



**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y DE GESTIÓN
GERENCIA DE PROYECTOS**

**MODELADO COMPUTACIONAL DE LA
DINÁMICA DEL DESEMPEÑO EN PROYECTOS
DE CONSTRUCCIÓN**

Autor:

Hugo HERNÁNDEZ

Profesor Guía:

José GUZMÁN

Caracas, 2006

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y DE GESTIÓN
GERENCIA DE PROYECTOS

**MODELADO COMPUTACIONAL DE LA DINÁMICA
DEL DESEMPEÑO EN PROYECTOS DE
CONSTRUCCIÓN**

Trabajo de investigación presentado por:

Hugo HERNANDEZ LUGO

Como requisito parcial para obtener el Título de
Magister en Gerencia de Proyectos

Profesor Guía:
José GUZMAN

Caracas, Septiembre 2006

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo contó con un conjunto de personas que, de manera desinteresada revisaron, corrigieron, opinaron y aportaron valor con el fin de contribuir al éxito de este trabajo. Entre ellas me gustaría destacar a: José Guzmán, Álvaro Briceño, Luisa Angelucci y Jolihtzahanna Méndez. Gracias a todos.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-------------|
| AGRADECIMIENTOS | iii |
| ÍNDICE GENERAL | iv |
| ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS | viii |
| RESUMEN | xi |
| | |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| | |
| 1.- MARCO TEÓRICO | 5 |
| 1.1.- INTRODUCCIÓN | 5 |
| 1.2.- ENFOQUE SISTÉMICO DE LA GERENCIA DE PROYECTOS | 6 |
| 1.2.1- Gerencia de la Integración de proyectos | 6 |
| 1.2.2.-Gestión del Desempeño en Proyectos | 8 |
| 1.2.3.- Estrategia de Gerencia de Proyectos | 10 |
| 1.3.- MODELOS DINÁMICOS PARA LA GERENCIA DE PROYECTOS | 11 |
| 1.3.1.- Modelado de Sistemas dinámicos | 11 |
| 1.3.2.- Construcción de un Modelo Dinámico | 13 |
| 1.3.3.- Modelos de Sistemas Dinámicos en la Gerencia de Proyectos | 16 |
| 1.3.4.- Características de Modelos de Sistemas Dinámicos para Gerencia de Proyectos | 17 |
| 1.4.- EL GERENTE DEL PROYECTO COMO USUARIO DEL MODELO | 18 |
| 1.4.1.- Interacción Gerente de Proyecto - Modelo | 20 |
| 1.4.2.- Aprendizaje en el Ciclo de Vida del Proyecto | 21 |
| 1.5.- CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO DE PROYECTOS | 22 |
| 1.5.1.- Proyectos de Construcción | 22 |
| 1.5.2.- Complejidad en Proyectos de Construcción | 23 |

| | |
|--|-----------|
| 1.6.- RESUMEN | 25 |
| 2.- DESCRIPCIÓN DEL MODELO DINÁMICO | 26 |
| 2.1.- INTRODUCCIÓN | 26 |
| 2.2.- PROPÓSITO DEL MODELO | 27 |
| 2.3.- HIPÓTESIS DINÁMICA | 27 |
| 2.3.1.- Premisas y Suposiciones | 28 |
| 2.3.2.- Condiciones Iniciales | 28 |
| 2.4.- PARÁMETROS DEL MODELO | 29 |
| 2.5.- ESTRUCTURA DEL MODELO DINÁMICO | 30 |
| 2.5.1.- Retrabajo | 33 |
| 2.5.2.- Productividad | 36 |
| 2.5.3.- Aprendizaje | 37 |
| 2.5.4.- Recursos Humanos | 40 |
| 2.6.- INTERACCIÓN USUARIO-MODELO-MODELADOR | 42 |
| 2.6.1.- Interfase Usuario-Modelo | 42 |
| 2.6.2.- Interacción Usuario-Modelador | 43 |
| 2.7.- RESUMEN | 44 |
| 3.- VALIDACIÓN DEL MODELO DINÁMICO | 45 |
| 3.1.- INTRODUCCIÓN | 45 |
| 3.2.- RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN | 45 |
| 3.2.1.- Curva S | 46 |
| 3.2.2.- Histograma de Horas Labor | 47 |
| 3.3.- CORRESPONDENCIA ESTRUCTURAL DEL MODELO | 48 |
| 3.4.- SIMULACIÓN BAJO DIVERSOS ESCENARIOS | 49 |
| 3.4.1.-Fracción Normal de Retrabajo (f_{norm}) | 49 |

| | |
|--|-----------|
| 3.4.2.- Tiempo para Descubrir el Retrabajo | 50 |
| 3.5.- COMPARACIÓN MODELO VS. REGISTROS HISTÓRICOS | 51 |
| 3.5.1.- Datos Históricos | 52 |
| 3.5.2.- Comparación de Resultados Simulados e Históricos Reales | 54 |
| 3.6.- RESUMEN | 55 |
| 4.- RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DEL MODELO | 56 |
| 4.1.- INTRODUCCIÓN | 56 |
| 4.2.- RESULTADOS SIN APLICAR ACCIONES GERENCIALES | 56 |
| 4.2.1.- Resumen de Resultados de Desempeño | 57 |
| 4.2.2.- Avance Físico Percibido | 57 |
| 4.2.3.- Horas Labor Totales | 59 |
| 4.2.4.- Productividad | 60 |
| 4.2.5.- Aprendizaje del Equipo | 61 |
| 4.2.6.- Nivel de Experiencia | 62 |
| 4.3.- RESULTADOS APLICANDO ACCIONES GERENCIALES | 63 |
| 4.3.1.- Efecto del Incremento en la Cantidad de Personas | 64 |
| 4.3.2.- Efecto de Incrementar el Esfuerzo | 66 |
| 4.3.3.- Efecto de la Presión del Cronograma | 66 |
| 4.3.4.- Efecto del Aprendizaje sobre la Productividad | 69 |
| 4.3.5.- Relación entre el Retrabajo y el Aprendizaje | 70 |
| 4.4.- RESUMEN DE LOS RESULTADOS | 70 |
| 4.5.- INTEGRACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LA PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO | 71 |
| 4.6.- RESUMEN DEL CAPÍTULO | 74 |
| CONCLUSIONES Y LECCIONES APRENDIDAS | 75 |

REFERENCIAS

79

ANEXO A

83

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

INTRODUCCIÓN

| | |
|---|---|
| Figura 1 Esquema de diseño de investigación | 2 |
|---|---|

1.- MARCO TEÓRICO

| | |
|---|---|
| Figura 1.1 Esquema general del contenido del capítulo 1 | 6 |
|---|---|

| | |
|--|---|
| Figura 1.2 Procesos de la Gerencia de la Integración (Basado en PMBOK, 2004) | 7 |
|--|---|

| | |
|--|---|
| Figura 1.3 Esquema de los procesos de gestión del desempeño (Long, 2000) | 8 |
|--|---|

| | |
|--|----|
| Figura 1.4. Niveles de estrategia en proyectos | 10 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| Figura 1.5 Ejemplo de diagrama cíclico de causa y efecto | 14 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| Figura 1.6 Elementos constructivos de un diagrama de niveles y flujos | 15 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| Figura 1.7 Un continuo de las actividades de desarrollo del modelo (Basado en Richmond, 1997b) | 16 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| Figura 1.8 Ciclo del retrabajo en proyectos (basado en Cooper, 1993) | 17 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| Figura 1.9 Integración del modelo de SD con las herramientas tradicionales | 19 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| Figura 1.10 Visión tradicional del proceso de toma de decisiones (Hernández y Méndez, 2003) | 20 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| Figura 1.11 Toma de decisiones apoyadas en modelos de simulación (Hernández y Méndez, 2003) | 21 |
|---|----|

| | |
|--------------------------------|----|
| Tabla 1.1 Tipos de complejidad | 24 |
|--------------------------------|----|

2.- DESCRIPCIÓN DEL MODELO DINÁMICO

| | |
|--|----|
| Figura 2.1 Estructura de actividades disponibles | 31 |
|--|----|

| | |
|-------------------------------------|----|
| Figura 2.2 Estructura del Retrabajo | 31 |
|-------------------------------------|----|

| | |
|--|----|
| Figura 2.3 Estructura de la Ejecución de las Actividades | 32 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| Figura 2.4 Diagrama de niveles y flujos para proyectos | 33 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| Figura 2.5 Versión 2 del diagrama de niveles y flujos para proyectos | 34 |
|--|----|

| | |
|---|-----------|
| Figura 2.6 Parámetros que influyen en la tasa de ejecución | 35 |
| Figura 2.7 Parámetros que influyen en la productividad | 36 |
| Figura 2.8 Influencia de la Experiencia acumulada en el efecto de la presión del cronograma | 37 |
| Figura 2.9 Modelo de productividad (Richmond, 1997) | 37 |
| Figura 2.10 Relación entre aprendizaje y productividad | 38 |
| Figura 2.11 Modelo propuesto basado en curvas de aprendizaje | 38 |
| Figura 2.12 Ejemplo de curva de aprendizaje | 39 |
| Figura 2.13 Estructura principal del submodelo de recursos humanos | 41 |
| Figura 2.14 Cónsola principal | 42 |
| Figura 2.15 Detalle de la visualización de los resultados | 43 |
| Tabla 2.1 Principales parámetros relacionados con el desempeño en proyectos | 29 |
| | |
| 3.- VALIDACIÓN DEL MODELO DINÁMICO | 45 |
| Figura 3.1 Curva S resultante del modelo | 46 |
| Figura 3.2 Histograma de horas-labor simulado | 47 |
| Figura 3.3 Efecto de la fracción de retrabajo sobre el desempeño del proyecto | 50 |
| Figura 3.4 Efecto del tiempo para descubrir retrabajo sobre el desempeño | 51 |
| Figura 3.5 Detalle de la interacción entre los datos históricos y el Modelo de SD | 51 |
| Figura 3.6 Diagrama de barras estándar para cada entregable | 52 |
| Figura 3.7 Gráfico de control para avance físico de proyectos | 53 |
| Figura 3.8 Comparación de los resultados de la simulación con resultados reales | 54 |
| Figura 3.9 Comparación de histogramas labor reales promedio y simulado | 55 |
| Tabla 3.1 Datos históricos de proyectos representativos | 53 |
| | |
| 4.- RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DEL MODELO | 56 |
| Figura 4.1 Estructura dinámica detrás del avance percibido | 58 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.2 Avance físico percibido y avance físico real | 59 |
| Figura 4.3 Histograma de horas labor totales | 60 |
| Figura 4.4 Comportamiento de la productividad durante la vida del proyecto | 61 |
| Figura 4.5 Comportamiento del aprendizaje durante la ejecución del proyecto | 62 |
| Figura 4.6 Experiencia adquirida durante el proyecto | 63 |
| Figura 4.7 Cambios en la ejecución ocasionada por el incremento del equipo | 64 |
| Figura 4.8 Efecto del aumento del tamaño del equipo sobre las horas labor | 65 |
| Figura 4.9 Efecto del aumento del esfuerzo sobre el desempeño del proyecto | 66 |
| Figura 4.10 Efecto de la presión del cronograma | 67 |
| Figura 4.11 Efecto de la presión del cronograma en el retrabajo | 68 |
| Figura 4.12 Efecto de la presión del cronograma en la productividad | 69 |
| Figura 4.13 Relación entre aprendizaje y productividad | 69 |
| Figura 4.14 Relación entre aprendizaje y el retrabajo | 70 |
| Figura 4.15 Procesos de la Gerencia de Proyectos (PMBOK, 2004) | 72 |
| Figura 4.16 Procesos de la Gerencia de Proyectos con la superposición de la Figura 1.3 | 72 |
| Figura 4.17 Aceleración del ciclo a través del modelo de simulación propuesto | 72 |
| Figura 4.18 Interacción del modelo dinámico con el proyecto. | 73 |
| Tabla 4.1 Resumen de resultados | 57 |
| Tabla 4.2 Variación del indicador con el desarrollo del proyecto | 65 |
| Tabla 4.3 Resumen de las iniciativas vs. los efectos sobre el proyecto | 71 |

**MODELADO COMPUTACIONAL DE LA DINÁMICA DEL DESEMPEÑO
EN PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN**

Autor: Hugo Hernández L.

Asesor: José Guzmán

RESUMEN

En la actualidad, el entorno donde se realizan los proyectos es muy cambiante, por tanto es difícil predecir cual será el desempeño y si se alcanzarán las metas del proyecto. Esto lleva a las organizaciones a realizar proyectos bajo nuevas condiciones, donde las estrategias, las premisas y los paradigmas exitosos en el pasado, podrían no ser efectivos en el futuro. En este trabajo se generan y evalúan estrategias de ejecución para proyectos de construcción a través de un modelo de Sistemas Dinámicos (SD). Las estrategias de ejecución evaluadas permiten aportar información, desde la perspectiva de sistemas, para la toma de decisiones y el incremento del desempeño en proyectos. Por otro lado, la simulación de SD incorpora la complejidad dinámica de los proyectos, con el fin de apoyar la gestión de la integración del proyecto. El modelo de SD representa las interacciones entre el desempeño del equipo y los procesos cíclicos presentes en proyectos: Retrabajo, Productividad, Aprendizaje y Recursos Humanos. Además, el modelo se validó usando registros históricos de proyectos de construcción, con el fin de contar con una herramienta confiable para evaluar alternativas de ejecución de proyectos. Como resultado, se muestran gráficos de avance físico y de horas labor requeridas, donde se evidencia el efecto de recursos, aprendizaje, productividad y complejidad del trabajo en el desempeño global del proyecto. De los resultados se desprende la necesidad de fortalecer el aprendizaje a partir de la ejecución de los proyectos y de reducir el retrabajo, para incrementar el desempeño en los proyectos. Este trabajo aporta una herramienta de simulación que puede ser integrada a las técnicas tradicionales de planificación para cuantificar el desempeño del proyecto y evaluar la efectividad de estrategia de ejecución antes de implantarla. Las conclusiones de este trabajo podrían ser extrapoladas a otro tipo de proyectos.

PALABRAS CLAVE: 1.- Desempeño de Proyectos, 2.- Simulación Dinámica, 3.- Retrabajo, 4.- Aprendizaje, 5.- Proyecto de Construcción

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el entorno donde se realizan los proyectos es muy cambiante, por tanto es muy difícil predecir cual será el desempeño y si se alcanzarán las metas del proyecto en costo, tiempo y calidad. En promedio, solo el 31% de los proyectos culminan a tiempo, en base a una muestra representativa de 140 proyectos de diversos sectores en Venezuela (Palacios y Yamin, 2002). Es de resaltar que en este estudio, los proyectos de construcción resultaron ser los más comunes (44%). En un estudio similar, Tilk (2003) indicó que aproximadamente el 50% de los proyectos finalizan tarde o por encima del presupuesto, 25% fallan completamente y solo el 25% alcanzan sus metas. Por otro lado, el entorno económico actual ejerce enorme presión para producir resultados rápidamente, empujando a las organizaciones hacia la reducción del ciclo de vida y el incremento del desempeño de los proyectos. Además, la tendencia competitiva actual de las organizaciones a estar interconectadas con múltiples socios se traduce en más áreas internas y externas a ser consideradas en los proyectos, creando gran complejidad. La complejidad afecta el desempeño real del proyecto, ocasionando efectos colaterales y consecuencias no previstas a mediano y a largo plazo (Schicht, 2000). Todo esto lleva a las organizaciones a realizar proyectos bajo nuevas condiciones, donde las estrategias de ejecución, las premisas y los paradigmas exitosos en el pasado, podrían no ser efectivos en el presente o en el futuro (Tilk, 2003).

Los proyectos pueden considerarse sistemas constituidos por innumerables subsistemas interrelacionados, que exhiben un comportamiento dinámicamente complejo. Frente a esto, las herramientas tradicionales de Gerencia de Proyectos tales como el método del camino crítico (CPM) o el valor ganado no permiten gerenciar eficientemente la complejidad dinámica de los proyectos, ya que no cuantifican adecuadamente los efectos de realimentación (Cooper, 1993) o efectos secundarios que se producen cuando se toman decisiones. Por tanto, las decisiones basadas en tales métodos suelen ser poco efectivas en el mejoramiento del desempeño.

El enfoque de sistemas surge como un proceso lógico y disciplinado de resolución de problemas y de desarrollo de proyectos (Kerzner, 2001). Este enfoque puede ser aplicado a través de la simulación de modelos de dinámica de sistemas para representar, analizar y explicar la dinámica de los proyectos en diversas industrias (Sterman, 1992). Estos modelos han considerado aspectos particulares de los proyectos; por ejemplo, han sido usados en proyectos para estudiar el impacto del cliente (Rodríguez y Williams, 1996), para simular el uso de los recursos (Repenning, 1999; Morecroft, 1999), para simular procesos de negociación (Gordon, 1999), en investigación y desarrollo de productos (Ford, 1995) y en muchas otras aplicaciones en proyectos (Williams, 2003). También han sido utilizados como herramientas de aprendizaje para gerentes de proyectos a través de laboratorios computacionales (Choi y col., 2002). Sin embargo, estos modelos no incorporan explícitamente el efecto del aprendizaje en la productividad y en el desempeño del equipo de proyecto.

En este trabajo se evalúa el impacto de diversas estrategias de ejecución en el desempeño de la fase de definición y desarrollo de proyectos de construcción a través de un modelo de simulación dinámica basado en el ciclo del retrabajo y en los procesos de aprendizaje en proyectos. Entonces, el diseño de investigación está basado en la elaboración de un modelo de simulación dinámica que permite ensayar diversas estrategias de ejecución de proyectos en un ambiente libre de riesgos. El modelo es elaborado a través de un proceso iterativo y sistemático (Figura 1), basado en el propuesto por Richmond (1997b). El modelo fue cargado y simulado en un computador personal mediante el uso de un software comercial de simulación dinámica, el cual facilita la interacción modelo usuario a través de consolas interactivas.

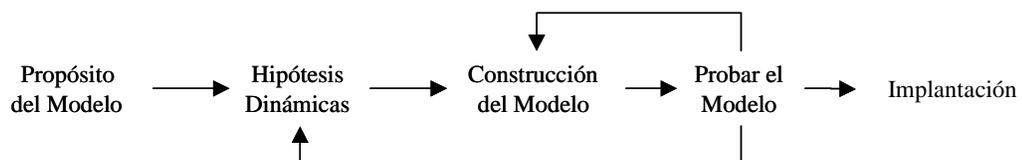


Figura 1 Esquema del Diseño de Investigación (Basado en Richmond, 1997b)

En este modelo se construyen estrategias a través de la integración parámetros tales como: recursos humanos, presión del cronograma, aprendizaje, productividad, incertidumbre y defectos en la ejecución, con el fin de obtener un resultado en costo y tiempo para cada alternativa de decisión o estrategia propuesta. Este resultado cuantifica el desempeño del proyecto y permite evaluar la efectividad de cada estrategia de ejecución de proyectos propuesta antes de ponerla en práctica. Además, este resultado aporta evidencia en la comprensión de la complejidad dinámica presente en este tipo de proyectos.

El modelo dinámico de proyectos propuesto sirve de soporte en el proceso de desarrollo del plan del proyecto, ya que integra de una forma dinámica y coherente los procesos esenciales de los proyectos, facilitando el enfoque de pensamiento sistémico en proyectos. Entonces, el modelo puede ser considerado una valiosa e innovadora herramienta de la gerencia de la integración de los proyectos. Desde la perspectiva de la

gestión de la integración en proyectos, el modelo permite evaluar las estimaciones (en costo y tiempo) y realizar una planificación realista del proyecto. También, proporciona un entorno libre de riesgo para ensayar innovadoras estrategias de ejecución de proyectos, con lo cual los Gerentes de Proyectos pueden experimentar el impacto de sus decisiones mediante la simulación computacional y aprender de sus errores.

El objetivo general de este trabajo de maestría es generar y evaluar estrategias de ejecución de proyectos de construcción que incrementen el desempeño en costo y tiempo, a través del diseño de un modelo de simulación dinámica basado en el ciclo del retrabajo y en los procesos de aprendizaje. Las estrategias de ejecución de proyectos evaluadas permitirán aportar información relevante para la toma de decisiones en proyectos y para potenciar el aprendizaje de los usuarios del modelo. En detalle, los objetivos específicos de este trabajo son:

- ✓ Describir los principales procesos dinámicos que se presentan durante la vida de los proyectos de construcción.
- ✓ Construir el modelo de simulación de los procesos dinámicos presentes en proyectos de construcción.
- ✓ Validar el modelo de simulación mediante datos históricos de Proyectos de construcción real
- ✓ Generar estrategias de ejecución de proyectos estructurada de acuerdo con los parámetros del proyecto que el gerente pueda controlar y posean una representación en el modelo.
- ✓ Comparar el impacto en el desempeño de las diversas estrategias de ejecución de proyectos ensayadas.
- ✓ Integrar el modelo de simulación a los procesos de la gerencia de la integración del proyecto, con el fin de facilitar la incorporación del modelo a las herramientas de la gestión de la integración en proyectos

Para lograr estos objetivos se estructuró el trabajo en cuatro capítulos. En el Capítulo 1 se expone de una manera sencilla y directa los conceptos fundamentales para sustentar el desarrollo del modelo de simulación y la posterior interpretación de los resultados. Luego la descripción detallada del procedimiento sistemático para elaborar el modelo dinámico es presentada en el Capítulo 2. Además, se describe como es la interacción práctica entre el usuario y el modelo de sistemas dinámicos. En el Capítulo 3, se realizó el proceso de validación de los resultados preliminares del modelo, con el fin de proporcionar confiabilidad al modelo para simular el comportamiento futuro de los proyectos de construcción. Finalmente, en el Capítulo 4 se analizan los resultados generados por la simulación para cada estrategia evaluada con el fin de obtener un conjunto de lecciones aprendidas que puedan ser aplicables en proyectos similares.

