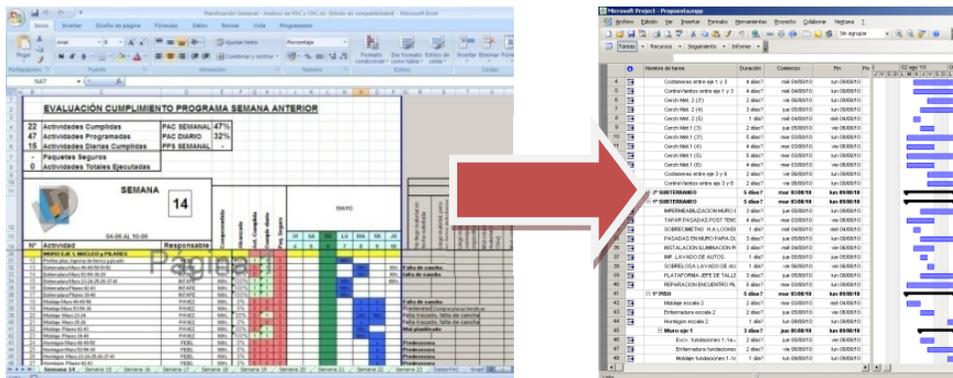
En este caso, tal como en el Museo de la Memoria se agregó un sistema de ejes al modelo para identificar visualmente de mejor forma la ubicación de esta. Dicho sistema de ejes se creó a partir de un programa diferente de modelación en 3D, el software utilizado es “ArchiCAD 13”.

Para finalmente obtener el modelo 3D completo, presentado en el software “Autodesk Navisworks Manage 2010” como se muestra a continuación:



**Figura 22. Modelo 3D importado a Naviswork.**

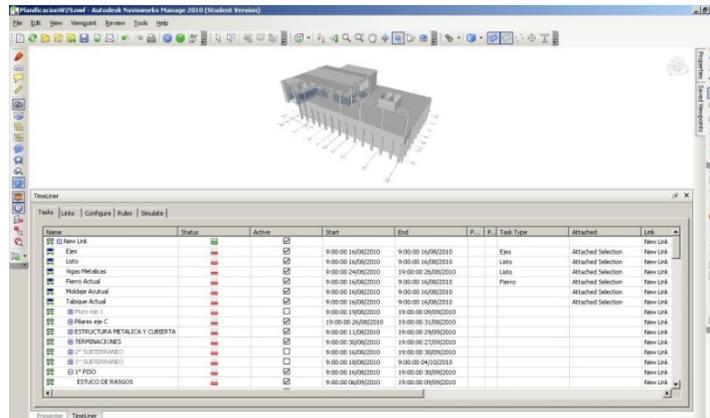
Luego para agregar la línea de tiempo con la cual se completará el modelo, se utiliza el detalle de las actividades que se puntualizan en la planificación semanal que se emplea para analizar el PAC y las CNC, por parte del equipo encargado de la realización de LPS de la constructora LD, estas actividades son mostradas y analizadas en un archivo formato \*.xls (Microsoft Office Excel), el cual es exportado por el investigador a un formato \*.mpp (Microsoft Project) como se muestra a continuación:



**Figura 23. Traspaso de la planificación de la obra a una línea de tiempo.**

Con la programación semanal en Microsoft Project se procede a completar las líneas de tiempo para cada actividad ordenándolas según la comodidad de la persona que ejecutará el modelo, en este caso, el investigador elige separar las actividades por nivel (primer subterráneo, primer piso, etc.).

Posteriormente, la programación semanal completa, reordenada y en formato \*.mpp es importada por el modelo 3D que se tiene en Autodesk Navisworks Manage 2010.