Además se muestra como el modelo propuesto puede llegar a ser una herramienta clave dentro de los procesos de la gestión de integración de los proyectos.

Capítulo 1

MARCO TEÓRICO

1.1.- INTRODUCCIÓN

Los proyectos pueden ser entendidos desde la perspectiva de sistemas (Kerzner, 2001). Con este enfoque, los proyectos son un conjunto complejo de subsistemas que se relacionan de forma dinámica, a través de unos procesos para lograr una meta (Sterman, 1992). Los proyectos deben ser gerenciados con el apoyo de herramientas que permitan comprender las relaciones entre las partes de un proyecto, integrar el desarrollo de un proyecto y tomar acciones para incrementar el desempeño. En este sentido, la Gerencia de Proyectos comprende la gestión de todos los elementos involucrados en el logro de los objetivos del proyecto dentro del tiempo, costo, calidad y otros criterios de desempeño (Dixon, 2000). Desde este punto de vista, la integración del proyecto es el medio para crear, ejecutar y controlar estrategias o acciones para mejorar continuamente el desempeño de los proyectos. Las estrategias o acciones pueden ser clasificadas de acuerdo con el nivel organizacional donde actúa y luego ser ensayadas en un modelo de simulación dinámica de un proyecto.

En este capítulo se presenta la información recopilada de diversas fuentes que da sustento a la elaboración, validación y uso del modelo dinámico, así como, a la interpretación de sus resultados a través de la comprensión de la dinámica de los proyectos de construcción.

En la Figura 1.1 se presenta la estructura de este capítulo y las relaciones entre los distintos tópicos tratados. El *Enfoque Sistémico de la Gerencia de Proyectos* puede ser aplicado por el *Gerente del Proyecto* para incrementar el desempeño de los proyectos de construcción. Las acciones generadas a partir de un *Enfoque Sistémico de la Gerencia de Proyectos* son incorporadas en el *Modelo Dinámico del Proyecto* con el

fin de visualizar las consecuencias de estas acciones antes de implantarlas y acelerar el aprendizaje (por ensayo y error) del *Gerente del Proyecto* como usuario del modelo. Las *Características del Entorno de Proyectos* describen el marco de referencia actual en el cual se desarrollan los proyectos de construcción. Estas características son palpadas y vividas por el equipo de proyectos y particularmente por el *Gerente del Proyecto*. Por otro lado, los aspectos esenciales del entorno de proyectos pueden ser incorporados en un *Modelo Dinámico del Proyecto*, con el fin de, proporcionar realismo al modelo y hacer que los resultados sean confiables.

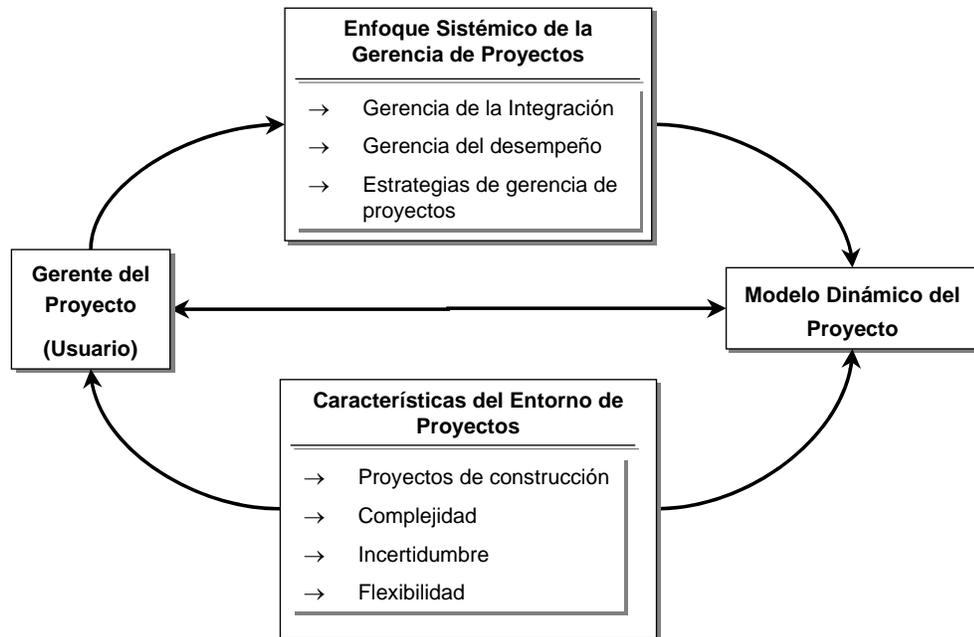


Figura 1.1 Esquema general del contenido del capítulo 1

A continuación se presenta en detalle cada uno de los tópicos mostrados en la Figura 1.1

1.2.- ENFOQUE SISTÉMICO DE LA GERENCIA DE PROYECTOS

1.2.1.- Gerencia de la Integración de Proyectos

La gerencia de la integración del proyecto incluye los procesos necesarios para identificar, definir, combinar, unificar y coordinar las disciplinas de la gerencia de proyectos durante el ciclo de vida de un proyecto determinado. La gerencia de la integración de las partes del proyecto es crucial para la completación exitosa del proyecto y para satisfacer las expectativas de todos los involucrados en el proyecto. (PMBOK, 2004).

La gerencia de la integración considera siete procesos (Figura 1.2):

El plan del proyecto integra a los distintos documentos del proceso de planificación del proyecto y ofrece una guía durante el proceso de ejecución. Luego, se ejecutan las acciones contempladas en el plan, se aplican indicadores y se mide el desempeño, con el fin de hacer el seguimiento y el control de la ejecución. A partir de los resultados de la medición del desempeño se obtienen lecciones aprendidas y la identificación de posibles cambios en el proyecto. Por un lado, la continua incorporación de experiencias y lecciones a los registros de proyectos promueve el aprendizaje muy lentamente. Esto es una debilidad en el entorno actual de los proyectos caracterizado por cambios vertiginosos, donde las estrategias exitosas en el pasado pueden no serlo en el presente o en el futuro. Por otro lado, la identificación de los cambios puede conducir a ejecutar acciones correctivas en la ejecución del plan con el fin de asegurar que el proyecto cumpla con sus metas

Se considera que estos procesos son esenciales en el desarrollo del proyecto y la adecuada interacción entre ellos permite incrementar el desempeño y elevar las probabilidades de éxito del proyecto. En este sentido es conveniente revisar cuales son los factores que influyen en el desempeño y como pueden ser gerenciados

1.2.2.- Gestión del Desempeño en Proyectos

El concepto de desempeño del proyecto se refiere al grado de efectividad con que se llevan a cabo las actividades del proyecto y está muy relacionado con la cuantificación del éxito del proyecto. La gestión integral del desempeño proporciona una visión del proyecto como un todo y, más allá de cualquier posición particular, evaluar integralmente las acciones a tomar para alcanzar las metas del proyecto. La gestión del desempeño en proyectos se enfoca en resultados globales, medición de resultados y realimentaciones simultáneas entre los resultados. Los pasos necesarios para hacer el seguimiento del desempeño del proyecto están implícitamente incluidos en la gestión de la integración del proyecto. Estos pasos son (Figura 1.3):

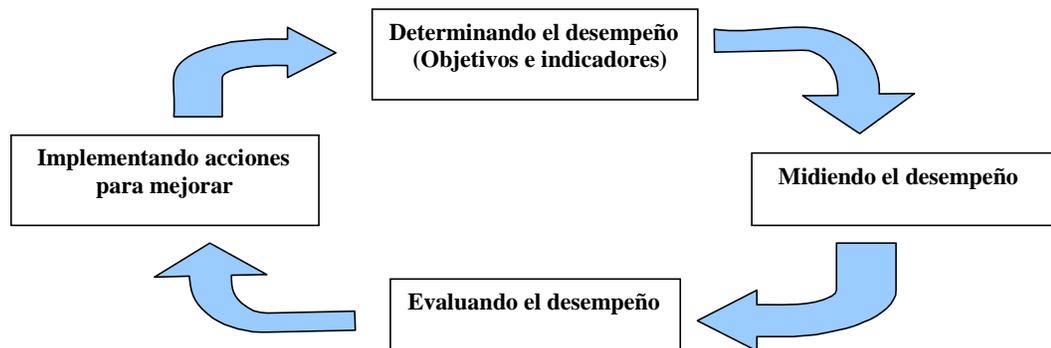


Figura 1.3 Esquema de los procesos de gestión del desempeño (Long, 2000)

- ✓ Determinación de Objetivos de Desempeño. En el desarrollo del plan del proyecto se determinan los indicadores y los objetivos de desempeño del proyecto que forman parte de los criterios de éxito del proyecto. Es necesario que los objetivos de desempeño alcancen o excedan las expectativas de los actores del proyecto.
- ✓ Medición del Desempeño. En la ejecución del proyecto se realiza el seguimiento de los indicadores de desempeño del proyecto y se reportan oportunamente. Además, se compara el desempeño planificado con respecto al real ejecutado. El desempeño del proyecto puede ser medido a través del grado de cumplimiento de las metas del proyecto expresadas en términos de costo, tiempo, calidad y satisfacción del cliente, basándose en los recursos empleados (Long, 2000; Ling, 2004).
- ✓ Evaluación del Desempeño. En este paso se analiza y se interpreta los resultados de las mediciones de desempeño basándose en las metas de desempeño y en la estructura sistémica que subyace en la dinámica de los proyectos. El objetivo del estudio de la estructura de la organización del proyecto es optimizar los resultados y alinear todas las partes del proyecto para alcanzar las metas globales de desempeño del proyecto. Los principales factores de la estructura del sistema que sustentan al proyecto y que afectan su desempeño pueden agruparse en tres categorías principales:
 - *Características del proyecto.* Variables como nivel de complejidad, nivel de riesgo, nivel de detalle de especificaciones, presión sobre el cronograma, capacidad requerida del contratista y tipo de contrato tienen gran influencia en el desempeño del proyecto (Ling, 2004)
 - *La organización del proyecto.* En esta categoría se puede incluir: la metodología en gerencia de proyectos utilizada, organigrama, comunicaciones, entes involucrados y distribución de responsabilidades (Dai y Wells, 2004)
 - *Los procedimientos de toma de decisiones.* La optimización de los procesos de toma de decisiones en proyectos contribuye notablemente a incrementar el desempeño en los proyectos (Alarcón y Ashley, 1998)
- ✓ Implantando Acciones para Mejorar. De acuerdo con el reporte de desempeño, se diseñan un conjunto de acciones o estrategias para corregir el rumbo y mejorar el desempeño. Estas acciones deben acrecentar las fuerzas que impulsan y mitigar los factores que obstaculizan el crecimiento del desempeño. Existen diversas perspectivas para impulsar, evaluar y controlar el desempeño en proyectos. Generalmente, los esfuerzos del equipo de proyectos para mejorar su desempeño están orientados a incrementar la motivación, la sinergia y la capacitación, sin considerar las consecuencias de estas acciones en otras partes de la organización del proyecto. No hay duda del efecto que tiene los factores humanos sobre el desempeño del proyecto (Belout y Gauvreau, 2004). Sin embargo, las acciones puntuales tomadas sobre los factores humanos, no siempre logran el resultado

esperado, debido a que estas acciones se apoyan en modelos que no consideran a los proyectos como lo que son: sistemas dinámicos complejos (Reichelt y Lyneis, 1999). Entonces, se hace necesario estudiar la estructura que subyace bajo el sistema del proyecto y su organización, con el fin de tomar acciones que puedan tener un efecto permanente en el incremento del desempeño en proyectos (Senge,1990).

Los problemas de desempeño en proyectos son típicamente problemas dinámicos. A continuación se profundizará en el contexto en el cual se desarrollan las acciones o estrategias para mejorar el desempeño.

1.2.3.-Estrategias en Gerencia de Proyectos

La estrategia es un conjunto de acciones que se estructuran en un plan, con el fin de alcanzar unos objetivos en presencia de incertidumbre (Francés, 2001). La estrategia debe ser definida para cada nivel de la organización del proyecto. Como resultado se obtienen subestrategias alineadas con la estrategia corporativa de gerencia de proyectos (Figura 1.4):

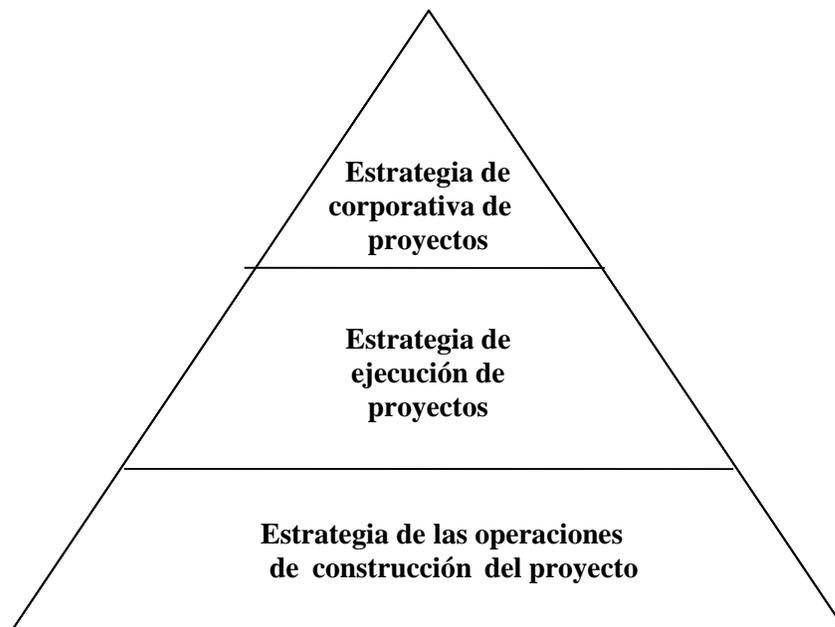


Figura 1.4. Niveles de estrategia en proyectos

- ✓ Estrategia corporativa de gerencia de proyectos. Surge de la planificación estratégica de la organización. Esta estrategia define el patrón a seguir en el proceso de gestión de portafolio de proyectos y muestra cómo la organización debe gerenciar un entorno de múltiples proyectos.

- ✓ Estrategia de ejecución de proyectos. En este nivel se definen las acciones particulares a tomar para gerenciar un proyecto a lo largo de su ciclo de vida. La estrategia de ejecución está constituida por un conjunto de acciones o soluciones que puede aplicar el Gerente de Proyectos o la persona encargada de decidir. Estas acciones son expresadas como incrementos o disminuciones en las variables que el Gerente de Proyecto puede controlar o influenciar. Por ejemplo, el número de miembros del equipo de proyectos, la productividad de cada miembro del equipo, y la cantidad de recursos materiales son variables que usualmente el Gerente de Proyectos puede controlar.
- ✓ Estrategia de las operaciones de construcción. En esta estrategia se incluyen los detalles de la forma de implantación del proyecto, considerando aspectos tecnológicos en la optimización de los procesos de construcción. Esta estrategia es propia de proyectos de construcción.

En este trabajo se toma la perspectiva de las estrategias de ejecución de proyectos, por ser ésta la que permite orientar al Gerente de Proyecto hacia el mejoramiento del desempeño de su proyecto. Bajo esta perspectiva es posible desarrollar un modelo dinámico de simulación que permita encontrar y evaluar estrategias de ejecución, con el fin de incrementar el desempeño del proyecto.

La elección de la mejor estrategia se debe basar en una perspectiva sistémica reflejada en model dinámico del proyecto. En el siguiente apartado se presenta una revisión de los conceptos de sistemas dinámicos y sus aplicaciones a Gerencia de Proyectos

1.3.- MODELOS DINÁMICOS PARA GERENCIA DE PROYECTOS

1.3.1.- Modelado de Sistemas Dinámicos

Un sistema es una colección de entidades que interactúan entre ellas con el fin de lograr alguna meta lógica. El estado de un sistema es el conjunto de valores de las variables necesarias para describir a un sistema en un instante particular. Un sistema es dinámico cuando su estado cambia continuamente en el tiempo. Entonces, la secuencia de los distintos estados de un sistema genera un comportamiento en el tiempo. Generalmente, el comportamiento de un sistema está determinado por su estructura y es el resultado de la interacción local de sus elementos (Kirkwood,1998).

Los sistemas dinámicos fueron desarrollados a finales de 1950 por Jay Forrester de la Escuela de Gerencia del Instituto Tecnológico de Massachusetts y desde entonces, el método se ha aplicado en una amplia variedad de situaciones, y todo un cuerpo del conocimiento fue elaborado entorno a él. Los modelos de sistemas dinámicos capturan las relaciones estructurales claves que definen un sistema de gerencia. Entonces, una buena comprensión del comportamiento de un sistema requiere de una consideración

explícita de las diversas interacciones ente los elementos de un sistema (Rodrigues, 1998) La simulación resultante imita a la realidad porque la estructura del modelo: incorpora la realimentación, diferencia entre causalidad y correlación e incluye relaciones no lineales (Kirkwood, 1998).

- ✓ Realimentación: Los modelos de sistemas dinámicos incorporan relaciones de realimentación que definen a los sistemas complejos. La comprensión del proceso de realimentación es crítica para el diseño y el control del comportamiento del sistema. Los sistemas gerenciales como producción, adquisición, logística y desarrollo de tecnología contienen complejas interrelaciones no lineales de realimentación. Muchas variables, enlazadas en complicadas mallas de interrelaciones se afectan unas a otras de maneras frecuentemente sorprendentes. La comprensión de ese mecanismo de realimentación es esencial para la gerencia efectiva de cualquier sistema complejo.
- ✓ Correlaciones y Causalidad: En los modelos de sistemas dinámicos se definen explícitamente las relaciones de causa y efecto. Al incorporar estas relaciones, es posible anexar realimentaciones y demoras en la construcción de la estructura de un sistema en el cual las relaciones causales pueden ser probadas directamente. Por otro lado las correlaciones y regresiones se basan en conceptos estadísticos para determinar relaciones implícitas de causalidad entre variables. Es posible inferir relaciones causales erróneas mediante regresiones.
- ✓ Relaciones no lineales: Una relación no lineal existe cuando la tasa de cambio de una variable se incrementa o se reduce con respecto a una tasa constante de cambio de otra variable relacionada El modelador puede especificar la forma de la función de relación de acuerdo con su experiencia en los procesos de un sistema.

La perspectiva de modelado de sistemas dinámicos (SD) se enfoca en comprender la relación de realimentación y está basada en una visión global de los problemas gerenciales e incluye tanto aspectos “suaves” como “duros” del comportamiento de un sistema y del flujo de información (Kirkwood, 1998). El modelado de SD usualmente se lleva a cabo a través de un programa basado en una interfaces de diagramación. Los programas de modelado SD mas popularmente usados son: Stella/Ithink (Iseesystem), Powersim (Powersim Corp) y Vensim (Ventana). Todos esto programas usan la misma lógica y están basados en programación orientada a objetos.

Los modelos de sistemas dinámicos capturan las relaciones estructurales claves que definen un sistema de gerencia. La simulación resultante imita a la realidad porque la estructura del modelo: incorpora la realimentación, diferencia entre causalidad y correlación e incluye relaciones no lineales (Kirkwood, 1998).

La habilidad de simular realísticamente el comportamiento como respuesta a cualquier escenario proporciona a los modelos de sistemas dinámicos su potencial para

ayudar a analizar las opciones estratégicas de un proyecto. Sin embargo, para obtener los beneficios de la simulación de sistemas dinámicos es necesario seguir un procedimiento sistemático para construir un modelo.

1.3.2.- Construcción de un Modelo Dinámico

El proceso de desarrollo de modelos requiere de la interacción entre las áreas funcionales, de negocios de la organización y los asesores gerenciales. El objetivo de esta interacción es construir una visión compartida del sistema mediante una sólida comprensión de sus partes usando diagramas. El modelado de sistemas dinámicos es un proceso iterativo, en el cual se requiere de simplicidad, coherencia y un adecuado nivel de detalle. Se debe encontrar el balance correcto, simplificando el proceso de toma de decisiones y manteniendo el modelo suficientemente detallado para representar el rango de cada responsabilidad gerencial (Richmond, 1997a)

Antes de desarrollar el modelo, es necesario definir las metas de desempeño organizacional y el objetivo o propósito del modelo, con el fin de enfocar el esfuerzo y las acciones en alcanzar las metas y lograr los objetivos. El propósito del modelo debe contemplar algún tipo de acción o comportamiento en el tiempo que el modelo representará. Además, al definir el propósito del modelo se debe considerar a sus futuros usuarios y las preguntas que ellos desean contestar a través del modelo (Richmond, 1997a).

En la simulación deben expresarse las reglas de interacción y las características de los elementos en términos matemáticos. Un sistema dinámico se desenvuelve siguiendo la trayectoria dada por un conjunto de ecuaciones dependientes del tiempo, generando un comportamiento dinámico. Además, es posible que un determinado comportamiento pueda ser generado por más de un conjunto de reglas o estructura sistémica.

Por otro lado, el modelo debe tener un comportamiento similar al comportamiento del sistema real. Si el modelo no produce un comportamiento similar a las observaciones históricas, es una indicación de que el modelo debe ser revisado. Un modelo es válido si puede ser usado con confianza, con este fin se debe probar rigurosamente los parámetros del modelo y revisar la precisión de las salidas del simulador (Richmond, 1997b).

Otros aspectos a considerar en la construcción del modelo son:

- ✓ La construcción del modelo requiere que el modelador (o analista) construya relaciones entre las variables y ecuaciones para esas relaciones representadas en el diagrama.

- ✓ El proceso de construir un modelo requiere que el analista defina explícitamente cuales son las suposiciones del modelo.
- ✓ La actividad de elaborar un modelo requiere que el analista trabaje con personas de diversas disciplinas involucradas en el proyecto
- ✓ El proceso de conceptualizar, cuantificar, experimentar, y aplicar permitirá al modelador aprender acerca del sistema y será capaz de aplicar lo aprendido en el sistema real.

Introducción a los diagramas cíclicos de causa y efecto

Un diagrama cíclico de causa y efecto es una forma de representar los principales ciclos de realimentación y cadenas cerradas de causas y efectos para un sistema, problema o situación particular. Estos diagramas permiten representar cualitativamente los componentes de los sistemas y sus interrelaciones, con el fin de sustentar el pensamiento sistémico.

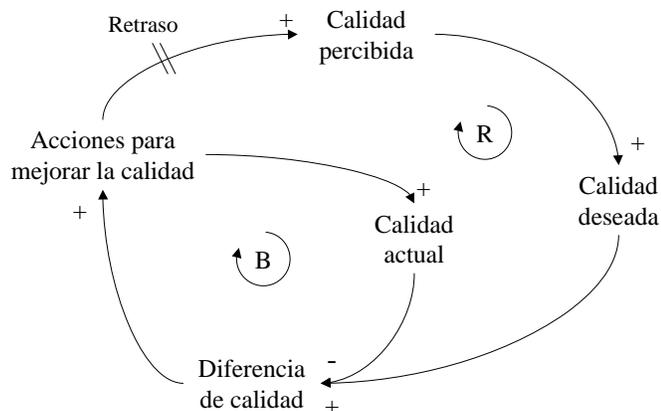


Figura 1.5 Ejemplo de diagrama cíclico de causa y efecto

En la Figura 1.5 se muestra un ejemplo de un diagrama de causa y efecto. Las flechas indican el sentido en el cual se afectan los componentes del proceso y el símbolo “+” significa que una reducción (o incremento) en una variable se refleja como una reducción (o incremento) en la variable afectada. Es decir, las variables varían en la misma dirección. Similarmente, el símbolo “-“ indica que las variables varían en direcciones opuestas. La combinación de + y - dentro del ciclo causal produce un comportamiento balanceado (B) o de refuerzo (R). El comportamiento balanceado ocurre cuando las variables de un sistema oscilan o tienen a una asíntota. Los ciclos de balance contribuyen a modelar sistemas o partes de sistemas que están en equilibrio dinámico. Por otro lado, los ciclos de refuerzos pueden ser positivos (círculos virtuosos) o negativos (círculos viciosos). Las personas encargadas de tomar decisiones deben estructurar las condiciones que impulsen los ciclos de refuerzos positivos, con el fin de maximizar los beneficios y, simultáneamente, se deben romper los ciclos de refuerzos negativos que obstaculizan el logro de los objetivos.

Diagramas de niveles y flujos

Los diagramas de niveles y flujos contienen símbolos y componentes específicos que representan la estructura de un sistema. Los niveles son asociados a parámetros que se pueden acumular en el tiempo, como por ejemplo: cantidad de empleados, cantidad de recursos financieros del proyecto, nivel de motivación del equipo de proyectos, etc. Los niveles sólo pueden ser afectados por flujos. Los flujos representan tasas de cambio tales como: rapidez de ejecución de las actividades, tasa de generación de errores, velocidad de contratación de nuevo personal, etc (Figura 1.6). En la Figura 1.6 se muestra los símbolos que representan a cada tipo de nivel o flujo. Los Flujos pueden ser en un sentido o en ambos y los niveles pueden ser clasificados en continuos o discretos. Los flujos no necesariamente deben estar atados a un nivel y se refleja como un nube en el extremo suelto (Figura 1.6).

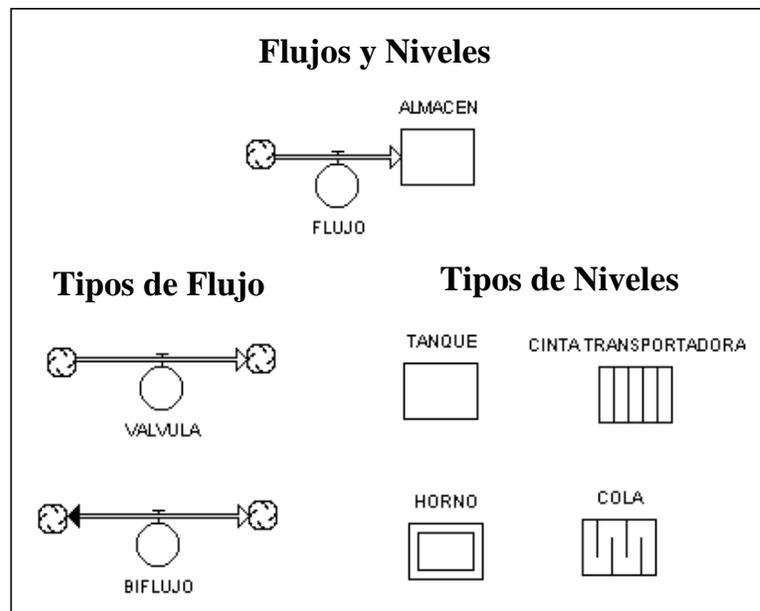


Figura 1.6 Elementos constructivos de un diagrama de niveles y flujos

El diagrama de niveles y flujos es un puente entre el modelado y la simulación, ya que facilita la asignación de ecuaciones a las relaciones entre los parámetros. Entonces, el diagrama de niveles y flujos es el paso inicial para dar un enfoque cuantitativo al modelo de simulación (Figura 1.7).

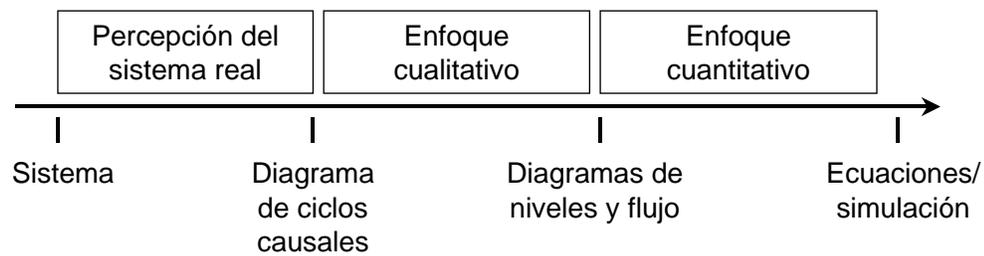


Figura 1.7 Un continuo de las actividades de desarrollo del modelo
(Basado en Richmond, 1997b)

1.3.3.-Modelos de Sistemas Dinámicos en la Gerencia de Proyectos

Los proyectos pueden considerarse sistemas constituidos por un conjunto de subsistemas interrelacionados, que exhiben un comportamiento dinámicamente complejo. Los modelos de sistemas dinámicos han sido usados en proyectos para estudiar el impacto del cliente (Rodríguez y Williams, 1996), para simular el uso de los recursos (Repenning, 1999), para simular procesos de negociación (Gordon, 1999), para simular la gestión del cambio (Park y Peña-Mora, 2003), en investigación y desarrollo de productos (Ford, 1995) y en muchas otras aplicaciones en proyectos. También han sido utilizados como herramientas de aprendizaje para gerentes de proyectos a través de laboratorios computacionales (Choi y col., 2002).

Las aplicaciones prácticas de los sistemas dinámicos en la gerencia de proyectos han sido impulsadas por los siguientes factores (Rodríguez y Bowers, 1996):

- ✓ La consideración del proyecto como un todo, mas que la suma de elementos individuales
- ✓ La necesidad de examinar aspectos mayores no lineales típicamente descritos por los ciclos de realimentación de balance o refuerzo.
- ✓ La necesidad de un modelo flexible de proyecto que ofrezca un laboratorio para experimentos con opciones gerenciales
- ✓ La falla de las herramientas analíticas tradicionales para resolver todos los problemas de la gerencia de proyectos.

Los modelos de sistemas dinámicos generalmente se han usado para identificar causas y evaluar la magnitud de posibles retrasos y sobrecostos en proyectos. Por otro lado, es bien conocido que los modelos de simulación dinámica proveen de un entorno libre de riesgos para probar nuevas ideas y practicar nuevas formas de trabajar y pensar. Además, es posible la aplicación de los modelos de sistemas dinámicos como herramientas para la gestión de la integración de proyectos. Un modelo de proyecto insertado dentro de la gerencia de la integración del proyecto facilita la adaptación del

modelo a la organización que entiende y usa en sus procedimientos las áreas del conocimiento del PMI en gerencia de proyectos.

1.3.4.- Características de los Modelos Dinámicos para Gerencia de Proyectos

Los modelos de sistema dinámico para gerencia de proyectos deben capturar los principales factores de realimentación que influyen en el comportamiento global del proyecto como sistema. Estos factores incluyen elementos “duros” como los costos y el trabajo completado; y elementos “suaves” como factores humanos y productividad (Gordon, 1999). Los modelos dinámicos aplicados en proyectos posibilitan toda clase de análisis que no serían posibles llevar a cabo experimentando en el entorno real de los proyectos. Entonces, el uso efectivo de estos modelos capacita a la alta gerencia y al equipo de proyectos a aprender de la experiencia (Williams, 2002)

Un modelo típico de sistema dinámico de un proyecto es fundamentalmente construido sobre el concepto del ciclo del retrabajo. El ciclo del retrabajo (ver Figura 1.8) muestra en flujo de tareas durante las fases de un proyecto (Cooper, 1993). Al inicio, todo el trabajo planificado está en la caja “Trabajo a ser realizado”, luego el trabajo es transferido hasta la caja “Trabajo realizado” a medida que se completan las tareas.

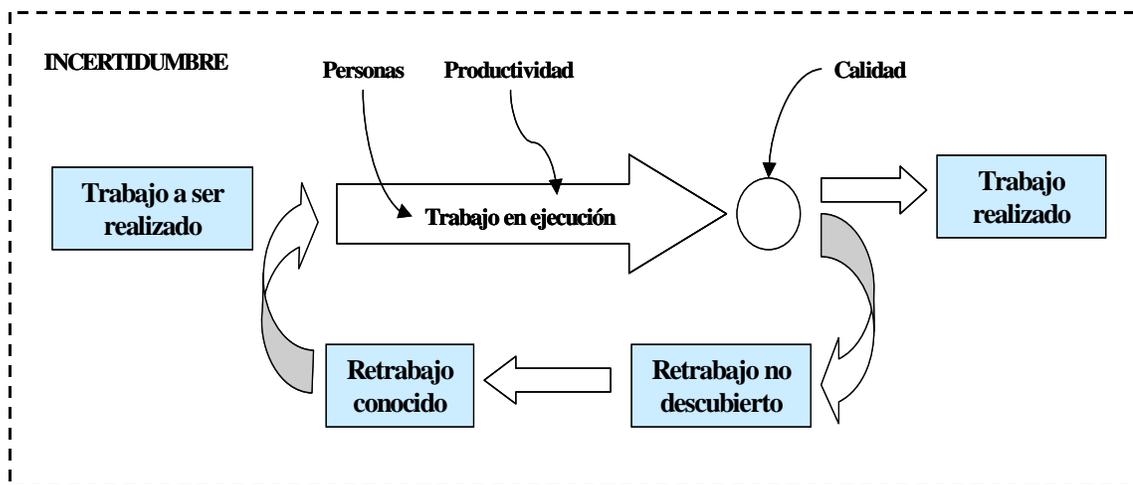


Figura 1.8 Ciclo del retrabajo en proyectos (basado en Cooper, 1993)

La cantidad de trabajo en ejecución depende de la rapidez de ejecución de las tareas, la cual puede expresarse en función del número de personas que realizan el trabajo y de su productividad. Los recursos humanos requeridos se miden por la cantidad de horas labor por cada disciplina, el número de personas y cuanto esfuerzo estén dispuestos a aportar al proyecto. Sin embargo, en la ejecución de proyectos de construcción existen acciones mucho más complejas entre las variables incluyendo (pero no limitado a) atributos físicos, disponibilidad de recursos, restricciones de presupuesto

y aplicación de técnicas gerenciales (Fulenwider y col, 2004). Por otro lado, la productividad es una variable clave en la rentabilidad de un proyecto y está influenciada por complejos factores que compiten entre sí, tales como nivel de destreza, experiencia, motivación, y capacidad para trabajar bajo la presión del cronograma.

Antes de decir que la tarea está realizada, es necesario verificar que la “Calidad” del trabajo ejecutado cumpla con la calidad exigida. En este punto, se toma la decisión de aprobar el trabajo y enviarlo a “Trabajo Realizado” o, rechazar el trabajo realizado. Sin embargo, en la verificación de la calidad se consume un tiempo, en el cual existe una cantidad de “Retrabajo no descubierto”. Una vez que se identifica el trabajo que debe ser repetido, este se transfiere al “Trabajo en ejecución”.

Por otro lado, la “incertidumbre” y otros factores del entorno tienen una influencia considerable en el desempeño del proyecto, por tanto deben ser incluidos en el modelo de simulación dinámica. La incertidumbre presente en el entorno y el grado de complejidad del proyecto son elementos que influyen en la capacidad de alcanzar los objetivos estratégicos. Sin embargo, el efecto de estos elementos en el proyecto no suele ser considerado en la planificación del proyecto y en los procesos de gerencia de desempeño (Rae y Eden, 2000).

La estrategia de ejecución del proyecto se operacionaliza a través de los datos de entrada del modelo que el gerente puede controlar. Luego, se realiza la simulación y se analizan los resultados enfocados a evaluar el impacto de la estrategia ensayada en los parámetros de desempeño del proyecto. La principal ventaja del ciclo del retrabajo es que captura el conjunto general de perturbaciones que existen durante la ejecución de cualquier proyecto y aporta al modelo una estructura que arroja resultados bastantes próximos a la realidad (Lyneis y Cooper, 2001) Sin embargo, para aprovechar todas las potencialidades de la simulación y asegurar el éxito del modelo es necesario desarrollarlo pensando en las necesidades del usuario: El Gerente de Proyecto.

1.4.- EL GERENTE DE PROYECTO COMO USUARIO DEL MODELO

El Gerente de Proyectos debe ser capaz de asumir diversos roles y responsabilidades, sin embargo la principal responsabilidad del Gerente de Proyectos es la planificación del proyecto (Kerzner, 2001). Como arquitecto del plan del proyecto, el Gerente de Proyectos debe proveer:

- √ Definición completa de las tareas
- √ Definición de los requerimientos de recursos
- √ Hitos principales
- √ Definición de los requerimientos de calidad y confiabilidad

√ Las bases para la medición del desempeño

Entonces, el Gerente de Proyectos, al gestionar la integración del proyecto, puede convertirse en usuario del modelo de simulación dinámica. Esto sugiere la necesidad de diseñar una interfase Gerente del Proyecto - Modelo que facilite la generación, evaluación e implantación de nuevas estrategias de ejecución de proyectos. El modelo de simulación puede construirse a partir de una plantilla o estructura estándar, pero debe ser personalizado a las necesidades y particularidades del gerente, el proyecto y la organización; con el fin de asegurar el éxito de la implantación del modelo y de la aceptación de los resultados de la simulación. Esto impone la necesidad de que el modelador y el usuario (Gerente de Proyectos) trabajen estrechamente en el desarrollo del modelo de simulación (Richmond, 1997a).

Otro ingrediente importante en el éxito de un modelo dinámico para proyectos es que la estructura del modelo de SD esté conforme con la estructura del enfoque tradicional de proyectos. Tradicionalmente, la estructura del proyecto se construye usando las siguientes herramientas: Estructura desagregada de trabajo, Estructura desagregada de la organización y la Red lógica del proyecto (Rodrigues, 1998). La integración formal de éstas herramientas con la estructura y calibración de un modelo de SD es la base para la definición e implantación de un enlace analítico en estructura y datos de los enfoques de SD y tradicional (Figura 1.9).

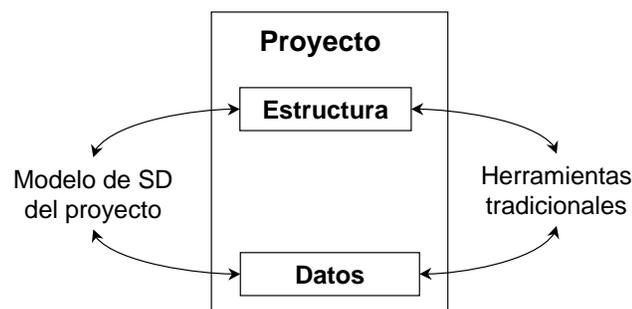


Figura 1.9 Integración del modelo de SD con las herramientas tradicionales

Por otro lado, para que el modelo realmente sustente el incremento del desempeño del proyecto, el usuario debe poseer al menos las siguientes destrezas (Richmond, 1993):

- √ Técnicas El usuario necesita ser capaz de disgregar y operacionalizar los componentes del proyecto e identificar como las partes incorporan dentro del todo.
- √ Decisión Se refiere a la habilidad para basar las decisiones en juicios sólidos y lograr tomar una decisión firme.
- √ Interpersonales El usuario debe ser capaz de convencer a los involucrados en el proyecto de la validez de los resultados de la simulación

Los conceptos de gerencia de integración y el modelado de sistemas dinámicos pueden ser aplicados a cualquier clase de proyectos, sin embargo, en proyectos de construcción acelerada estos conceptos tienen un impacto significativo en el desempeño.

1.4.1.- Interacción Gerente de Proyecto - Modelo

En un enfoque tradicional, el gerente toma decisiones en base a un modelo de cómo cree él que funciona el sistema (Figura 1.10). El sistema real lo componen la organización y su entorno (competidores, clientes y proveedores). El modelo mental de toma de decisiones es alimentado por la experiencia acumulada y construido a partir de la percepción de la realidad. Los modelos mentales proveen de un marco de referencia para filtrar e interpretar nueva información y determinar la respuesta apropiada a esa información, implantada a través de acciones y decisiones. Entonces, el desempeño de un individuo en una tarea es, en parte, una función de la precisión en la percepción del individuo referente a las relaciones causales entre las variables del entorno de decisión (Gary y Wood, 2005)

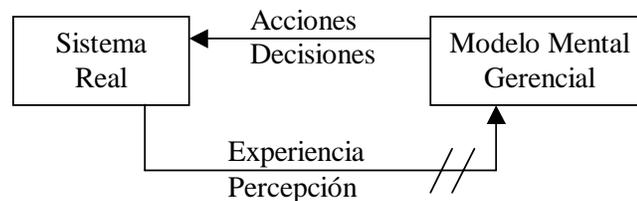


Figura 1.10 Visión tradicional del proceso de toma de decisiones (Hernández y Méndez, 2003)

La realimentación del modelo mental se realiza con un retardo, producido por problemas de comunicación, por la complejidad del sistema real y de la estructura organizacional, Este retardo ocasiona que el gerente no evalúe finalmente si su decisión fue acertada o no. Con el tiempo, los criterios de decisión empleados en decisiones percibidas como acertadas se refuerzan y este modelo pasa a formar parte de las ideas colectivas de la organización. Sin embargo, la realimentación no es lo suficientemente eficiente para captar los vertiginosos cambios en el entorno y en la propia organización. Las dos líneas paralelas transversales ilustran el retardo en la realimentación.

Por otro lado, el enfoque tradicional de gerencia de proyectos está basado en el principio de divide para conquistar. Si un proyecto es descompuesto en subtareas más simples y fácilmente gerenciabiles, el proyecto completo puede ser gerenciado efectivamente. En contraste, el enfoque de SD está basado en el principio de integra para comprender. Una buena comprensión del sistema del proyecto requiere de la consideración explícita de las diversas interacciones entre las partes del sistema. Esas interacciones suelen originar relaciones de causa y efecto, que en un proceso complejo

se tornan en procesos circulares de realimentación de la información. Ambos enfoques deben complementarse en el proceso de desarrollo del proyecto

En la Figura 1.11, se muestra la interacción entre los modelos mentales y los modelos de SD en el proceso de toma de decisiones. Un modelo de SD es una estructura que integra los elementos de un sistema en un todo coherente y captura las relaciones dinámicas entre estos elementos. Los modelos de SD computacionales facilitan el proceso de toma de decisiones e incrementan el aprendizaje del equipo de proyectos, ya que la diferencia entre ellos y los modelos mentales enriquecen el análisis, impulsando el mejoramiento de los paradigmas (Sterman, 1991).