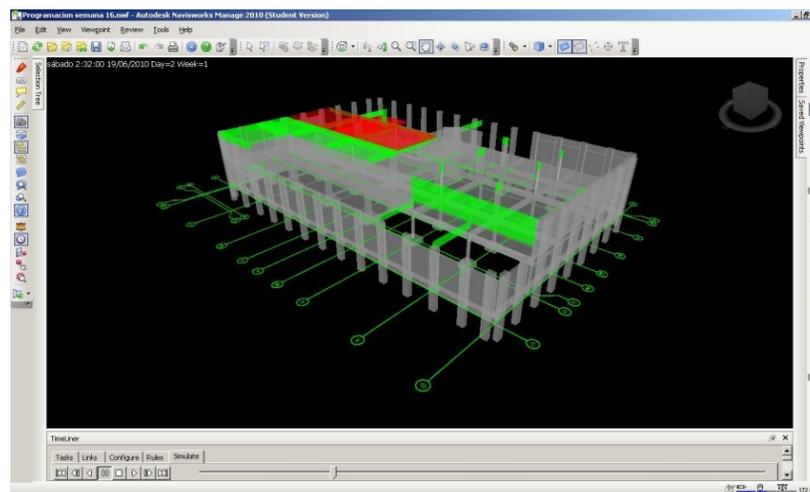
**Figura 24. Modelo Naviswork con la línea de tiempo importada desde Microsoft Project.**

Dentro del programa se asocian las actividades a realizar con los elementos del modelo 3D, y a cada actividad se le asigna un color distintivo para ser visualizado por las personas que asisten a la reunión de planificación semanal.

Para las reuniones de programación de obra gruesa, se utilizó, al igual que en el Museo de la Memoria, la siguiente tabla de colores.

**Tabla IV. Colores utilizados en el modelo 4D en Obra Gruesa.**

Enfierradura	Verde
Moldaje	Rojo
Hormigonado a realizar	Amarillo
Hormigonado descimbrado	Gris

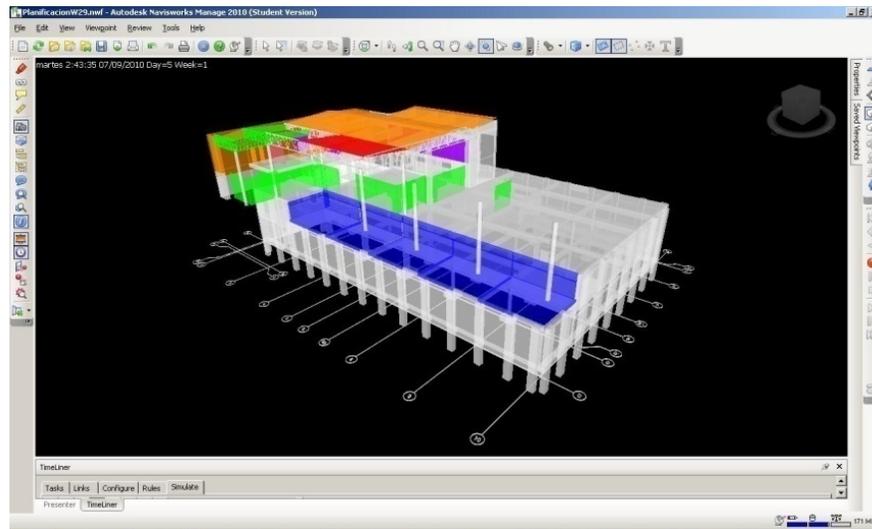


**Figura 25. Ejemplo de los diferentes colores utilizados en Obra Gruesa**

Para las reuniones de planificación en donde se revisaban las terminaciones se utilizó una mayor variedad de colores, debido a la mayor cantidad de partidas a realizar, a modo de ejemplo se indican algunos de ellos; y a continuación se muestran dos ejemplos de cómo se visualizaban en las reuniones.

**Tabla V. Colores utilizados en el modelo 4D en Terminaciones.**

Impermeabilización	Azul
Artefactos del baño	Blanco Invierno
Tabiques	Púrpura
Cerámicas	Blanco



**Figura 26. Ejemplo de los colores utilizados en Terminaciones**

Finalmente se presenta una tabla mostrando la dinámica que las reuniones de programación semanal dentro de la obra: Centro de Servicio Automotriz y Local de Venta de Automóviles.

**Tabla VI. Dinámica de la reunión semanal  
(Centro de Servicio Automotriz y Local de Venta de Automóviles).**

	LPS		4D
Previo a la Reunión	Se prepara lista de actividades completadas para obtener el PAC.		Se actualiza el modelo para mostrar el avance real de la obra.
	Se prepara una propuesta de programación semanal.		Se realiza el modelo 4D de la programación propuesta.
Reunión	Se informa el PAC y la lista de actividades no completadas, se consulta a los responsables por la CNC de cada actividad.		Se muestran las siguientes imágenes comparativas: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Avance Real</li> <li>• Avance Real con los compromisos que se adquirieron la semana anterior.</li> </ul>
	Se presenta la programación semanal propuesta para la siguiente semana.		Se muestra el modelo 4D de la programación propuesta.
	Se adquieren compromisos por los asistentes y se obtiene la programación para la semana siguiente.		Se modifica el modelo 4D en base a los compromisos adquiridos y se muestra a los asistentes en forma de video.  Se muestra la imagen: Avance Real con los compromisos que se adquirieron para la semana siguiente.
	Se discuten y analizan las posibles restricciones que pueden existir para lograr el avance programado a cuatro semanas más.		Se muestra el modelo 4D lookahead (avance programado por plan maestro para 4 semanas).

#### **4.3.4 Observaciones**

Una de las herramientas que proporciona la investigación de estudio de casos es la observación, en esta investigación se realizaron dos tipos de observaciones: directa y participativa.

##### **4.3.4.1 Observación Directa**

Esta fue realizada por el investigador en terreno, en las reuniones de planificación semanal, cuando aún no se completaba el modelo 4D y en estas, se pudo observar al equipo participante de la reunión, detectar las fortalezas y debilidades que existían en el manejo de ellos con la herramienta LPS. Dichas observaciones fueron informadas y discutidas con el equipo de investigadores del GEPUC para dar una posible solución o planteamiento de una conductualización para mejorar los procesos de implementación.

##### **4.3.4.2 Observación Participativa**

Esta tuvo lugar en las reuniones de planificación semanales cuando se tuvo terminado el modelo 4D y pudo ser presentado en conjunto con LPS. La observación realizada en esta etapa se enfocó a la comprensión y utilización del modelo 4D, las reacciones de los participantes y las oportunidades de mejorar la comprensión de este semana a semana.

#### **4.3.5 Entrevistas**

Las entrevistas que se realizaron en esta etapa fueron en su totalidad no estructuradas, el motivo principal de esto fue el dar libertad al entrevistado de plantear inquietudes y presentar su punto de vista de la implementación que estaba en proceso de ejecución.

Dichas entrevistas se realizaron semanalmente, con el objetivo de realizar continuas mejoras en la implementación del modelo 4D y finalmente, se efectuaron entrevistas para poder tener la opinión de los resultados obtenidos versus las expectativas que cada uno de ellos se planteó al comienzo de la implementación.

## CAPÍTULO 5: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

A continuación se muestran los resultados obtenidos de la investigación, estos serán expuestos en base al siguiente esquema representativo:



**Figura 27. Esquema de presentación de los resultados.**

Los resultados se reportan por separado para las dos fases propuestas, puesto que las implementaciones fueron realizadas en diferentes condiciones.

### 5.1 Fase Exploratoria (Museo de la Memoria)

Una vez analizadas las fuentes de información recopiladas, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

#### 5.1.1 Aspectos Positivos

- Existió la disposición por parte de empresa constructora para colaborar y ejecutar lo solicitado para realizar la investigación.
- El conocimiento mostrado por la empresa constructora en relación a LPS denotó un dominio de la herramienta, facilitando con esto la implementación del modelo 4D.
- Existió un trabajo en equipo que facilitó las vías de comunicación para generar la implementación.
- Se contó con los recursos necesarios por parte de los investigadores y de la empresa constructora para realizar la implementación.