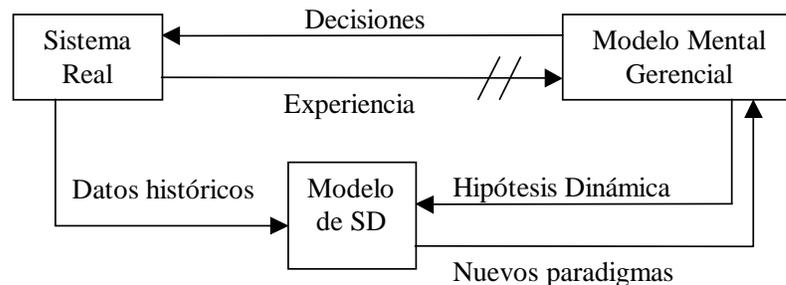


Figura 1.11 Toma de decisiones apoyadas en modelos de simulación
(Hernández y Méndez, 2003)

Se simulan los modelos mentales con el fin de determinar cuál es el curso de acción a implementar, cuál es la alternativa elegir o cuál estrategia es la mejor para alcanzar los objetivos. En este sentido, la utilización de un enfoque de sistemas dinámicos (perspectiva sistémica) puede ayudar a construir modelos mentales más congruentes con la realidad y poder simularlos con mayor precisión (Sterman, 1991). Además, puede sustentar la gestión de la integración de proyectos.

1.4.2.- Aprendizaje en el Ciclo de Vida del Proyecto.

El aprendizaje es un proceso que hace un individuo para comprender el mundo real, a través de adquirir información, conocimiento o sabiduría. La información surge a partir de un conjunto de datos que han sido procesados para obtener una forma que permita ser usados. Los individuos adquieren información cuando su rango de posibles elecciones se incrementa en el tiempo. Por otro lado, el conocimiento consiste en saber como las cosas funcionan y como influir estas cosas para lograr algún resultado. El conocimiento puede ser adquirido a partir de la experiencia o de alguien mas, quién ha obtenido conocimiento de la experiencia. La comprensión facilita y acelera la adquisición de conocimiento. Los individuos muestran que poseen un conocimiento cuando su eficiencia se incrementa en el tiempo. Finalmente, la sabiduría es la habilidad de percibir y evaluar las consecuencias a largo plazo del comportamiento (Ackoff, 1996).

Las decisiones deben ser hechas y supervisadas, con el fin de acelerar el aprendizaje y mejorar la habilidad de comprender continuamente. Las consecuencias de estas decisiones pueden ser documentadas y recopiladas junto a las condiciones del proyecto con el fin de identificar un conjunto de lecciones aprendidas. Aprender a partir de los proyectos es un requerimiento importante para las organizaciones orientadas a la ejecución de proyectos. Sin embargo, la complejidad de los proyectos y las organizaciones puede dificultar la realimentación de los procesos y obstaculizar el aprendizaje a partir de proyectos. Entonces, es necesario sistematizar los procesos de recolección, análisis, registro y divulgación de las lecciones aprendidas durante la ejecución del proyecto (Williams, 2002).

Los modelos de SD pueden ser usados como sistemas de soporte de aprendizaje en Gerencia de Proyectos, con el fin de proveer de un entorno libre de riesgo para mejorar los procesos de toma de decisiones en proyectos. (Cooper y col, 2002; Choi y col., 2002)

Los modelos de SD pueden incorporar procesos de aceleración de aprendizaje dentro de la simulación, con el fin de incorporar el efecto del aprendizaje previo de cada miembro del equipo sobre el desempeño del equipo de proyectos. La aceleración del aprendizaje puede ser visualizada a través de curvas de aprendizaje.

1.5.- CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO DE PROYECTOS

1.5.1.- Proyectos de Construcción

El objetivo principal de los proyectos de construcción es llevar a cabo una edificación, obra de infraestructura o la instalación de equipos industriales. Este tipo de proyecto demanda un riguroso enfoque de gerencia de proyectos, ya que existen diversos actores intervinientes (patrocinantes, financistas, competidores, dueños, entre otros) y muchos factores que dificultan la gerencia del costo, tiempo, y calidad (Kerzner, 2001).

Por otro lado, Tilk (2003) indicó que aproximadamente el 50% de los proyectos de construcción finalizan tarde o por encima del presupuesto, 25% fallan completamente y solo el 25% alcanzan el éxito. En Venezuela, en promedio solo el 31% de los proyectos culminan a tiempo, en base a una muestra representativa de 140 proyectos de diversos sectores (Palacios y Yamin, 2002). En esta muestra los proyectos de construcción resultaron los más comunes (44%).

Se han llevado a cabo diversos estudios para identificar cuales son las principales causas del pobre desempeño que han mostrado los proyectos de construcción (Kog y

cols, 1999; Yates y Eskander, 2002; Iyer y Jha, 2005). Las causas de mayor impacto en el desempeño son:

- √ Cambios constantes en los requerimientos del proyecto.
- √ El desarrollo simultáneo de múltiples proyectos causa retrasos en los proyectos que son menos importantes cuando otros proyectos más importantes toman sus recursos.
- √ La falta de comunicación entre diversas divisiones participantes en el proyecto.
- √ Problemas de falta recursos y financiamiento
- √ Asignación errada de personas al equipo de proyecto
- √ Proceso de toma de decisiones muy lento

La magnitud de estas causas o factores varía considerablemente en función del nivel de complejidad del proyecto. Entonces, es necesario evaluar el nivel de complejidad del proyecto antes de modelar y simular el desempeño en proyectos de construcción.

Estos resultados sustentan la necesidad de incrementar el desempeño del equipo de proyectos e incrementar las probabilidades de éxito de los proyectos de construcción. La mayoría de los esfuerzos han estado orientados a recopilar y aplicar las mejores prácticas en gerencia de proyectos de construcción (ver por ejemplo, los estudios de Benchmarking del Instituto de la Industria de la Construcción). Sin embargo, los gerentes de proyectos siempre encuentran dificultades para aplicar con éxito estas prácticas y otras experiencias.

A continuación se presentará el concepto de complejidad en proyectos y como éste juega un papel importante a la hora de implantar una acción para incrementar el desempeño de proyectos de construcción.

1.5.2.- Complejidad en Proyectos de Construcción

Tradicionalmente, la complejidad de los sistemas descansa en el número de elementos, variables, y conexiones; entonces, se dice que un sistema es complejo cuando existen muchos elementos, variables y conexiones. En el caso de proyectos de construcción (construcción de equipos e infraestructura), la complejidad puede desagregarse en estructural y dinámica (Baccarini, 1996).

Complejidad Estructural

La complejidad estructural se refiere a la complejidad que subyace bajo la estructura del proyecto y puede ser expresada en términos del número e interdependencia de los elementos. La complejidad estructural puede ser clasificada en: organizacional y tecnológica. La complejidad organizacional se refiere a lo intrincado de la estructura organizacional de un proyecto. Por ejemplo, una organización matricial es más compleja que las organizaciones funcionales o proyectizadas, ya que hay un mayor número de líneas de comunicación. Por otro lado, la complejidad técnica se refiere al nivel de dificultad de un diseño ingenieril. Por ejemplo, la construcción e instalación de un sistema contra incendio de una refinería es más complejo que un edificio de 4 pisos, ya que, en el primer caso hay más consideraciones de diseño que deben ser tomadas en cuenta en la elaboración del producto. Una matriz como la presentada en la Tabla 1.1 puede ser usada para medir el nivel de complejidad estructural y lograr tener una visión clara de la complejidad inmersa en un proyecto de construcción.

Tabla 1.1 Tipos de complejidad

| COMPLEJIDAD | CANTIDAD DE ELEMENTOS | CANTIDAD DE INTERRELACIONES |
|--------------------|---|--------------------------------------|
| Organizacional | Número de miembros del equipo Número de stakeholders | Número de líneas de comunicación |
| Técnica | Número de disciplinas involucradas Consideraciones especiales de diseño Número de opciones tecnológicas disponibles | Número de combinaciones tecnológicas |

Complejidad Dinámica

Las consecuencias de la complejidad van mucho más allá de un simple número de cosas, y para considerar esto, se habla de que existe la complejidad dinámica. La complejidad dinámica está presente en sistemas cuando una misma acción tiene efectos drásticamente distintos a corto y a largo plazo o esta acción tiene consecuencias no obvias en distintas partes del sistema (Senge, 1990). Generalmente, los proyectos se desarrollan en entornos muy cambiantes, donde el gerente de proyectos debe tratar con recursos reducidos, ejecución acelerada de actividades y supuestos siempre cambiantes. Además, se espera que los gerentes de proyectos tomen decisiones más rápidas y con menos datos. Entonces, se entiende por sistema dinámicamente complejo a un tipo de organización de elementos que siempre responde de forma distinta frente a estímulos

similares. De esta forma, se puede identificar algunos negocios, empresas, problemas biológicos y proyectos como sistemas dinámicamente complejos (Battram, 2001).

En el estudio de sistemas dinámicamente complejos siempre hay dificultades para comprender el comportamiento de estos sistemas. Estas dificultades son ocasionadas por la presencia de relaciones de tipo no lineal, de demoras en el tiempo entre algunas causas y sus efectos, de retroalimentaciones reforzadoras o balanceadoras, y frecuentemente de la aleatoriedad, lo que agrega incertidumbre a la complejidad citada.

La complejidad dinámica de los sistemas se muestra sólo cuando las partes de un sistema interactúan con otras partes de ese sistema los patrones de comportamiento dinámico pueden surgir. Gerenciar un sistema dinámicamente complejo requiere que todas las partes del sistema tengan acceso a todas las otras partes y cada uno en el sistema es responsable de la integración. Los gerentes de proyecto mantienen contacto con los representantes de todos los stakeholders y otros miembros del equipo de proyectos. En equipos de proyectos de alto desempeño, cada miembro del equipo observa como está conectado su trabajo y cómo éste afecta el trabajo de otros en el proyecto.

La complejidad dinámica de los proyectos se basa en que estos poseen componentes interdependientes, por tanto, un cambio de alcance, de cantidad de obra o sencillamente un retraso en una parte, influye en el resto del proyecto. Además, hay complejidades presentes en el entorno que pueden influir en la determinación de objetivos y en el logro del éxito de los proyectos.

1.6.- RESUMEN

La gerencia de la integración del proyecto proporciona el marco que sustenta la gestión del desempeño en proyectos. Por otro lado, los modelos de sistemas dinámicos pueden ser usados como herramientas de la gerencia de la integración del proyecto con el fin de representar el comportamiento real de los proyectos y generar estrategias de ejecución que permitan incrementar el desempeño de los proyectos. Específicamente, los proyectos de construcción son de particular interés en la aplicación de los modelos dinámicos, ya que, han mostrado pocas probabilidades de éxito y un pobre desempeño. Entonces, los conceptos expuestos no solo se integran coherentemente en el modelo de simulación sino que también sustentan la interpretación de los resultados de la simulación y la elección de la mejor estrategia de ejecución para un proyecto de construcción.

Capítulo 2

DESCRIPCIÓN DEL MODELO DINÁMICO

2.1.- INTRODUCCIÓN

Un modelo describe percepciones de un sistema real simplificado usando un lenguaje formal de conceptos y sus relaciones (que posibilitan la manipulación de las partes del sistema) con el fin de facilitar la gestión, el control o la comprensión de ese sistema. Un modelo es dinámico cuando los valores de los parámetros del modelo cambian en el tiempo debido a la realimentación de los resultados. La creación de un modelo dinámico incluye la conceptualización de una sistema (en este caso un proyecto) partiendo de la observación y estudio de los procesos reales presentes durante el ciclo de vida de los proyectos. El objetivo de este capítulo es describir el modelo dinámico de simulación propuesto para proyectos de construcción, a través de la completación de las siguientes macro actividades:

- ✓ Establecer el objetivo o propósito del modelo y alinearlo con el objetivo de éste trabajo
- ✓ Listar y clasificar las variables o parámetros del modelo.
- ✓ Establecer las relaciones entre variables o parámetros del modelo
- ✓ Generar premisas y suposiciones del modelo.
- ✓ Impulsar la aplicabilidad del modelo a situaciones reales en proyectos de construcción.

El modelo dinámico es presentado a través de diagramas de ciclos causales (enfoque cualitativo) y luego a través de diagramas de niveles y flujos (enfoque cuantitativo). Además, será mostrado por partes para facilitar su comprensión.

A pesar de que este modelo surge a partir de la interacción entre el modelador (el autor) y el equipo de proyectos de una organización que realiza proyectos de

construcción, es posible extrapolar los resultados del modelo a otros contextos y a otros proyectos, siempre que se ajusten y se validen las constantes del modelo. En este sentido, la estructura del modelo permite adaptarlo a las particularidades de cada organización dedicada a ejecutar proyectos.

Al final del capítulo se muestra como el modelo puede ser usado para gerenciar el desempeño en proyectos de construcción

2.2.- PROPÓSITO DEL MODELO PROPUESTO

El modelo dinámico de gestión del desempeño en proyectos de construcción tiene dos propósitos fundamentales:

- ✓ Estudiar desde la perspectiva de pensamiento sistémico el impacto de las acciones y decisiones en el desempeño de los proyectos de construcción en costo, tiempo y calidad. Como consecuencia, se estudian y se modelan los principales problemas que afectan el desempeño, con el fin de maximizar los factores que impulsan el desempeño y reducir el efecto de factores que reducen el desempeño en proyectos de construcción.
- ✓ Suministrar a los gerentes de proyectos y otros usuarios de la simulación una herramienta confiable y versátil que considere la complejidad dinámica de los proyectos dentro del proceso de toma de decisiones. Esta herramienta puede permitir tomar decisiones que apunten a mejorar el desempeño de los proyectos de construcción.

El objetivo del modelo propuesto es simular el comportamiento dinámico del desempeño en costo, tiempo y calidad del proyecto, para esto es apropiado representar los ciclos de causa y efectos principales que afectan al desempeño en proyectos de construcción.

2.3.- HIPÓTESIS DINÁMICAS

Las hipótesis dinámicas son premisas o supuestos acerca de cómo el modelador o el usuario considera que es el comportamiento dinámico de los parámetros del proyecto. En este caso y de acuerdo con la revisión bibliográfica, se consideraron las siguientes hipótesis dinámicas:

- ✓ En el caso en que el tiempo disponible sea menor al tiempo requerido, se incrementa el esfuerzo para completar las actividades.
- ✓ La experiencia, el conocimiento y la curva de aprendizaje previa que posea el equipo de trabajo tiene un rol fundamental en la productividad de realización de la tarea.

- ✓ Cambios en los miembros del equipo de proyectos afecta a la magnitud de la curva de aprendizaje, ocasionando una pérdida de productividad
- ✓ El apresuramiento en la ejecución de las tareas o actividades contribuye a disminuir la calidad de las tareas. Por tanto, se incrementa el retrabajo.
- ✓ Un incremento en la complejidad del proyecto produce un incremento en el tiempo requerido para identificar la necesidad de retrabajar.

Estas hipótesis son el resultado de cambios continuos provenientes de las pruebas con el modelo y de entrevistas con los miembros del equipo de proyectos de una organización que realiza proyectos de construcción.

2.3.1.- Premisas y Suposiciones

El proceso de construir un modelo requiere que el analista (modelador) defina explícitamente cuales son las premisas y suposiciones del modelo. En el desarrollo de este trabajo se plantearon algunas premisas y suposiciones que permiten situar al modelo dentro de un contexto:

- ✓ La capacidad y validez del modelo de simulación influyen en la estrategia de ejecución de proyectos de construcción que se puede generar y evaluar con el modelo. De acuerdo con lo revisado en el marco teórico, es razonable suponer que la formulación de estrategias de ejecución efectivas dependen en gran medida de la capacidad del modelo para imitar el comportamiento real de los proyectos de construcción.
- ✓ La estrategia de ejecución no cambia durante la simulación del ciclo de vida del proyecto de construcción. Esta premisa del modelo es necesaria para estandarizar la evaluación de diversas estrategias de ejecución en un solo proyecto de construcción.
- ✓ Todos los errores generados deben ser detectados y corregidos antes de finalizar (o dar por finalizado) el proyecto.

Estas premisas y suposiciones son insumo fundamental para la definición, clasificación y jerarquización de los parámetros del modelo.

2.3.2.- Condiciones Iniciales

El modelo requiere establecer cual es el estado inicial de los parámetros de la simulación. Es decir, fijar cual es la condición inicial del proyecto. Las condiciones iniciales del modelo permiten establecer el punto de partida de la simulación del proyecto y a partir de este punto estudiar la evolución de los indicadores de desempeño del proyecto.

Al inicio de la simulación el trabajo planificado y la secuencia de ejecución debe estar definido. Luego, durante la simulación el trabajo planificado se transformará en trabajo ejecutado de acuerdo con una tasa de ejecución que depende, entre otras cosas, de la precedencia entre las actividades.

2.4.- PARÁMETROS DEL MODELO PROPUESTO

A partir de las hipótesis dinámicas puede iniciarse el listado de posibles parámetros a ser incluidos en el modelo. El criterio para decidir si un parámetro es incluido en el modelo, debe estar alineado con el propósito del proyecto. A continuación se presentan los principales parámetros relacionadas con la gestión del desempeño en proyectos (Tabla 2.1). Estos son agrupados en tres renglones: Internos (parámetros variables incluidos en el modelo), Externos (parámetros que afectan al desempeño pero que son asumidos como constantes), y Omitidos (parámetros no considerados en el estudio).

Tabla 2.1 Principales parámetros relacionados con el desempeño en proyectos

| <i>Parámetros Internos</i> | <i>Parámetros Externos</i> | <i>Parámetros Omitidos</i> |
|---|--|---|
| ✓ Avance físico real y percibido | ✓ Complejidad del proyecto | ✓ Efectos de otros proyectos en la asignación de recursos |
| ✓ Presión del cronograma | ✓ Incertidumbre en los parámetros | ✓ Incremento de la experiencia adquirida en otros proyectos |
| ✓ Tasa de generación de errores o cambios | ✓ Impacto de la motivación en la productividad | ✓ Estructura de la organización que desarrolla el proyecto |
| ✓ Tamaño del equipo | ✓ Probabilidad de ocurrencia de cambios | ✓ Nivel de satisfacción de los empleados |
| ✓ Productividad de los recursos | ✓ Restricciones en la disposición de recursos | |
| ✓ Nivel de motivación del equipo | ✓ Precedencia de las actividades | |
| ✓ Nivel de conocimiento | | |
| ✓ Nivel de experiencia acumulado | | |
| ✓ Horas de Labor | | |

Los parámetros incluidos en el modelo (Parámetros internos) pueden ser organizados en función de los objetivos de la investigación de la siguiente forma:

- ✓ Parámetros de Desempeño. Se refiere a los parámetros considerados como indicadores de gestión del desempeño. Por ejemplo, los indicadores de avance físico (real y percibido), avance financiero y valor ganado son considerados parámetros de desempeño. Los parámetros de desempeño son variables dependientes en el proceso de investigación.
- ✓ Estrategia de Ejecución. Las estrategias de ejecución son formuladas a través de un conjunto de parámetros y criterios de decisión que son incorporados en el modelo. Los parámetros que componen las estrategias son controlados por el gerente de proyectos y forman parte de “las palancas” que puede accionar el Gerente de Proyectos cuando debe. Por ejemplo, la cantidad de recursos disponibles, las horas de labor por jornada de trabajo y la precedencia en las actividades son parámetros que el Gerente de Proyectos puede controlar dentro de rangos de acción limitados. Por tanto, estos parámetros son considerados variables independientes dentro de la investigación.
- ✓ Entorno. Se refiere a los parámetros del entorno del proyecto que tienen influencia en el desempeño del proyecto. Si el efecto del entorno en el desempeño es considerable entonces debe ser incluido en el modelo como un parámetro constante. Por el contrario si el efecto es muy tenue en el desempeño pueden ser omitidos en el modelo con el fin de simplificarlo y facilitar su comprensión. En el proceso de investigación el entorno puede ser entendido como la variable a controlar.

Una descripción detallada de cada uno de los parámetros del modelo puede ser consultada en el Anexo A.

2.5.- ESTRUCTURA DEL MODELO PROPUESTO

La estructura del modelo se elabora a partir de un enfoque cualitativo basado en diagramas cíclicos de causa y efecto. Estos diagramas ofrecen una visión sistémica de la estructura que rige el desempeño en proyectos de construcción. Luego se detallan las relaciones entre los parámetros y se lleva el modelo a un diagrama de niveles y flujos, con el fin de cuantificar las relaciones entre los parámetros, a través de ecuaciones matemáticas.

En la Figura 2.1, se representa el proceso de ejecución de actividades del proyecto donde se cuenta con las actividades planificadas, que son el resultado del alcance y de las restricciones de precedencia. Inicialmente, todas las actividades están disponibles para ejecución y, a medida que avanza la simulación, se convierten en actividades completadas de acuerdo con una tasa de ejecución. Las restricciones de precedencia se refieren a la secuencia de ejecución de las actividades estructurada en la red lógica del proyecto. Esta secuencia se determina a partir de las dependencias (mandatorias, discrecional, o externas) entre las actividades. Sin

embargo, es posible solapar las actividades con el fin de acelerar el proyecto (conocido como Fast Tracking). Particularmente, en la etapa de definición y desarrollo, la dependencia entre las actividades se basa en requerimientos de información.

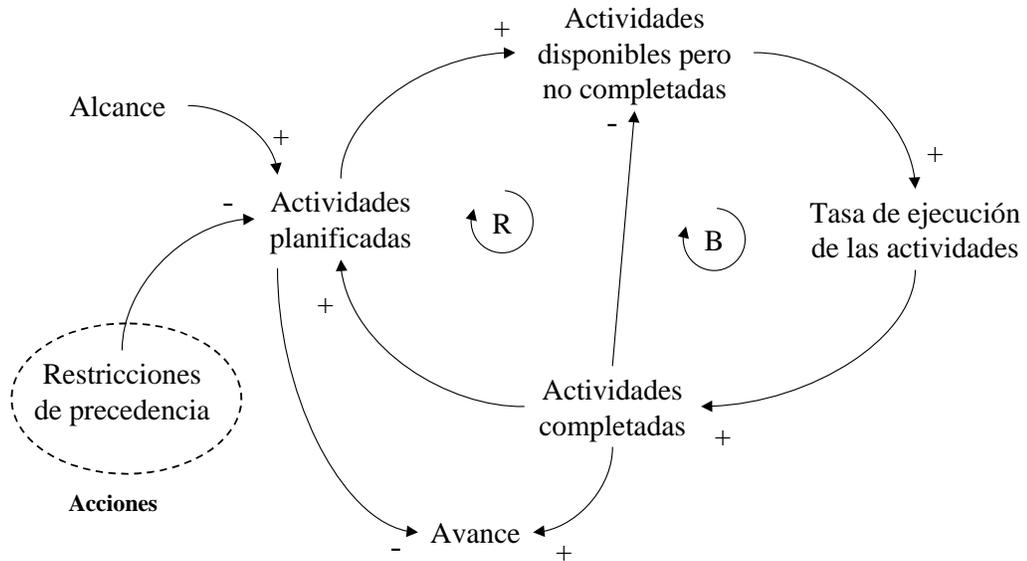


Figura 2.1 Estructura de actividades disponibles

En la estructura de actividades disponibles se considera que las actividades se realizan correctamente al primer intento, sin embargo esto no siempre es así. En la fase de definición y desarrollo, las actividades son de naturaleza iterativa producto del intercambio de ideas y opiniones entre los involucrados del proyecto. En la Figura 2.2, se muestra el diagrama de ciclos causales de la estructura del retrabajo.

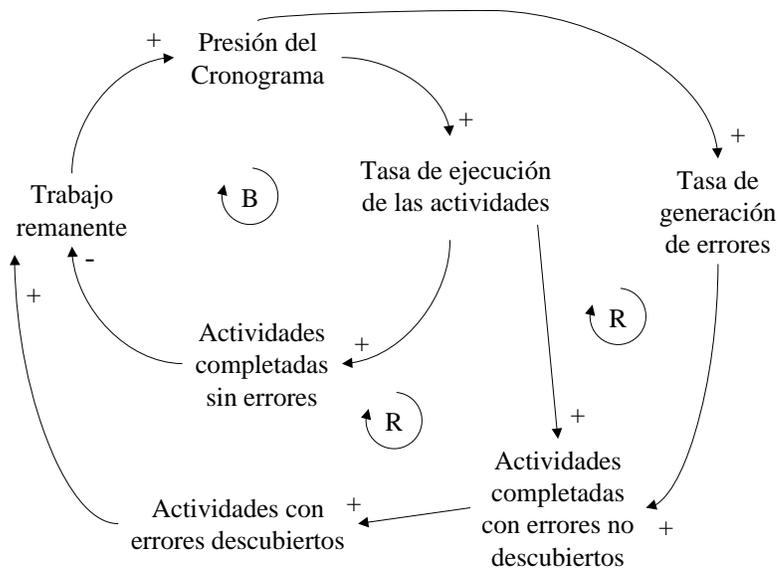


Figura 2.2 Estructura del Retrabajo

El ciclo principal es un ciclo de balance (señalado con una B en la Figura 2.2) donde se muestran las relaciones directas que existen entre la presión del cronograma y los procesos de ejecución de las actividades. Además, existen efectos de laterales recogidos en dos ciclos de refuerzo (señalados con una R en la Figura 2.2). Los ciclos de refuerzos pueden influir en el ciclo de balance y reducir la rapidez de ejecución efectiva, provocando un retraso en la ejecución física del proyecto. Específicamente, de la ejecución de actividades se obtienen actividades completadas sin errores y actividades completadas con errores, las cuales deben ser identificadas para posteriormente ser corregidas. Esto permite no solo evaluar el retrabajo sino también, la diferencia entre el avance real y el avance percibido. Las principales acciones que pueden tomarse sobre esta estructura pueden reducir la tasa de generación de errores e incrementar la capacidad para detectar actividades con errores.

En la estructura mostrada en la Figura 2.3 se identifican tres ciclos de balance que muestran el efecto que tiene la presión del cronograma sobre las horas labor invertidas, el tamaño del equipo y la intensidad de trabajo. De esta forma, se detalla la relación entre la presión del cronograma y la tasa de ejecución de las actividades mostrada en la Figura 2.2. Las horas labor invertidas, el tamaño del equipo y la intensidad de trabajo pueden ser controlados o influenciados por el Gerente de Proyectos y, por tanto, pueden ser considerados dentro de las acciones para acelerar la ejecución de las actividades. Estos parámetros pueden ser agrupados dentro de una estrategia (o acción) gerencial coherente. Las acciones gerenciales son aspectos clave en los ciclos de realimentación del modelo.

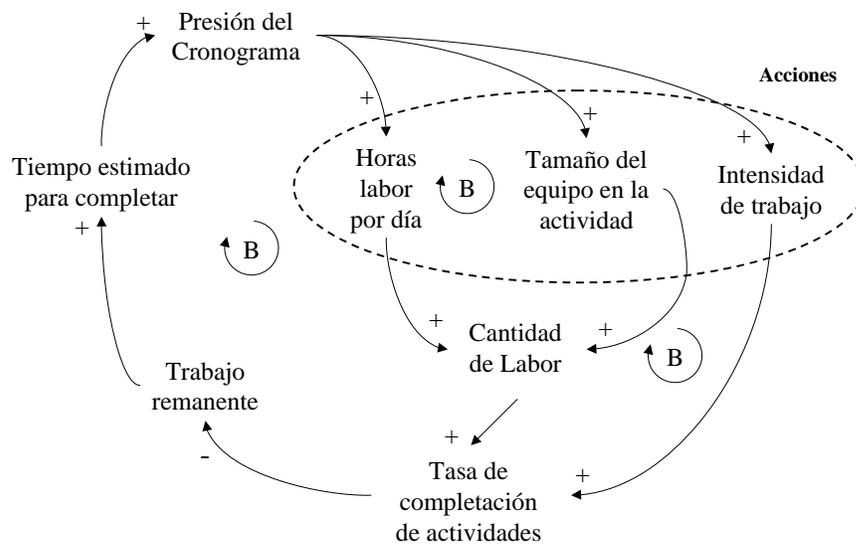


Figura 2.3 Estructura de la Ejecución de las Actividades

Si se incrementa la presión del cronograma se incrementa el esfuerzo y/o los recursos necesarios para completar las actividades y por tanto se acelera la ejecución de las actividades del proyecto (Figura 2.3). Por otro lado, el trabajo remanente permite hacer una estimación del tiempo requerido para completar el proyecto. Luego, la presión del cronograma es proporcional a la diferencia entre el tiempo

requerido para completar el proyecto y el tiempo disponible para terminar el proyecto, de acuerdo con el compromiso de entrega con el cliente.

De las Figuras 2.2 y 2.3, puede verse que la presión del cronograma tiene un doble efecto sobre la completación de las actividades (Hernández y Méndez, 2003):

- ✓ La presión del cronograma impulsa el deseo de acelerar la ejecución de las actividades
- ✓ La presión del cronograma o apresuramiento ocasiona que se descuide la calidad durante la ejecución, por tanto la tasa de generación de errores se incrementa y el esfuerzo en evaluar el resultado final se incrementa.

Estos diagramas representan un enfoque sistémico al problema del desempeño en proyectos. A partir del análisis de estos diagramas se identificaron cuatro submodelos:

- ✓ Retrabajo/calidad
- ✓ Productividad
- ✓ Aprendizaje
- ✓ Recursos humanos

A continuación se profundiza en el desarrollo del modelo dinámico propuesto a través de diagramas de niveles y flujo

2.5.1.- Retrabajo

En la Figura 2.4 se muestra un diagrama de niveles y flujos simplificado para Gerencia de Proyectos. Los rectángulos representan los niveles (o tanques que retienen un fluido) y las flechas junto con el obturador representan los flujos (o válvulas que regulan el flujo). Una vez que se define el alcance del proyecto con precisión, se cuenta con la cantidad de trabajo planificado. El *Trabajo Planificado* es la cantidad de trabajo a ser ejecutado y se convierte en *Trabajo Hecho* mediante la realización de unas actividades siguiendo un cronograma y con una cierta *Tasa de ejecución*. El trabajo hecho es revisado y es aprobado con una *Tasa de trabajo aprobado*. Al completar el alcance el cliente revisa el *Trabajo Listo* y acepta el trabajo.



Figura 2.4 Diagrama de niveles y flujos para proyectos

Sin embargo, el *Trabajo Hecho* no siempre es aprobado, ya que en algunas ocasiones el *Trabajo Hecho* no cumple con los mínimos requerimientos del producto

exigidos. La falta de cumplimiento es producida por un conjunto de errores que se generan con una *Tasa de generación de errores*. En la Figura 2.5 se muestra como el trabajo por hacer puede tomar uno de dos caminos:

- ✓ Realizar las tareas bien desde el principio con una *Tasa de ejecución* hasta lograr que el *Trabajo Listo* sea igual al alcance del proyecto.
- ✓ Realizar el trabajo de manera incorrecta con una *Tasa de ejecución de trabajo defectuoso*. Esta tasa conduce a alimentar la cantidad de *Retrabajo no descubierto* y puede ser modelada con la siguiente expresión:

$$(\text{Tasa de ejecución de trabajo defectuoso}) = f * (\text{Tasa de ejecución})$$

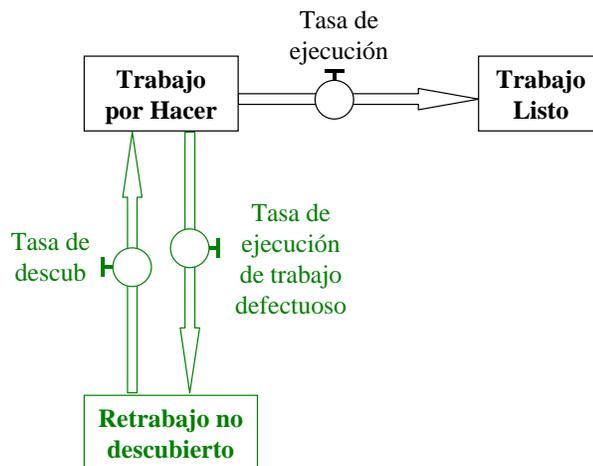


Figura 2.5 Versión 2 del diagrama de niveles y flujos para proyectos

Donde “f” es la fracción de generación de errores, la cual puede ser expresada como: $f = 1 - Q$. Donde Q es un parámetro asociado con la calidad del trabajo ejecutado. El valor fraccional de calidad (Q) determina la porción del trabajo realizado que se considera realmente completado. Sin embargo una definición más operativa es la siguiente:

$$f = fnorm * \text{Efecto de la Presión del Cronograma}$$

Donde *fnorm* representa la relación entre el trabajo defectuoso y el trabajo ejecutado correctamente y es proporcional a la probabilidad de ocurrencia de errores o defectos durante la ejecución. Además, *fnorm* está influenciado por la experticia del equipo de trabajo, por la complejidad de la tarea y por las condiciones del entorno, sin embargo está libre de cualquier acción gerencial y por tanto, se considera una constante del modelo de simulación. Por otro lado, la presión del cronograma tiende a incrementar la fracción de generación de errores, como consecuencia del apresuramiento en el desarrollo del trabajo. De acuerdo con la información histórica, el incremento en la fracción de generación de errores debida a la presión del

cronograma puede llegar hasta un 45%. Entonces, el *Efecto de la Presión del Cronograma* se consideró un parámetro adimensional que varía entre 1 y 1,45

Hasta que no se revisa el trabajo se percibe un producto libre de defectos y se intuye que existe un *Retrabajo no descubierto*. Entonces, parte de la labor de control de calidad consiste en identificar la necesidad de retrabajar para retornar los productos defectuosos a las exigencias de calidad. Este proceso se realiza con una *Tasa de descub.* La tasa de descubrimiento del retrabajo siempre refleja un retraso respecto al trabajo ejecutado y puede ser modelada a través de la expresión:

$$Tasa..de..descub = \frac{Re\ trabajo..no..descubierto}{Tiempo..para..descubrir}$$

El *Tiempo para descubrir* es el tiempo requerido para descubrir la necesidad de retrabajar algunas actividades. Este tiempo puede estar influenciado por diversos factores, sin embargo los principales son: La destreza en la inspección de las tareas y la complejidad (tanto estructural como dinámica) del proyecto.

El conjunto de tareas que deben ser repetidas se une a las tareas planificadas en el rectángulo *Trabajo por Hacer*. En todo momento el *Trabajo por Hacer* es susceptible a realizarlo incorrectamente.

Una característica distintiva de este último modelo es que permite hacer la distinción entre el Avance Físico Percibido (donde el trabajo ejecutado percibido es la suma del *Trabajo Listo* y el *Retrabajo no descubierto*) y el Avance Físico Real (donde el trabajo ejecutado real se refiere únicamente al *Trabajo Listo*). Esta distinción permite acercar el modelo a las condiciones reales de la vida de los proyectos, donde las ineficiencias en el sistema de medición del avance ocasiona que los Gerentes de Proyectos tomen decisiones basándose en un avance físico percibido.

Tasa de ejecución = Horas Labor * Productividad

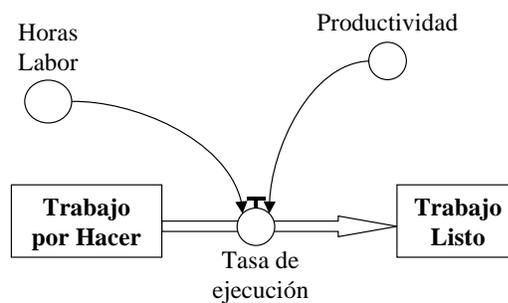


Figura 2.6 Parámetros que influyen en la tasa de ejecución

Dentro de intervalos específicos, la tasa de ejecución de las actividades puede ser expresada como un producto entre el número de personas que ejecutan la tarea y su productividad promedio. Por ejemplo, si se incrementa indefinidamente el número de personas la interferencia que se genera puede disminuir la productividad y la tasa de ejecución de la actividad. Además, al incrementar el número de personas se

requiere de una mayor coordinación para mantener la productividad. En la Figura 2.6 se muestra las representaciones de *Productividad* y *Equipo de proyecto* en un diagrama de niveles y flujos.

2.5.2.- Productividad

La productividad es un indicador compuesto de eficiencia y depende de múltiples parámetros. En la Figura 2.7 se muestra una cadena del modelo que relaciona el desempeño con la presión del cronograma y su efecto sobre la productividad. La *Productividad Normal* es modificada por la presión del cronograma para generar una *Productividad real*. $Productividad = (Productividad Normal) * (Efecto de la presión del crono)$

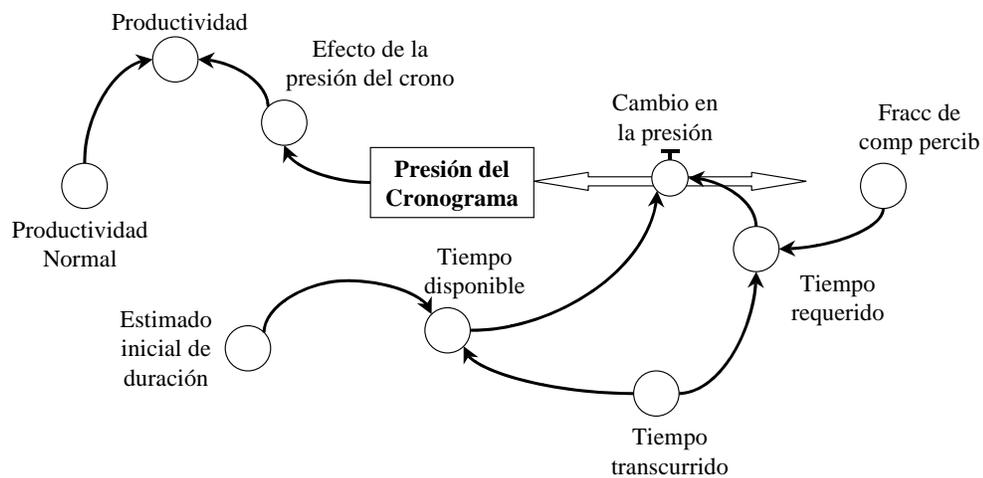


Figura 2.7 Parámetros que influyen en la productividad

El efecto de la presión del cronograma es un parámetro entre 0 y 1 que permite medir cuanto es la reducción en la productividad debido a la presión del cronograma. La *Presión del Cronograma* es un parámetro que se representa a través de un nivel. Este nivel crece a medida que se percibe que el tiempo disponible no es suficiente para terminar la actividad o el proyecto. El *Cambio en la presión* del cronograma depende de la diferencia entre el tiempo requerido y el tiempo disponible. El tiempo requerido es el estimado en tiempo para completar la actividad, de acuerdo con la tasa de ejecución actual. Por otro lado, el tiempo disponible es el tiempo restante desde la fecha actual hasta la fecha de entrega del producto al cliente. Entonces, el cambio en la presión del cronograma puede estimarse con la siguiente expresión:

$$Cambio.en.la.presión = \frac{Tiempo.Requerido - Tiempo.Disponible}{retraso}$$

Donde *Tiempo Requerido* y *Tiempo Disponible* poseen las siguientes expresiones:

$$Tiempo...requerido = Tiempo..Transcurrido * \left(\frac{1}{Fracción..de..comp..perc} - 1 \right)$$

$$Tiempo disponible = Estimado inicial de duración - Tiempo Transcurrido$$

Además, este efecto es menor cuanto mayor es la experiencia y la capacidad del equipo para trabajar bajo presión (Figura 2.8)

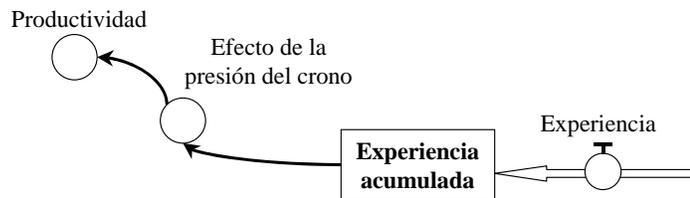


Figura 2.8 Influencia de la Experiencia acumulada en el efecto de la presión del cronograma

La Productividad Normal se refiere a la productividad del equipo de trabajo bajo condiciones controladas. Esta productividad es el resultado del comportamiento de los parámetros propios del equipo de proyectos, tales como, aprendizaje, motivación, conocimiento y experiencia.

2.5.3.- Aprendizaje

El aprendizaje de los equipos de proyectos tiene gran influencia en la productividad (Ackoff, 1996). Richmond (1997) muestra a través del modelo de la Figura 2.9, como es el efecto del aprendizaje y la motivación en la productividad del equipo de proyectos.

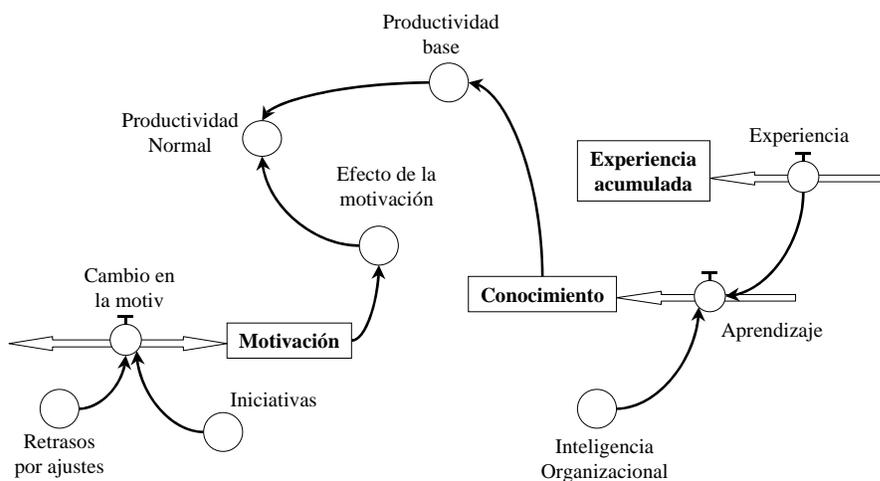


Figura 2.9 Modelo de productividad (Richmond, 1997)

El crecimiento de la complejidad de los proyectos ha incrementado la necesidad de las organizaciones y los individuos de aprender de los proyectos. Más aún, Si no se aprende de proyectos pasados el conocimiento se pierde y los errores del pasado son repetidos. El aprendizaje a partir de los proyectos o actividades ejecutadas puede reducir el tiempo de ejecución del proyecto e incrementar el desempeño.