- Se logró reducir los tiempos de reuniones semanales y se aumenta el porcentaje de actividades completadas utilizando ambas herramientas.

### **5.1.2 Aspectos Negativos**

- En base a la información recopilada para esta investigación, no fue posible demostrar que existe una reducción de costos gracias a la utilización de las herramientas en conjunto.
- La implementación del modelo 4D fue realizada en su totalidad por investigadores del GEPUC, y no existió un traspaso de conocimientos hacia el personal técnico de la constructora, respecto a cómo implementar un modelo 4D.

### **5.1.3 Lecciones Aprendidas**

- La implementación del modelo 4D impulsó la utilización de LPS.
- Fue necesario adaptar la visualización del modelo 4D, hasta lograr que los asistentes a la reunión de programación semanal lo comprendan claramente.

### 5.1.4 Beneficios de la Implementación de LPS+4D

**Tabla VII. Beneficios de la utilización de ambas metodologías y el aporte de cada una de ellas (Museo de la Memoria) (Mora et al. 2009).**

BENEFICIOS LPS + 4D		LPS	4D
Mejora rendimiento del proyecto (Se evitan pérdidas, ineficiencias, errores y tiempo de planificación y coordinación).	¿Qué aporta?	Orden, un formato y bases para realizar una planificación estructurada.	Una visualización de la obra.
	¿Cómo aporta?	Las reuniones se realizan de acuerdo a un formato preestablecido el cual puede mejorarse a través del tiempo, aprendiendo de errores anteriores.	Se pueden detectar de manera visual los errores de planificación antes de llevar la planificación al terreno.
Mejora la comunicación entre los actores del proyecto	¿Qué aporta?	Un espacio para la discusión de ideas que además involucre a todos los actores del proyecto.	Información visual.
	¿Cómo aporta?	Tomando decisiones en conjunto respecto a la planificación se pueden comprender y concertar los diferentes puntos de vista, argumentos y las diferentes motivaciones de cada asistente.	Tener información visual permite una mejor comprensión de las diferentes actividades que: se deben realizar, se pueden realizar y de las que finalmente se realizaron.

## 5.2 Fase Descriptiva (Centro de Servicio Automotriz y Local de Venta de Automóviles)

Una vez analizadas las fuentes de información entregadas por las diversas estrategias de investigación, los resultados fueron los siguientes:

### 5.2.1 Aspectos Positivos

- Existió muy buena disposición por parte los participantes para aprender sobre LPS y del modelo 4D.
- La comunicación entre los investigadores y el equipo de trabajo fue permanente.

### 5.2.2 Aspectos Negativos

- La poca capacitación teórica respecto de la filosofía *Lean Construction* por parte del equipo de trabajo de la empresa constructora, encargada de realizar la planificación mediante LPS, llevó a constantes errores que dificultan la implementación del modelo 4D.
- La falta de confianza en los posibles resultados, por parte de la encargados de la planificación, generó a lo largo de la investigación, falta de compromiso y baja motivación de la utilización del conjunto LPS + 4D.
- La falta de recursos humanos, por parte de la empresa constructora, dificultó la obtención de información, para la preparación correcta del modelo 4D.
- La duración de las reuniones de planificación se extendieron a medida que avanzó la investigación, incurriendo dentro de las reuniones en: discusiones técnicas, problemas de relaciones interpersonales y constantes abandonos de la reunión para solucionar problemas de diversa índole.
- No se tiene conocimiento del plan intermedio por todos los involucrados, dado que las reuniones se dividieron en planificación intermedia (*lookahead*) y planificación semanal, y sólo en la última participaron todos los asistentes.
- La implementación del modelo 4D fue realizada en su totalidad por el investigador, por lo que no existió un traspaso de conocimientos respecto a la forma de implementar por sí mismos, como constructora, un modelo 4D.

### 5.2.3 Barreras en la Implementación

- La utilización del modelo 4D se ve afectada por un sistema implementado antes de dicho modelo, el que graficaba en 2D las diferentes actividades a realizar. Considerando que la obra es de baja complejidad, para los asistentes es más simple continuar con los modelos en 2D que acostumbrarse a una nueva visualización.