En la Figura 2.10 se muestra un diagrama de ciclos causales donde se aprende a partir de tareas ejecutadas para incrementar el conocimiento y la productividad. El proceso de aprender se genera en mayor o menor medida con la exposición del equipo de trabajo a condiciones variables durante la ejecución de las actividades del proyecto actual o de proyectos anteriores (Figura 2.10). Sin embargo, es necesario crear un entorno de proyectos que facilite la recopilación de lecciones aprendidas (Ver Figura 1.2). Al identificar la necesidad de retrabajar, también se identifican lecciones aprendidas que deben ser recopiladas, documentadas y difundidas para impulsar el aprendizaje del equipo (Figura 2.10). En este sentido, llevar un registro de las perturbaciones del proyecto es esencial para aprender de la experiencia e incrementar la capacidad del equipo para hacer frente a los obstáculos y para aprovechar las oportunidades del proyecto.

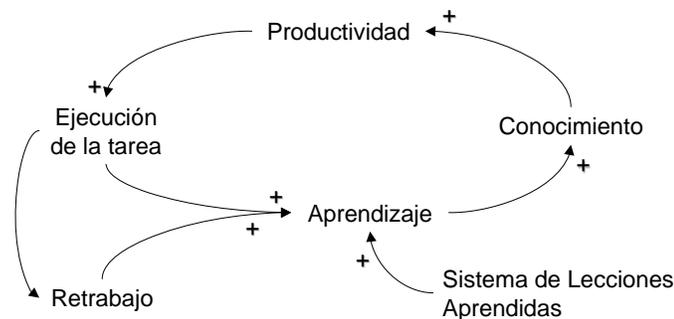


Figura 2.10 Relación entre aprendizaje y productividad

El aprendizaje se evidencia cuando el equipo de proyectos cambia su comportamiento colectivo para mejorar la manera en la cual se ejecuta la actividad, reducir el tiempo de ejecución e incrementar la productividad. El aprendizaje incrementa el nivel de conocimiento y puede potenciarse a través de la recopilación sistemática de lecciones aprendidas y de la implantación de un sistema de realimentación de los líderes hacia sus equipos de trabajo.

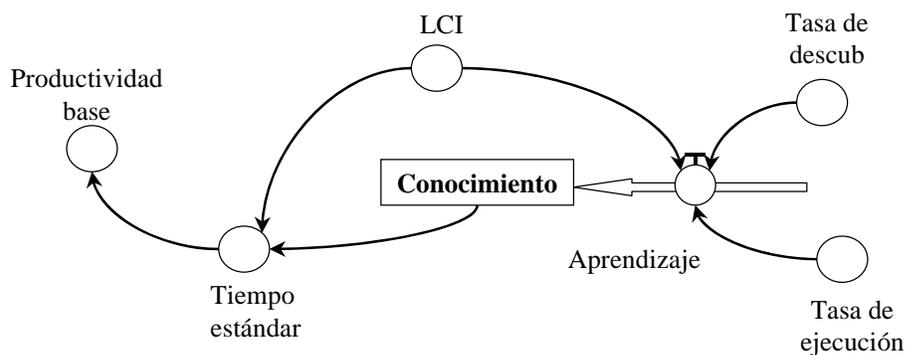


Figura 2.11 Modelo propuesto basado en curvas de aprendizaje

En la Figura 2.11 se muestra el modelo propuesto. El índice de curva de aprendizaje (LCI por sus siglas en inglés) es un parámetro entre 0 (aprendizaje muy rápido) y 1 (no hay aprendizaje) e indica la capacidad del equipo de trabajo para aprender de su experiencia (buena o mala) desarrollada a partir de la ejecución de las tareas. El índice de curva de aprendizaje del equipo de proyectos puede acercarse a cero si existe un sistema de gestión de lecciones aprendidas. En el modelo, este parámetro posee valores distintos para principiantes y para expertos. El índice de curva de aprendizaje, el conocimiento y el aprendizaje son parámetros “suaves” que, si son apropiadamente validados, pueden ser simulados dentro del modelo dinámico de proyectos. El aprendizaje puede ser expresado como:

$$\text{Aprendizaje} = (1 - \text{LCI}) * \text{Tasa.de.Ejecución} * \text{Tasa.de.Descub}$$

De esta expresión se puede interpretar:

- ✓ El LCI refleja la capacidad del equipo de proyectos para interpretar su propia ejecución con el fin de obtener un aprendizaje
- ✓ El aprendizaje puede obtenerse de la ejecución correcta de las actividades (donde se refuerzan paradigmas y estrategias) y del descubrimiento de errores o defectos en la ejecución de tareas.

El *Tiempo estándar* es el tiempo empleado por el equipo de trabajo en la ejecución de la tarea o del proyecto. El *Tiempo estándar* se relaciona con el nivel de conocimiento a partir de una curva logarítmica decreciente llamada curva de aprendizaje y viene dada por la siguiente expresión (ver, Eden y cols, 1998):

$$\text{Tiempo estándar} (x) = \text{Tinic} * (1 + K * \text{LCI}^{\text{Log}(2x)})$$

Donde x es el conocimiento ganado a través de la experiencia en la ejecución de la tarea, Tinic y K son constantes relacionadas con la tarea o proyecto y con el equipo de trabajo respectivamente. En la Figura 2.12, se observa una curva de aprendizaje típica generada a partir de esta ecuación.

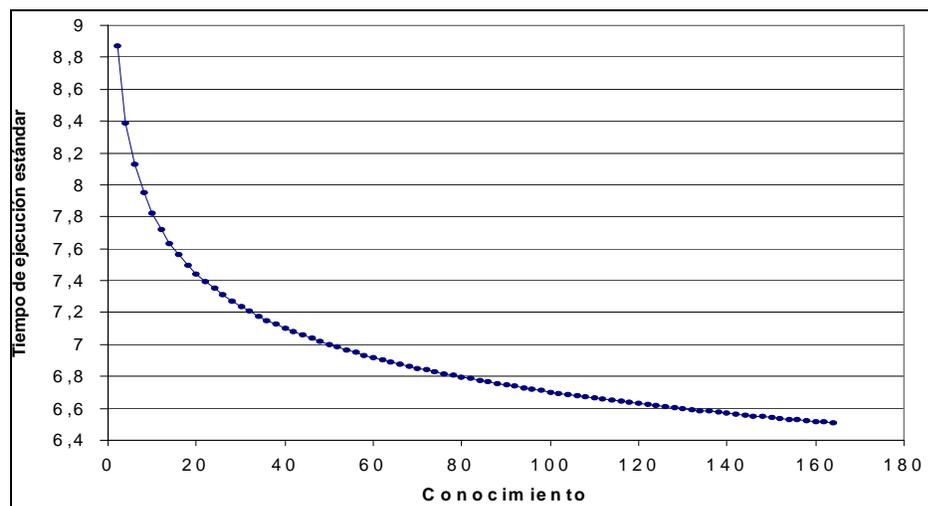


Figura 2.12 Ejemplo de curva de aprendizaje

La *Productividad base* puede entonces considerarse el inverso del *Tiempo estándar*. La productividad base cambia muy lentamente durante la ejecución de proyectos cortos, sin embargo, cuando los proyectos son largos y/o con repetición de actividades, la *Productividad base* puede sufrir cambios considerables durante la simulación.

2.5.4.- Recursos Humanos

En esta sección incluye todo lo relacionado con la gestión de recursos humanos en proyectos y su efecto en el desarrollo de las actividades. Este submodelo contiene las acciones gerenciales que tradicionalmente han aplicado los gerentes de proyectos para acelerar la ejecución de las tareas y reducir retrasos. El objetivo es definir cómo el gerente de proyectos puede actuar cuando el proyecto se retrasa. Las acciones generalmente aplicadas para incrementar la productividad son (ver Figura 2.3):

- √ Incorporar más personal (con efecto en el parámetro *Tamaño del equipo en la actividad*)
- √ Trabajar sobretiempo (con efecto en el parámetro *Horas labor por día*)
- √ Trabajar más rápido (con efecto en el parámetro *Intensidad de trabajo*).

Cada una de estas acciones tiene un efecto de realimentación sobre la productividad real del equipo de trabajo.

El incremento del personal asignado al proyecto permite incorporar no solo mano de obra adicional sino también destrezas, conocimiento y competencias. Esta acción modifica los parámetros del submodelo de aprendizaje (Figura 2.8). Sin embargo, esta acción ocasiona inicialmente la reducción en la productividad debido a la pérdida de tiempo por el proceso de contratación, por retrasos en la adaptación del nuevo personal y por el entrenamiento que requiere el nuevo personal. Toma considerable cantidad de tiempo potenciar los nuevos recursos e integrarlos al equipo de trabajo. La aplicación de técnicas de “Team Building” puede contribuir a reducir este tiempo perdido. Además, el incremento de personal más allá de lo programado incrementa la complejidad del proyecto, puede producir interferencia en la ejecución de las actividades y puede requerir esfuerzos adicionales de coordinación. Los efectos de incrementar excesivamente el tamaño del equipo no siempre son considerados dentro de la planificación.

En segundo lugar, trabajar sobretiempo puede ser requerido al equipo de proyectos. Sin embargo, períodos prolongados de carga de trabajo excesiva puede generar una disminución en la motivación y la productividad, la cual puede ser un catalizador para la futura pérdida del personal (Chapman, 1998). Las pérdidas de productividad debidas al excesivo trabajo pueden ser estimadas a partir del sobretiempo diario y de la cantidad de días trabajados.

Una tercera opción es acelerar la rapidez de ejecución a través de la flexibilización de las precedencias y de ejecutar más actividades simultáneamente. Esto ocasiona un incremento en la complejidad del proyecto y en el nivel de riesgo del proyecto. Además, necesita un mayor esfuerzo de coordinación entre las partes para lograr acelerar verdaderamente la ejecución de las actividades. Esta opción también puede incluir la presión que aplique la Gerencia sobre el equipo de proyectos. Esto trae como consecuencia que las actividades puedan ejecutarse ligeramente más rápido pero con mayor número de defectos, que tendrán que ser corregidos.

El equipo de proyectos está formado por miembros principiantes y miembros expertos, y cada uno de estos tienen características particulares. Por ejemplo, los miembros expertos por ser más experimentados son menos afectados en su productividad por la presión del cronograma que los miembros principiantes. Los principiantes ganan experiencia con la ejecución de las tareas y luego de un tiempo pueden considerarse expertos, siempre y cuando, se ponga en marcha un procedimiento para aprender de los proyectos.

En la Figura 2.13 se muestra la estructura principal del submodelo de recursos humanos. El ingreso de nuevo personal al proyecto puede argumentarse por uno de tres criterios de decisión: Incorporación de personas que desertaron, Incorporación de personas de acuerdo con el plan y la estrategia de ejecución y la Incorporación de personal para acelerar la ejecución de las actividades. Por otro lado, en el ciclo de vida del proyecto la cantidad total de miembros del equipo tiene impacto directo en la productividad normal

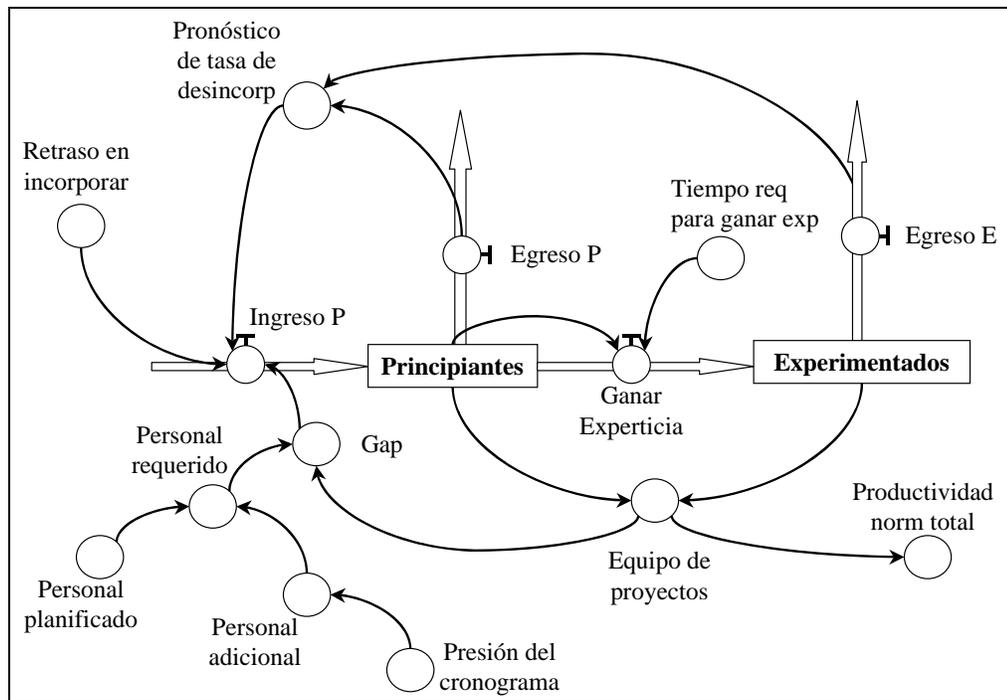


Figura 2.13 Estructura principal del submodelo de recursos humanos

En el modelo los niveles y flujos de la Figura 2.9 son duplicados para considerar las características propias de los principiantes y de los expertos. La *Productividad Normal* del equipo de trabajo se expresa:

$$Pr odNormal..Equipo = \frac{(Pr odNormal..Pr inc * N^{\circ}de Pr inc) + (Pr odNormal..Exp * N^{\circ}deExp)}{N^{\circ}Total..de..miembros}$$

2.6.- INTERACCIÓN USUARIO-MODELO-MODELADOR

La correcta interacción entre el usuario, el modelo y el modelador es la clave para asegurar el éxito y la aplicabilidad del modelo tanto en el ámbito académico como práctica de gerencia de proyectos de construcción.

2.6.1.- Interfase Usuario-Modelo

El software Ithink permite elaborar menús para facilitar el acceso del usuario a las distintas posibilidades de interacción con el modelo (Figura 2.14). Además, el software Ithink permite construir consolas o pantallas que facilitan al usuario la utilización del modelo y protegen al modelo de modificaciones indeseadas ocasionadas por usuarios inexpertos (Figura 2.14). La consola permite ajustar las condiciones iniciales, las constantes y muestran los resultados en forma gráfica o tabular. La estrategia en el diseño de las consolas interactivas debe contemplar los requerimientos de información de diversos usuarios e incluir la flexibilidad de realizar algunos cambios al modelo que permitan al usuario obtener algunas conclusiones y tomar mejores decisiones. Específicamente la consola mostrada se divide en dos áreas: un área de datos u otra de resultados.

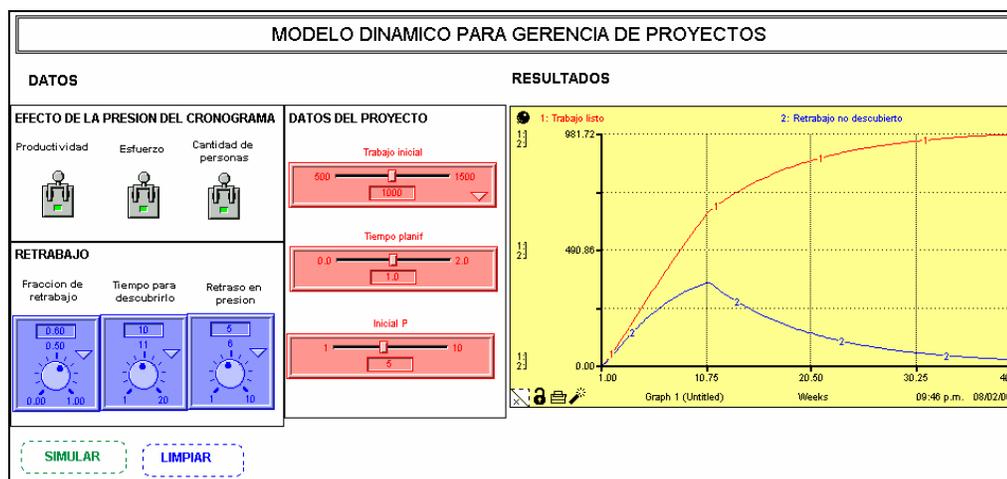


Figura 2.14 Consola principal

En la Figura 2.15 se presenta la ventana de visualización de resultados de la simulación del modelo. Los formatos para la presentación de resultados son

completamente personalizables a los gustos o requerimientos del usuario en este caso el Gerente de Proyectos.

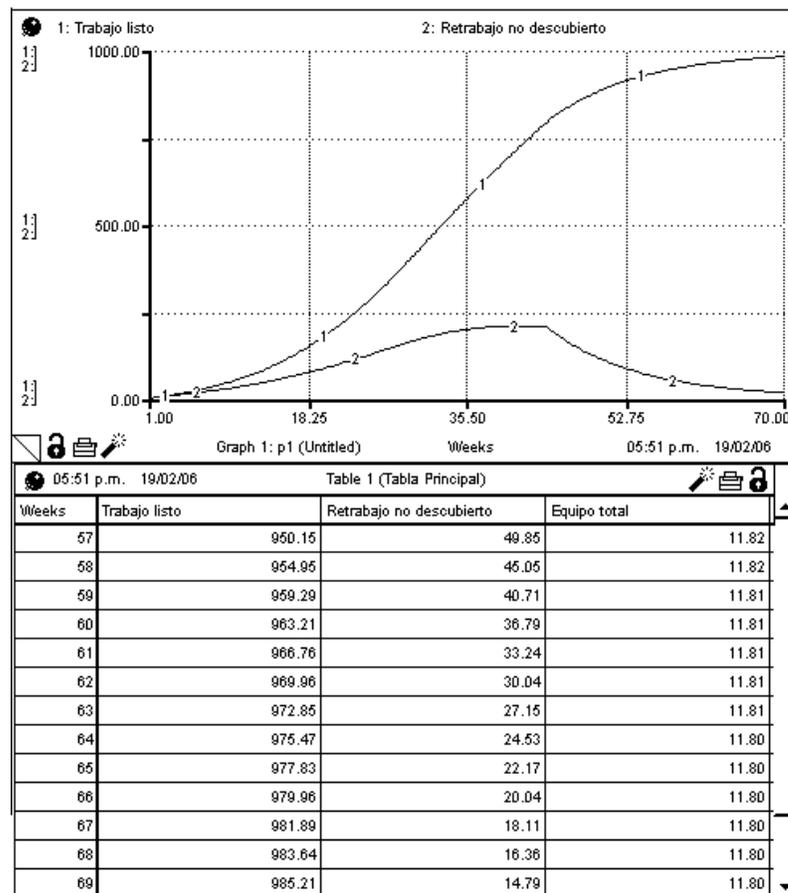


Figura 2.15 Detalle de la visualización de los resultados

2.6.2.- Interacción Usuario-Modelador

El proceso de construcción del modelo requiere de la participación de usuarios y modeladores. El modelo presentado es el resultado de la interacción del modelador (el autor) con el equipo de proyectos de una organización. Es esencial que el modelador y el equipo de proyectos trabajen en conjunto para desarrollar una mejor comprensión de los procesos y para facilitar la toma de decisiones durante el ciclo de vida de los proyectos de construcción.

El modelador tiene la tarea de demostrar la confiabilidad y aplicabilidad del modelo para sustentar un proceso de toma de decisiones en gerencia de proyectos. Esto se logra a través de la personalización del modelo a las condiciones y características de la organización y los proyectos donde se van a aplicar. El modelo presentado responde a una organización que realiza proyectos de construcción usando una metodología y un sistema de gerencia de proyectos, basado en un modelo

de 5 fases con nodos de decisión, que reduce la posibilidad de regresar a una fase anterior como resultado del retrabajo. Entonces, el retrabajo se identifica mayoritariamente dentro de cada fase. Por tanto, el modelo presentado puede ser tomado como plantilla y ser aplicado en todas las fases, ajustando algunas constantes.

2.7.- RESUMEN

En este capítulo se presentó el proceso de desarrollo y una descripción detallada del modelo dinámico de gestión del desempeño en proyectos de construcción. El modelo dinámico propuesto posee cuatro submodelos principales: Retrabajo, Productividad, Aprendizaje, y Recursos Humanos. Estos cuatro submodelos interactúan sistémicamente para simular el comportamiento dinámico de proyectos de construcción. En el desarrollo del modelo se hizo especial énfasis en sentar las bases conceptuales del modelo y en personalizar el diseño de consolas de interacción entre los distintos perfiles de usuarios y el modelo. El enfoque de creación del modelo se basó en las mejores prácticas en el modelado de sistemas dinámicos, recopiladas por diversos autores (Véase Richmond, 1997; Kirkwood, 1998). Por otro lado, la estructura de sub-modelos potencia el proceso de la validación del modelo presentado en el siguiente capítulo.

Capítulo 3

VALIDACIÓN DEL MODELO DINÁMICO

3.1.- INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta el proceso de validar e incrementar el nivel de confianza del modelo descrito en el capítulo anterior. Los valores de las constantes del modelo son modificados de manera sistemática para calibrar el modelo y ajustar su comportamiento al comportamiento histórico de este tipo de proyectos dentro de una organización (descripción del proceso de validación). La organización considerada es una oficina de gerencia de proyectos dedicada a desarrollar las fases de definición y desarrollo o Fases FEL (Siglas de la frase Front-End Loading) de proyectos de construcción. Para lograr la adecuada validación del modelo, se cuenta con registros históricos de proyectos de los últimos 5 años de esta organización.

El objetivo principal es aportar evidencia para asegurar la confiabilidad de los resultados obtenidos de la simulación y evaluar la capacidad del modelo para pronosticar resultados de desempeño. En la práctica los niveles de confianza se suelen acordar con el usuario, quien es en definitiva la persona que va a sustentar sus decisiones basándose en los resultados de un modelo.

3.2.- RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Los resultados principales de la simulación dinámica de los proyectos de construcción reflejan el comportamiento en el tiempo de los parámetros del modelo. Estos resultados permitieron construir un diseño experimental basado en series de tiempo múltiples. Específicamente, los resultados de la simulación permiten medir el desempeño del proyecto en costo y tiempo, a través de los parámetros de avance físico y financiero. Las series de tiempo del avance físico y financiero del proyecto despliegan una forma de curva S.

Los resultados fueron normalizados a través de considerar el tiempo medido en periodos y el avance físico y financiero expresados en porcentaje.

3.2.1.- Curvas S

Los proyectos de construcción se inician con un número pequeño de actividades y pronto comienzan a acometer múltiples actividades simultáneamente. Estas actividades paralelas e interconectadas incrementan el uso de recursos en comparación con el inicio del proyecto. Sin embargo, siempre hay límites en el presupuesto y en los recursos que conducen a la declinación de la tasa de uso de recursos. Debido a que las actividades dependen unas de otras frecuentemente en relaciones inicio fin, ellas no pueden finalizar simultáneamente. El proyecto termina con un ritmo de ejecución más lento que la fase intermedia. La pendiente de la curva permite medir el desempeño para cada período del ciclo de vida del proyecto.

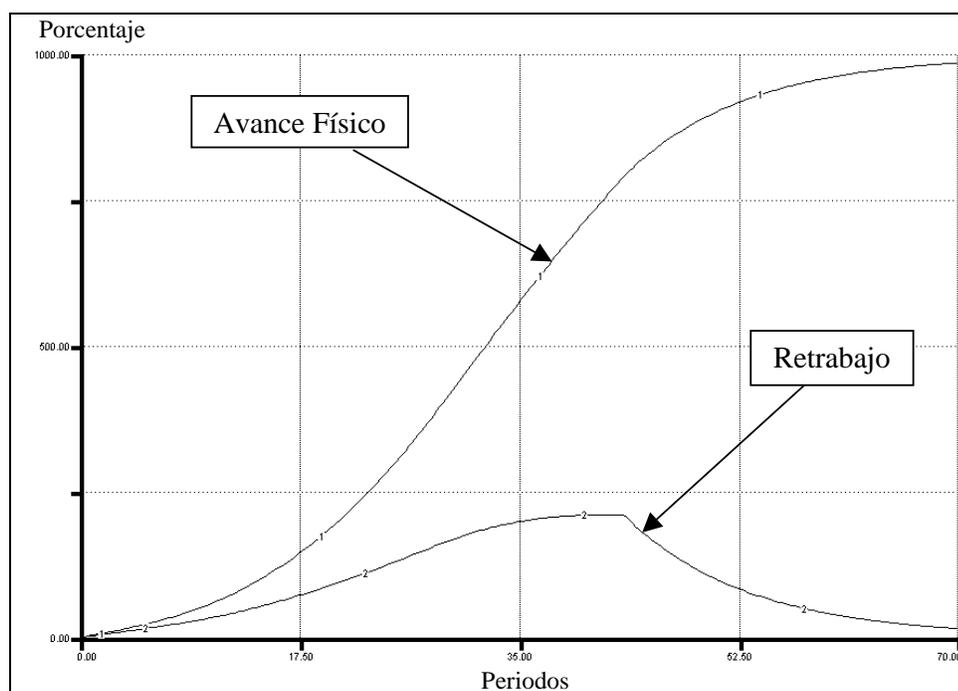


Figura 3.1 Curva S resultante del modelo

En la Figura 3.1 se presenta la Curva S de avance físico y la curva de retrabajo obtenida por simulación del modelo. Cualitativamente, la curva de avance físico simulada se ajusta al modelo de Curva S descrito anteriormente. La Curva S puede ser parametrizada y presentada en una expresión matemática (por ejemplo véase Cioffi, 2005).

Al comparar la curva de avance físico con la curva del retrabajo se evidencia que a pesar que cerca de la mitad del tiempo planificado se cuenta con la mayor tasa

de avance, también existe la mayor cantidad de retrabajo. Por tanto, si se toman acciones para reducir este retrabajo se pueden lograr las siguientes metas:

- 1.- Reducir la cantidad de recursos utilizados sin afectar el avance físico planificado, ya que se reduce la asignación de recursos a corregir errores en productos o actividades ya ejecutadas
- 2.- Acelerar el desarrollo del proyecto, debido a una mejor distribución de los recursos en actividades nuevas.

3.2.2.- Histograma de Horas-Labor

El histograma de horas-labor refleja la cantidad de horas de esfuerzo que se están invirtiendo en el proyecto y proporciona una medida del perfil de desembolso de la fase de definición y desarrollo de los proyectos. En la Figura 3.2 se muestra el histograma de horas-labor obtenidas de la simulación. La distribución real o simulada de las horas-labor depende de las precedencias de las actividades, de la nivelación de recursos y del histograma de horas planificado.

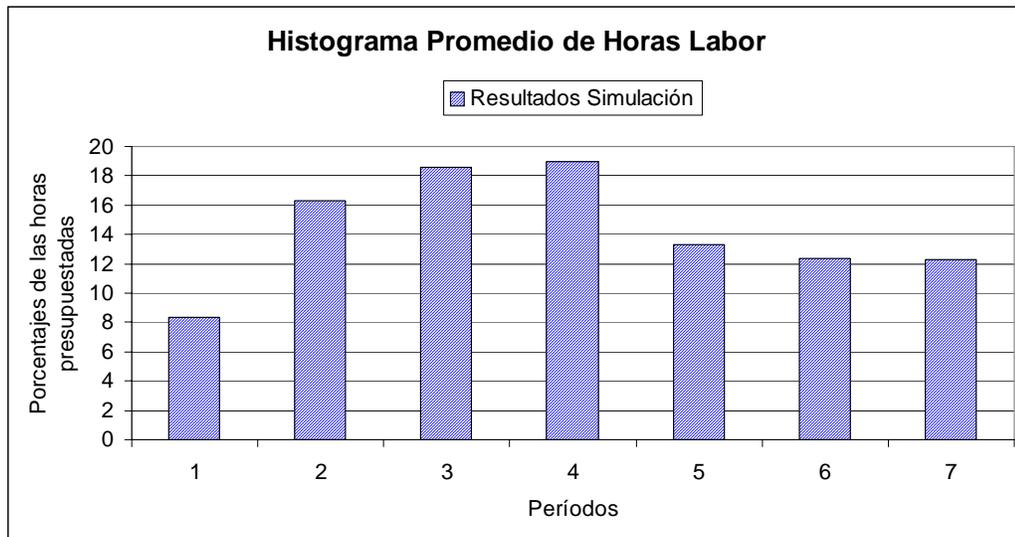


Figura 3.2 Histograma de horas-labor simulado

Estos resultados del modelo deben ser confiables desde la perspectiva del usuario, por tanto éstos deben ser validados a través de diversas pruebas.

3.2.- VALIDACIÓN

Validación es el proceso por el cual se prueba y se proporciona confiabilidad al modelo con el fin de usarlo en algún propósito particular. En este sentido, la validez de un modelo solo puede ser evaluada en relación con su propósito, ya que,

el modelo debe ser capaz de responder a las preguntas de los usuarios de acuerdo con su propósito.

El proceso de validación permite construir confianza en torno al modelo para hacerlo lo suficientemente bueno para que el usuario tome el riesgo de utilizarlo como base para la toma de decisiones. En los modelos dinámicos aplicados en la gerencia de proyectos de construcción, el proceso de validación contempla cuatro pasos generales:

- I. Verificación informal de la correspondencia estructural del modelo con respecto a los procesos del mundo real.
- II. Verificación de los procesos gerenciales, partiendo de un escenario estable y posteriormente probando escenarios con alteraciones puntuales y condiciones extremas.
- III. Reproducción de escenarios reales derivados de observaciones del comportamiento histórico

A continuación se describe como se llevó a cabo cada uno de estos pasos en el modelo propuesto.

3.3.- CORRESPONDENCIA ESTRUCTURAL DEL MODELO

Se realizó la verificación cualitativa de los elementos incluidos en el modelo (presentados en el apartado 2.5 del capítulo anterior) con respecto a los elementos considerados en los proyectos de construcción ejecutados por una organización en los últimos 5 años.

El modelo contiene los parámetros generalmente contemplados en los proyectos reales de la organización tales como:

- √ Clasificación de los miembros del equipo del proyecto en principiantes y expertos.
- √ Un conjunto de productos y actividades estándar de acuerdo con la fase ejecutada.
- √ Identificación del retrabajo en las actividades del proyecto.
- √ El aprendizaje como aspecto esencial en la productividad del equipo de trabajo.
- √ Cuantificación de las horas-labor invertidas en el proyecto.

3.4.- SIMULACIÓN BAJO DIVERSOS ESCENARIOS

Dentro del proceso de validación es importante estudiar la estabilidad de los resultados frente a diversos escenarios o variaciones en las premisas. En este modelo se consideraron dos parámetros fundamentales: La fracción normal de retrabajo (f_{norm}) y el tiempo requerido para descubrir el retrabajo. Estos parámetros influyen en la cantidad de retrabajo ejecutado durante el ciclo de vida del proyecto. Sin embargo, no siempre pueden ser controlados directamente por el Gerente de Proyectos y por tanto se consideraron constantes dentro del modelo. En muchas organizaciones ejecutoras de proyectos, las iniciativas corporativas orientadas al mejoramiento de la calidad pueden potenciar un escenario y un entorno favorable para el incremento del desempeño en los proyectos.

3.4.1.- Fracción Normal de Retrabajo (f_{norm}).

La fracción normal del retrabajo representa la proporción del trabajo realizado que debe ser retrabajada, bajo condiciones de no-afectación del proyecto por parte del Gerente de Proyectos. Esta fracción depende por un lado de la detección y comprensión de las necesidades del cliente y por otro, de la experticia, destreza y conocimiento del equipo del proyecto en las actividades que está realizando. Durante la simulación se consideró la fracción normal de retrabajo un parámetro constante, sin embargo la fracción real de retrabajo se estimó a partir de la fracción normal de retrabajo y de la presión del cronograma

En la Figura 3.3 se muestra la variación en las curvas S obtenidas de la simulación, como resultado de distintos escenarios de valores de la fracción normal del retrabajo. El parámetro f se varió desde 0.2 hasta 0.9. El desempeño del proyecto se ve afectado por la variación en la fracción normal de retrabajo. Por ejemplo, en la mitad del proyecto (Periodo 3.5) el avance logrado por un equipo de proyectos con un f_{norm} de 0.2 será 80% mayor al avance de un equipo con un f_{norm} de 0.9. Sin embargo, para esta variación de la fracción normal del retrabajo no se modificó la fecha de culminación del proyecto (siete periodos). Esto se debe a que el aprendizaje del equipo de trabajo durante la ejecución del proyecto puede contribuir a solventar el pobre desempeño inicial del equipo de proyectos.

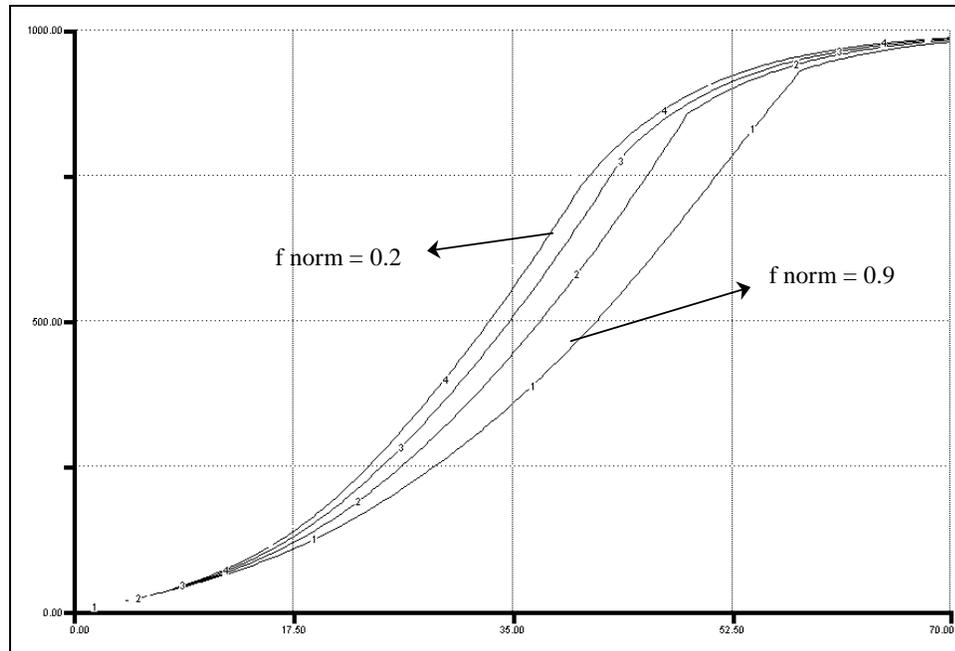


Figura 3.3 Efecto de la fracción de retrabajo sobre el desempeño del proyecto (Resultados preliminares de la simulación).

3.4.2.- Tiempo para Descubrir el Retrabajo (TDR)

El tiempo para descubrir el retrabajo (TDR) es el tiempo requerido para identificar la necesidad de rehacer algunas actividades o tareas. El TDR depende del esfuerzo dedicado a identificar problemas y de la complejidad dinámica y estructural del proyecto. En la Figura 3.4 se muestra las curvas de avance físico del proyecto obtenidas de la simulación, al variar TDR desde 0.2 hasta 1 periodo. Este parámetro tiene un impacto significativo en la duración del proyecto. Por ejemplo, una reducción del TDR desde 1 hasta 0.2 puede conducir a una disminución del 29% en la duración del proyecto.

Las estrategias o iniciativas para reducir el TDR pueden estar enfocadas a reducir la complejidad de las tareas a través de la simplificación de los procesos o a través de la reducción de las interfases entre los involucrados del proyecto, sin embargo esto no siempre es posible. Cuando se aceleran o se solapan las actividades para incrementar la rapidez de ejecución, se suelen agregar más recursos humanos, materiales o equipos que conducen a requerir mayor coordinación, mejores estructuras de comunicación (no siempre disponibles) ocasionando que sea muy fácil pasar por alto cualquier error o discrepancia del producto final con lo solicitado por el cliente. Entonces se incrementa el TDR. Por otro lado, también es necesario considerar que la implantación de las estrategias para reducir el TDR puede requerir una cantidad adicional de horas labor, que deberá ser contemplada dentro del plan de ejecución del proyecto.

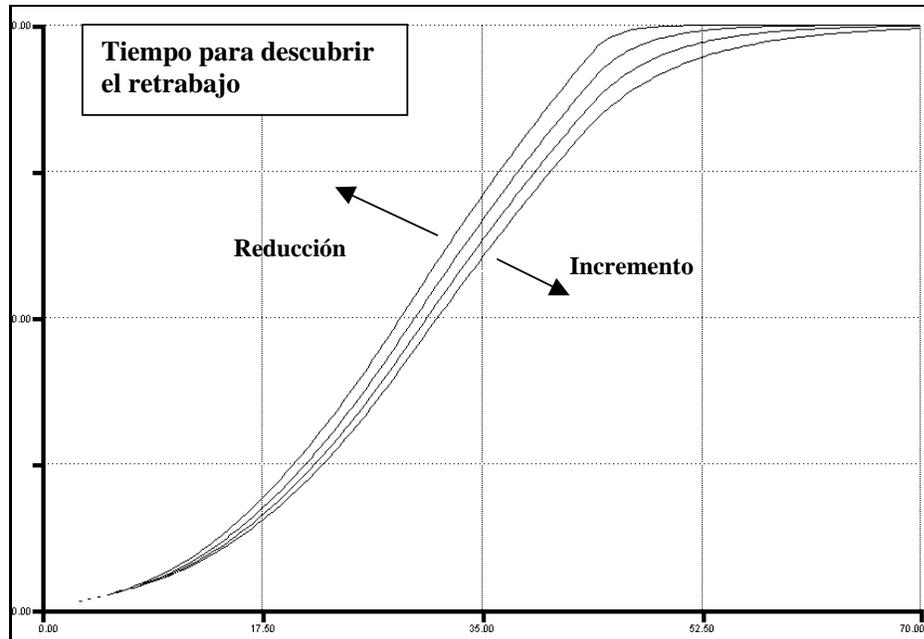


Figura 3.4 Efecto del tiempo para descubrir retrabajo sobre el desempeño (Resultados preliminares de la simulación)

3.5.- PRUEBAS MODELO VS REGISTROS HISTÓRICOS

La prueba final es mostrar que los resultados del modelo pueden reproducir los resultados históricos bajo las mismas condiciones. En el modelo de simulación se cargan los datos iniciales a través de constantes, con el fin de incluir los parámetros del entorno y de las estrategias aplicadas en el proyecto dentro del modelo (Figura 3.5). Luego, los resultados de la simulación deben ser comparados con los resultados reales del proyecto

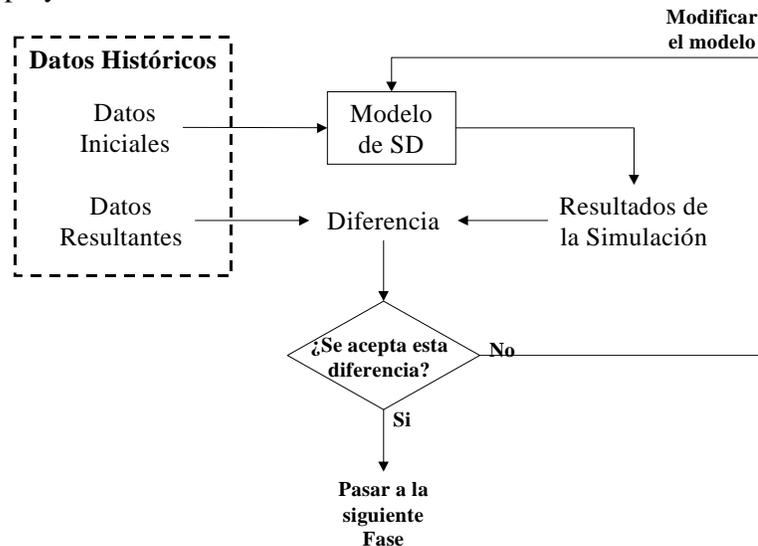


Figura 3.5 Detalle de la interacción entre los datos históricos y el Modelo de SD

Los datos históricos se recopilan a partir de registros de proyectos anteriores y se pueden clasificar en: datos iniciales y datos resultantes. Los datos iniciales propuestos y supuestos sirven de base para llevar a cabo la simulación de prueba. Los datos resultantes resumen el desempeño real del proyecto y sirven de base para la validación de los resultados de la simulación de prueba (Figura 3.5). En este caso, los datos históricos (iniciales y resultantes) serán tomados de la base de datos de proyectos de una organización que ejecuta fases FEL de proyectos de construcción.

3.5.1.- Datos Históricos

De la base de datos de proyectos de una empresa que realiza la definición y desarrollo de proyectos de construcción se tomaron los 12 proyectos más representativos de la forma de trabajar del equipo de proyectos frente a condiciones consideradas como normales dentro del sector. Los proyectos representados en esta muestra poseen una elevada complejidad dinámica, la cual se basa en la interdependencia de sus componentes. Por tanto, un cambio de alcance, de cantidad de trabajo o sencillamente un retraso en una parte, influye en el resto del proyecto.

La duración de los proyectos fue normalizada a 7 períodos con el fin de establecer una base. Este grupo de proyectos se han ejecutado bajo un estándar de productos y de la estructura del cronograma. Estos proyectos se ejecutaron entre 4 y 9 meses con un equipo de trabajo muy similar en disciplinas, pero bien diverso en tamaño (las horas labor totales están entre 998 y 26278).