### 5.2.4 Lecciones Aprendidas

- Fue necesario adaptar la visualización del modelo 4D, hasta lograr que los asistentes a la reunión de programación semanal lo comprendan claramente.

### 5.2.5 Beneficios de la Implementación de LPS+4D

**Tabla VIII. Beneficios de la utilización de ambas metodologías y el aporte de cada una de ellas (Centro de Servicio Automotriz y Local de Venta de Automóviles).**

BENEFICIOS LPS + 4D		LPS	4D
Progresar constantemente en la forma de realizar las reuniones de planificación	¿Qué aporta?	Orden, un formato y bases para realizar una reunión semanal de planificación.	Información visual.
	¿Cómo aporta?	Las reuniones se realizan de acuerdo a un formato preestablecido el cual puede mejorarse a través del tiempo, aprendiendo de errores anteriores.	Dentro del formato de la reunión está establecido, realizar la presentación del modelo en determinados momentos, estos deben cumplirse para que su utilización sea óptima.

### 5.3 Síntesis y Análisis de Resultados

De los resultados obtenidos se consigue elaborar las siguientes tablas que sintetizan las fortalezas, oportunidades y debilidades.

**Tabla IX. Fortalezas y desventajas de los diferentes planteamientos del uso de LPS+4D (en diferentes etapas de la reunión de planificación semanal)**

Etapa de la reunión		Museo de la Memoria	Centro de Servicio Automotriz y Local de Venta de Automóviles
Análisis de PAC y CNC	Fortalezas	En ambos análisis se da completa utilización del 4D y se obtienen resultados a partir del mismo, haciéndolo parte fundamental de la reunión.	Recopilar datos para obtener el PAC y estado actual de la obra para el modelo 4D por separado, evita errores por alguno de los encargados de cada metodología.
	Debilidades	Si el encargado del modelo 4D comete un error, este se arrastra en toda la planificación.	Se desincentiva la utilización del 4D basando los análisis en listas de actividades más que en las imágenes creadas.
Planificación Semanal	Fortalezas	Facilita la adquisición de compromisos, se realizan viendo ambas imágenes (Avance Real y Programación según el plan maestro).	Al tener una lista de actividades con la programación propuesta y a la vez visualizarlas como secuencia en el modelo 4D se hace simple detectar errores de planificación.
	Debilidades	Es más lento para quien manipula el modelo 4D realizar una imagen final, lo que dificulta una visualización de la cantidad de compromisos adquiridos por cada asistente.	La programación propuesta debe basarse en un plan maestro o <i>lookahead</i> validado para que la cantidad de trabajo acorde a la realidad de la obra.
<i>Lookahead</i>	Fortalezas	Se hace más simple detectar restricciones y errores de planificación, viendo las secuencias de trabajo a realizar en cuatro semanas con el modelo 4D.	
	Debilidades	Si el modelo 4D contiene errores o no se muestra correctamente, será difícil encontrar todas las restricciones necesarias para desarrollar las actividades contempladas en terreno.	

**Tabla X. Oportunidades en diferentes campos para una implementación LPS+4D.**

<b>CAMPO</b>	<b>LPS+4D</b>
<b>Descriptivo</b>	Se visualizan las actividades semanales a cumplir, las no cumplidas anteriormente, los compromisos adquiridos y la lista de restricciones, además de las secuencias constructivas.
<b>Explicativo</b>	Registro de datos que se genera permite identificar problemas que se reiteran en el tiempo y ayudar a encontrar las causas de estos.
<b>Evaluativo</b>	Entrega indicadores que permiten evaluar periódicamente el cumplimiento de los objetivos planteados.
<b>Predictivo</b>	En base al análisis del modelo es posible anticipar problemas de planificación, detectar restricciones, aglomeraciones de trabajo, etcétera.
<b>Formulación Alternativa</b>	En base a ambas tecnologías se pueden buscar diferentes opciones de planificación y modelarlas para finalmente elegir la alternativa que se considere como óptima.
<b>Negociación</b>	Generar compromisos racionales por parte del personal técnico involucrado en base a lo que se visualiza en el modelo 4D.
<b>Toma de Decisiones</b>	De acuerdo a los análisis de indicadores y a la visualización del modelo 4D se puede decidir respecto a la forma de planificar las actividades en la obra.

## CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

La investigación realizada permitió estudiar y evaluar la implementación de las herramientas LPS+4D en dos diferentes obras, esto permite contrastar dos realidades dentro del marco de la construcción chilena, detectar sus fortalezas y debilidades en la implementación de nuevas tecnologías que favorecen el desarrollo de la construcción.

### 6.1 Revisión de Hipótesis y Cumplimiento de Objetivos

Para llevar a cabo la investigación se propusieron diversas hipótesis de las cuales se puede concluir lo siguiente:

1. Obtener resultados positivos, perceptibles por parte de los participantes de las reuniones de planificación, permitirá generar mayor confianza en la implementación de esta combinación de LPS con 4D, facilitando su ejecución en nuevos escenarios.

No es posible verificar esta hipótesis dado que los resultados obtenidos no muestran una clara tendencia. En el Museo de la Memoria se obtuvieron resultados positivos en la implementación de LPS+4D, los cuales se vieron reflejados en el aumento del indicador PAC y en la disminución de los tiempos de planificación (Mora et al. 2009). Sin embargo para el Centro de Servicio Automotriz y Local de Venta de Automóviles la implementación LPS+4D no reflejó grandes cambios en la metodología, ni en los resultados de la planificación.

2. La introducción de un modelo 4D fortalecerá la correcta utilización de LPS.

En el caso del Museo de la Memoria, esta hipótesis se verificó con el aumento de los porcentajes de actividades completadas y la disminución de tiempo de reuniones de planificación, registrados en la implementación, con una mejor visualización y comprensión del proyecto a realizar. En la obra Centro de Servicio Automotriz y Local de Venta de Automóviles, la utilización del modelo 4D aporta un mayor orden a la organización de las reuniones, por lo que también se verificó la hipótesis.

3. Al emplearse esta nueva combinación de herramientas (LPS+4D) para planificar en obra, puede resultar complejo que el cien por ciento de los participantes de las reuniones logren comprender y adaptarse a los cambios o que simplemente se resistan a la implementación de esta combinación.

Esta hipótesis se confirmó como verdadera, dado que en ambas obras hubo un tiempo de adaptación, siendo el Museo de la Memoria la obra en dónde este periodo tuvo menor duración.

**Objetivo General:**

- Investigar y evaluar la implementación de LPS+4D en dos obras realizadas en diferente tiempo y por diferentes empresas, pertenecientes al sector de la industria de la construcción chilena.

El objetivo general fue desarrollado puesto que se investigó y evaluó ambas implementaciones.

**Objetivos Específicos:**

- Observar y registrar los diferentes impactos que se obtienen al implementar un modelo 4D con la herramienta LPS.

Se utilizaron diversas estrategias que permitieron observar y registrar los procesos de implementación desarrollados.

- Detectar e informar en base a resultados obtenidos de información cruzada, los beneficios y fallas del sistema LPS y 4D post implementación.

Al analizar los resultados se puede concluir que esta investigación permitió detectar los beneficios y falencias dentro de los procesos de implementación, entregando bases para favorecer nuevas implementaciones e investigaciones.

## 6.2 Comentarios y Recomendaciones

En base a la experiencia obtenida por el investigador durante la implementación LPS+4D, y a las múltiples expectativas que se generan en base a la aparición de nuevas herramientas es posible comentar y recomendar que:

Previo a la implementación de LPS+4D, se considera necesario que los conceptos básicos de la filosofía Lean Construction, en especial los de last planner system, sean transmitidos a la mayor cantidad posible de asistentes a la reunión de planificación, en especial a los encargados de dicha reunión. Además es primordial contar con el modelo 4D validado por quienes están a cargo de la planificación de la obra, incluyendo correctamente los diferentes métodos constructivos a utilizar y un correcto desglose del plan maestro de la obra.

Durante la implementación es necesario corregir constantemente en base al análisis de los indicadores de LPS, errores o malas prácticas que ocurren en general en la planificación, si no se consideran los principios de LPS (se vuelve a planificar de un modo “tradicional”).

Para elegir el software con el cual se realizará y manejará el modelo 4D, se recomienda buscar principalmente interfaces gráficas amigables e intuitivas para el programador, y que este sea capaz de interactuar con la mayor cantidad de programas existentes, para que así, sea más simple completar el modelo y que se pueda extraer e importar información desde otros programas que puedan complementar el modelo.

Respecto a la visualización del modelo 4D en la reunión, los asistentes o usuarios tenderán a confundirse dada la gran cantidad de colores (los que representan diferentes actividades) que se mostrarán, es por esto que se debe elegir una cantidad acotada de actividades, para captar la atención de la mayor cantidad de participantes, sin sobrecargar el modelo. Se recomienda además utilizar un sistema de referencia que sea claro y entendible por todos, que la imagen sea proyectada de manera que sea visible por todos en la reunión y que los ángulos de visión sean modificados en base a la opinión de los asistentes hasta encontrar el ángulo óptimo de visualización, para luego conservar este ángulo por el resto de las reuniones.

Finalmente se recomienda implementar LPS+4D en obras de mayor complejidad, cuando existan diferentes alternativas de realizar la obra o una gran cantidad de variables que condicionen la línea crítica del proyecto, LPS aportará el orden necesario y en base al 4D se podrán modelar diferentes escenarios para escoger la mejor alternativa de planificación

## BIBLIOGRAFÍA

1. ALARCÓN, L.F. (1997). Lean Construction. A.A. Balkena, Rotterdam, The Netherlands, 497 p.
2. ALARCÓN, L.F. y DIETHELM, S (2001). “Organizing to Introduce Lean Practices in Construction Companies”. 9th Conference of the International Group for Lean Construction, August, Singapore.
3. ALARCON, L. y SEGUEL L. (2002). Estrategias de Incentivos para la Implementación de Lean Construction. Proceedings of the 10th Annual Conference of the International Group for Lean Construction IGLC, Gramado, Brasil.
4. ALARCÓN, L.F. et al. (2003). Planificación y control de producción para la construcción. El sistema del último planificador. Guía para la implementación.
5. BALLARD, G. (1999 a). Work Structuring. Lean Construction Institute White Paper-4, Lean Construction Institute, Ketchum, ID.
6. BALLARD G. (1999 b). Improving Work Flow Reliability. Proceeding 7th Annual Conference International Group Of Lean Construction. Berkley, C.A.
7. BALLARD, G. (2000). The Last Planner System of Production Control. PhD thesis Dept. of Civil Engineering, University of Birmingham, Birmingham, U.K.
8. BALLARD, G. y HOWELL, G. (2003). “Un update on Last Planner”. Paper presented to 11th Annual Conference of International Group on Lean Construction, Virginia, USA.
9. BETANZO, C. (2003). Metodología de Reducción de Tiempos en Obras Repetitivas. Tesis (Magíster en Ciencias de la Ingeniería), Pontificia Universidad Católica de Chile, Chile.
10. BOTERO, L. y ÁLVAREZ, M. (2005). “Last Planner, un avance en la planificación y control de proyectos de construcción estudio de caso de la ciudad de Medellín”. Universidad de Barranquilla, Colombia.
11. CARBAJAL, L. (1992). La lectura: Metodología y técnica. 8va Edición. FAID. Colombia.
12. CORBETTA, P. (2003). Metodologías y Técnicas de Investigación Social. 1era Edición Mc Graw – HILL/Interamericana de España, S.A.U.
13. DÍAZ, D. (2007). “Aplicación del Sistema de Planificación Last Planner a la construcción de un edificio habitacional de mediana altura”. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad de Chile.
14. GEORGE, A y BENNETT, A. (2005). Case Studies and Theory Development in the Social Sciences. MIT Press, Cambridge, MA.
15. GEPUC. (2009). Consulta e impresión Enero, 2011 < <http://www.gepuc.cl>>
16. GÓMEZ, J. (2009). Consulta e impresión Enero, 2011 <<http://www.dictuc.cl>>

17. HOWELL, G. (1999). What is Lean Construction? Proceeding 7<sup>th</sup> Annual Conference International Group Of Lean Construction. Berkley.
18. KHANZODE, A., FISCHER, M., REED, D., BALLARD, G. (2006). A Guide to Applying the Principles of Virtual Design & Construction (VDC) to the Lean Project Delivery Process. Stanford University.
19. KOSKELA, L. (1992). Application of the New Production to Construction. Tech. Rep.No. 72, Center for Integrated Facility Engineering, Stanford Univ., Stanford, Calif.
20. KOSKELA, L., BALLARD G. y TANHUANPÄÄ, V. (1997). Towards Lean Design Management. Proceedings 5th Annual conference of international Group for Lean Construction, Griffith University, Gold Coast.
21. KYMMELL, W. (2003). Building Information Modeling. Planning and Managing Construction projects with 4D CAD and Simulations.
22. MARTINEZ, C., MARTINEZ, M., GIMENEZ, Z. (2008). Simulación de Construcción Utilizando Tecnología 4D. Caso de Estudio: Parque La Música Residencial. Tecnologia en la Construcción Número 16, 2da Edición.
23. MORA, M., FUSTER, S., ALARCÓN, L. (2009). De la Oficina al Terreno: Last Planner System con Programación 4D.
24. MOURGUES, C., FISCHER (2001). Investigaciones en Tecnologías de Información Aplicadas a la Industria A/E/C (Arquitectura, Ingeniería y Construcción). Stanford University.
25. NAOUM, G., (1998). Dissertation research and writing for construction students. Butterworth-Heinemann, Oxford, Inglaterra.
26. OHNO, T (1993). El Sistema de Producción Toyota Production System: Beyond Large-Scale Production. Productivity Press, Portland, OR, 143 p.
27. PINTO DE LA SOTA, S (2010). Evaluación y mejoramiento de los sistemas de producción en Proyectos de Producción. Tesis para optar al grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile.
28. RISCHMOLLER, L., ALARCÓN, L. (2002). 4D-PS: Putting an IT new work process into effect. International Council for Research and Innovation in Building and Construction CIB conference 2002.
29. RISCHMOLLER, L., KOSKELA, L., ALARCÓN, L. (2006). Improving Value Generation in the Design Process of Industrial Projects Using CAVT. Journal of Management in Engineering, ASCE.
30. SCHRAMM, F. (2004). O Projeto do Sistema de Produção na Gestao de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social. Mestrado em Engenharia Civil, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
31. SHAW I. (2003). La Evaluación Cualitativa: Introducción a los Métodos Cualitativos. Ediciones Paidós Ibérica S.A. España

32. SANGUINETTI, J. (1994). Lógica. Ediciones Universidad de Navarra. Pamplona.
33. SJOBERG, G. y NETT R. (1980). Metodología de la Investigación Social. 1era edición Editorial Trillas. México.
34. THIOLENT, M. (2000). Metodología de Pesquisa Acao. São Paulo: Cortez, 2000.
35. WOMACK, J. y JONES, D. (1996). Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. New York: Free Press.
36. YACUZZI, E. (2005). Estudio De Caso Como Metodología De Investigación: Teoría, Mecanismos Causales, Validación. Documento de trabajo N° 296, Departamento de Dirección de empresas. Universidad del CEMA, Argentina.
37. YIN, R., (2001). Case Study Research: Design and Methods, Ed. Sage Publications, London. United Kingdom.
38. YIN, R. (2003). Case Study Research: Design and Methods, Ed. Sage Publications, London. United Kingdom.