Los entregables de este conjunto de proyectos poseen una secuencia similar de actividades, la cual se muestra a través de un diagrama de barras en la Figura 3.6. En estos proyectos, el control del desempeño es complejo debido a la naturaleza iterativa de cada actividad. Como consecuencia de esto, la complejidad dinámica no es captada por el diagrama de la Figura 3.6

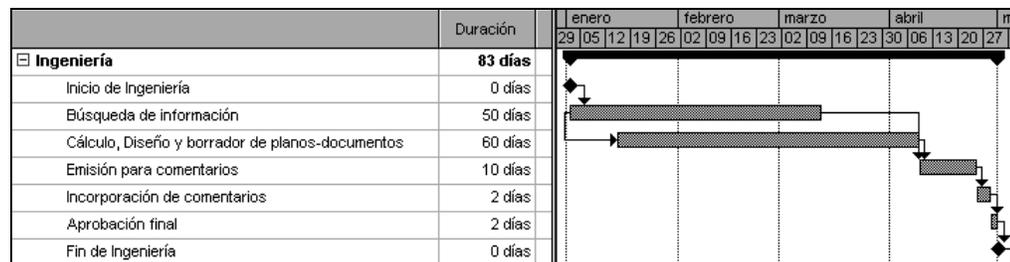


Figura 3.6 Diagrama de barras estándar para cada entregable

En la Tabla 3.1 se muestran los datos normalizados de avance físico y financiero (representado en horas-labor) de la muestra de 12 proyectos representativa de los proyectos de una organización.

Los datos históricos (presentados en la Tabla 3.1) permitieron construir una Curva S promedio que caracteriza el desempeño pasado del equipo de proyectos ejecutando fases de definición y desarrollo. Además, se estimaron Curvas S a partir de sumar o restar una desviación estándar a los valores promedio (+1S y -1S en la

Figura 3.7), con el fin de obtener como límites de control del proceso de ejecución de proyectos de la organización (Figura 3.7)

Tabla 3.1 Datos históricos de proyectos representativos

| | REAL | T0 | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 |
|-------------|------------|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| Proyecto 1 | Fisico (%) | 0 | 17,0 | 34,0 | 74,2 | 82,0 | 95,4 | 99,0 | 100,0 |
| | H-H | 0 | 1435 | 2869 | 4833 | 6376 | 6886 | 6986 | 6986 |
| Proyecto 2 | Fisico (%) | 0 | 4,7214 | 9,22 | 17,129 | 39,271 | 59,3 | 79,286 | 100 |
| | H-H | 0 | 107,14 | 162,86 | 208,71 | 357,57 | 350,86 | 855,43 | 998 |
| Proyecto 3 | Fisico (%) | 0 | 9,1 | 20,571 | 39,471 | 65,129 | 86 | 92,286 | 100 |
| | H-H | 0 | 4938,9 | 10887 | 15514 | 19669 | 20722 | 28574 | 26278 |
| Proyecto 4 | Fisico (%) | 0 | 8,6 | 15,4 | 26,1 | 35,3 | 46,1 | 69,1 | 100 |
| | H-H | 0 | 200 | 367 | 1.129 | 2.012 | 2.854 | 3.934 | 4.837 |
| Proyecto 5 | Fisico (%) | 0 | 3,3 | 8,1 | 30,7 | 51,7 | 64,1 | 81,1 | 100,0 |
| | H-H | 0 | 129 | 296 | 645 | 1.113 | 1.632 | 2.152 | 2.462 |
| Proyecto 6 | Fisico (%) | 0 | 4,6 | 13,9 | 36 | 78,3 | 81,6 | 88,6 | 100 |
| | H-H | 0 | 474 | 2082 | 4170 | 8102 | 8.626 | 9251 | 10725 |
| Proyecto 7 | Fisico (%) | 0 | 7,5714 | 29,457 | 58,171 | 76,029 | 96,429 | 98,214 | 100 |
| | H-H | 0 | 514,29 | 984,86 | 1996,9 | 5291,1 | 7553,4 | 7677,7 | 7802 |
| Proyecto 8 | Fisico (%) | 0 | 13,557 | 46,043 | 53,429 | 68,429 | 84,286 | 96,314 | 100 |
| | H-H | 0 | 412,29 | 1398,9 | 1677,6 | 1894,7 | 1692 | 1734,9 | 1851 |
| Proyecto 9 | Fisico (%) | 0 | 14,243 | 36,871 | 61,729 | 78,771 | 93,514 | 97,514 | 100 |
| | H-H | 0 | 6809,1 | 15209 | 26739 | 39106 | 47436 | 51402 | 53000 |
| Proyecto 10 | Fisico (%) | 0 | 5,1143 | 10,857 | 40,171 | 87,714 | 96,5 | 97,643 | 100 |
| | H-H | 0 | 389,43 | 2106 | 9812,6 | 18657 | 20733 | 21884 | 22287 |
| Proyecto 11 | Fisico (%) | 0 | 5 | 5 | 22,5 | 42,5 | 81,1 | 94,8 | 100 |
| | H-H | 0 | 510 | 674 | 698 | 898 | 2355 | 2674 | 2100 |
| Proyecto 12 | Fisico (%) | 0 | 9 | 24,286 | 58,657 | 86,086 | 94,943 | 98,114 | 100 |
| | H-H | 0 | 495,43 | 1324,4 | 2747,6 | 4225,7 | 5094 | 5152 | 5170 |

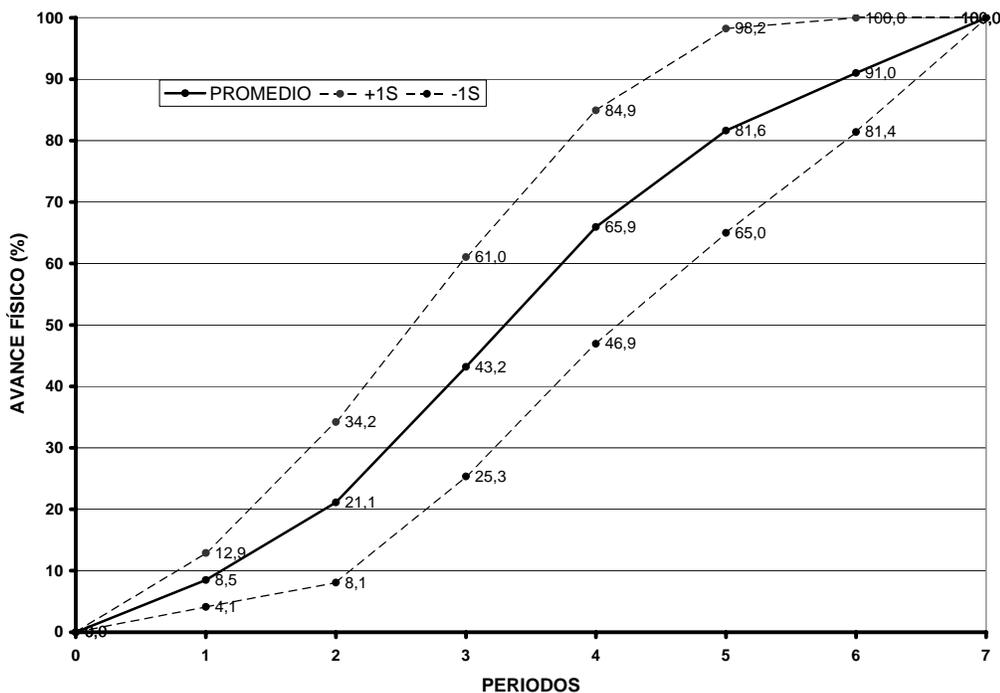


Figura 3.7 Gráfico de control para avance físico de proyectos

El gráfico mostrado en la Figura 3.7 permite caracterizar el comportamiento de los proyectos ejecutados por esta organización. Los límites de control permiten hacer el seguimiento a los proyectos y alertar cuando el avance físico se encuentre fuera del área dibujada por los límites de control. Los límites pueden ser más estrechos o más amplios y dependiendo de la tolerancia del Gerente de Proyectos a los cambios.

3.5.2.- Comparación de Resultados Simulados e Históricos Reales

Una vez haber procesado e interpretado los resultados históricos, se toma la curva de avance histórico promedio y se compara con la curva de avance obtenida de la simulación. Si la diferencia no es aceptable (Diferencia mostrada en la Figura 3.5), se ajustan y se calibran los parámetros (entre ellos los parámetros estudiados en la sección 3.4). Luego de sucesivas iteraciones se obtuvo los gráficos mostrados en la Figura 3.8.

Visualmente, los resultados simulados parecen ajustarse bastante durante el inicio del proyecto a los resultados promedio históricos. En los períodos 5 y 6 se presentan las mayores desviaciones (7.8 y 5.1 puntos porcentuales respectivamente), sin embargo, el coeficiente de determinación de estos resultados (R^2) es de 0.99949, lo cual es un muy buen resultado. El coeficiente de determinación es un indicador que permite medir la bondad de ajuste de dos o más conjuntos de datos.

Por otro lado, si se comparan los resultados de la simulación con los límites de control definidos a partir de los datos históricos puede observarse que los resultados de la simulación se encuentran dentro de los límites de control, con lo cual indica que los resultados obtenidos tienen un comportamiento normal dentro de lo esperado por el Gerente del Proyecto (quién en definitiva establece los límites de control).

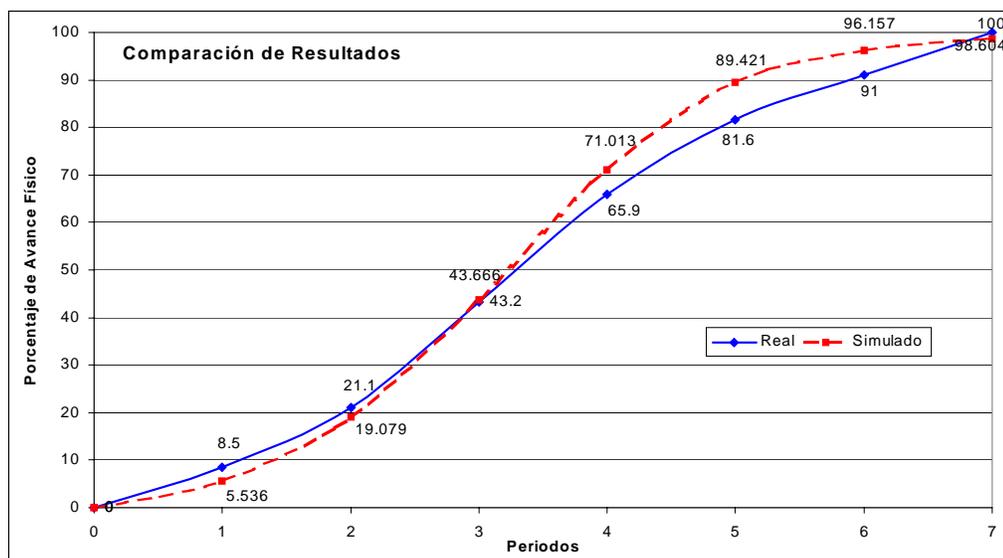


Figura 3.8 Comparación de los resultados de la simulación con resultados reales

En la Figura 3.9 se muestra la comparación entre los histogramas simulados y promedio histórico real. Los resultados simulados se ajustan bastante bien en la mayoría de los periodos (periodos 2, 3, 5 y 6), sin embargo en los periodos 4 y 7, la simulación parece no reproducir el máximo y mínimo respectivamente. Para este resultado, el coeficiente de determinación fue 0.7899, lo cual no es malo.

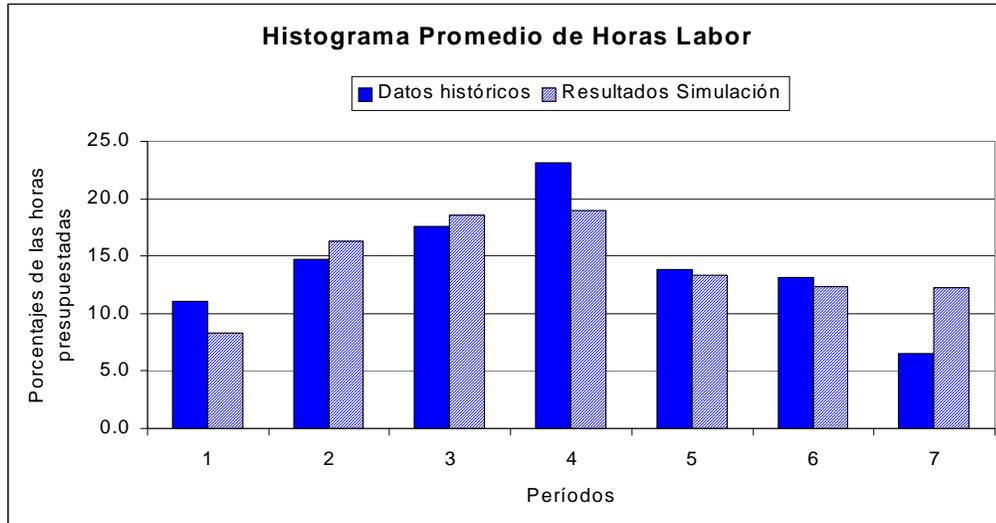


Figura 3.9 Comparación de histogramas labor reales promedio y simulado

3.6.- RESUMEN

Antes de comenzar a utilizar el modelo de simulación dinámica para probar la efectividad de diversas estrategias de ejecución, es necesario comprobar la confiabilidad del modelo para ofrecer resultados precisos y reales. En este capítulo, se presentó una descripción del proceso de validación aplicado, así como también la presentación de los resultados obtenidos. Además, se estudió la estabilidad de los resultados preliminares frente a variaciones en el factor normal de retrabajo y el tiempo para descubrir el retrabajo. Una muestra representativa de los registros históricos de proyectos de una organización fue utilizada para validar los resultados del modelo y para ajustar las constantes del modelo. Las desviaciones de los resultados de la simulación con respecto a los resultados históricos promedios se consideraron que están dentro de los límites aceptados por la organización que realizó estos proyecto. Con esto se proporciona confianza en la capacidad del modelo para predecir el comportamiento dinámico de los proyectos de esa organización.

Capítulo 4

RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DEL MODELO

4.1.- INTRODUCCIÓN

Una vez construido y validado el modelo de simulación es posible utilizarlo para apoyar la toma de decisiones en proyectos de construcción. El objetivo es identificar las estrategias de ejecución que contribuyan a incrementar el desempeño de los proyectos de construcción frente a diversos escenarios. Para esto, es necesario comprender cual es el comportamiento dinámico de cada elemento esencial del proyecto, a partir de los resultados de la simulación. Por tanto, en este capítulo se presentan y se analizan los resultados del modelo en escenarios de fases de definición y desarrollo de proyectos reales de construcción. Entonces, modelo de simulación es usado para desarrollar un análisis “Que pasaría si” Además, se describe cómo estos resultados se pueden integrar al proceso de planificación de proyectos de construcción. Los resultados serán divididos en: Resultados sin aplicar acciones gerenciales y Resultados aplicando acciones gerenciales.

4.2.- RESULTADOS SIN APLICAR ACCIONES GERENCIALES

La simulación del modelo sin aplicar acciones gerenciales permiten establecer un escenario base con un proyecto desarrollándose “Libremente”. Además, permite observar con facilidad las fuerzas y comportamientos de los parámetros que actúan sobre los proyectos y que no dependen directamente de las decisiones del Gerente de Proyecto.

4.2.1.- Resumen de Resultados de Desempeño

En la Tabla 4.1 se muestran los resultados de los parámetros principales de la simulación del modelo. Durante la simulación del ciclo de vida del proyecto el contenido del nivel *Trabajo por hacer* se transfiere al nivel *Trabajo Listo*. Sin embargo, existe un número de actividades que deben ser repetidas o retrabajadas para poder cumplir con las especificaciones de calidad del proyecto. La identificación de las actividades que deben ser retrabajadas se hace a partir de un nivel que contiene el retrabajo no descubierto o *Retrabajo ND*.

A partir del periodo 39 no hay *Trabajo por hacer* y se dedican *Horas Labor* con una alta *Productividad* a re-ejecutar las actividades que no cumplan con las especificaciones de calidad del proyecto. Entonces, se está dedicando el esfuerzo a enmendar los errores para poder cumplir con las metas del proyecto en costo, tiempo y calidad.

Tabla 4.1 Resumen de resultados

| Tiempo | Trabajo Listo | Retrabajo ND | Trabajo por hacer | Horas Labor | Productividad |
|--------|---------------|--------------|-------------------|-------------|---------------|
| 0 | 0 | 0 | 1,000.00 | 64 | 0.06 |
| 9 | 77.92 | 45.45 | 876.63 | 111.32 | 0.12 |
| 19 | 294.92 | 142.51 | 562.57 | 137.52 | 0.23 |
| 29 | 681.67 | 266.52 | 51.81 | 139.17 | 0.32 |
| 39 | 889.85 | 110.15 | 0 | 148.57 | 0.33 |
| 49 | 959.99 | 40.01 | 0 | 150.98 | 0.34 |
| 59 | 985.47 | 14.53 | 0 | 119.86 | 0.36 |
| 69 | 994.72 | 5.28 | 0 | 98.76 | 0.36 |

A pesar de que estos resultado representa una buena primera aproximación a la simulación del comportamiento dinámico del proyecto, es necesario profundizar en las fuerzas que intervienen en este resultado. En este sentido, el avance físico proporciona la primera alerta de que el proyecto pudiera tener problemas para cumplir con sus metas.

4.2.2.- Avance Físico Percibido

El avance físico del proyecto es un indicador medido a lo largo del ciclo de vida del proyecto y es una medida de la rapidez y del desempeño del equipo de proyectos en la ejecución de las actividades del proyecto. Por tanto, este indicador es clave en la toma de decisiones en proyectos.

Las decisiones tomadas durante la ejecución del proyecto están basadas en la información que puede obtener el Gerente referente al desempeño actual de su proyecto. La exactitud de la información recopilada depende de la complejidad del proyecto, de los sistemas de medición y de que información desea reportar el equipo de trabajo. Por ejemplo, en organizaciones que reprenden a los equipos de trabajo que cometen errores, se suele incrementar la tendencia a ocultar los problemas. Si los

obstáculos o problemas no son identificados, entonces se incrementa el tiempo necesario para descubrir la necesidad de retrabajar y se retrasa la ejecución de acciones correctivas, reforzando la tendencia a ocultar problemas. (Figura 4.1). Por tanto, el retraso del proyecto no se intenta minimizar hasta que se acerca el final del proyecto, cuando es poco lo que puede hacerse. En este escenario, el Gerente del Proyecto tiene una falsa percepción de avance físico, el cual se desvanece dolorosamente cuando llega la fecha de entrega y no se ha culminado el trabajo. Más aun, Gerentes de Proyectos no experimentados, basados en esta percepción, pueden tomar decisiones que retrasan el avance del proyecto e incrementan los costos.

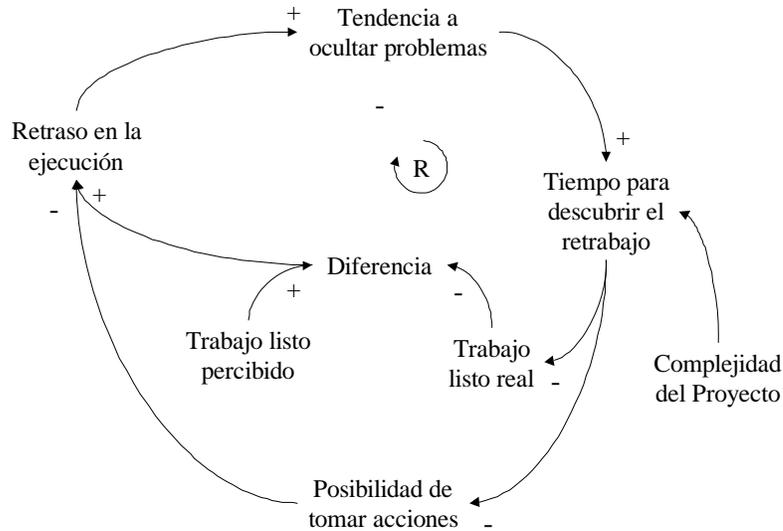


Figura 4.1 Estructura dinámica detrás del avance percibido

En la Figura 4.2 se muestra las curvas de avance físico y avance físico percibido obtenidas de la simulación de un proyecto de construcción. El eje horizontal representa el tiempo medido en semanas y el eje vertical representa el porcentaje de avance físico. La diferencia entre las curvas no parece ser significativa durante el inicio de la ejecución. Sin embargo, esta diferencia crece hasta que se alcanza el 100% de avance percibido y apenas el avance físico real supera el 75%. En este instante es muy difícil corregir el rumbo y la ejecución del proyecto continua hasta finalizar con un 63% de retraso. Es decir, si el proyecto estaba planificado ejecutarse en 10 semanas, la completación real se alcanzará a mediados de la semana 16.

Este resultado evidencia la posibilidad de que la toma de decisiones esté basada en una visión errada de la situación real del proyecto. Además, la Figura 4.2, pone en evidencia la necesidad de invertir esfuerzo en identificar defectos con rapidez y, de esta forma, reducir el tiempo para identificar el retrabajo. El proceso de identificación puede establecerse de manera sistemática y proactiva con el fin de no solo detectar defectos generados sino también defectos potenciales y poder tomar acciones oportunamente. En este sentido, el controlador del proyecto juega un papel esencial en la verificación del avance físico percibido y en la identificación de aspectos críticos que pudieran distorsionar la visión del estado actual del proyecto.

Generalmente, estos aspectos críticos incluyen los problemas relacionados con calidad y los riesgos (positivos o negativos) en la ejecución del proyecto.

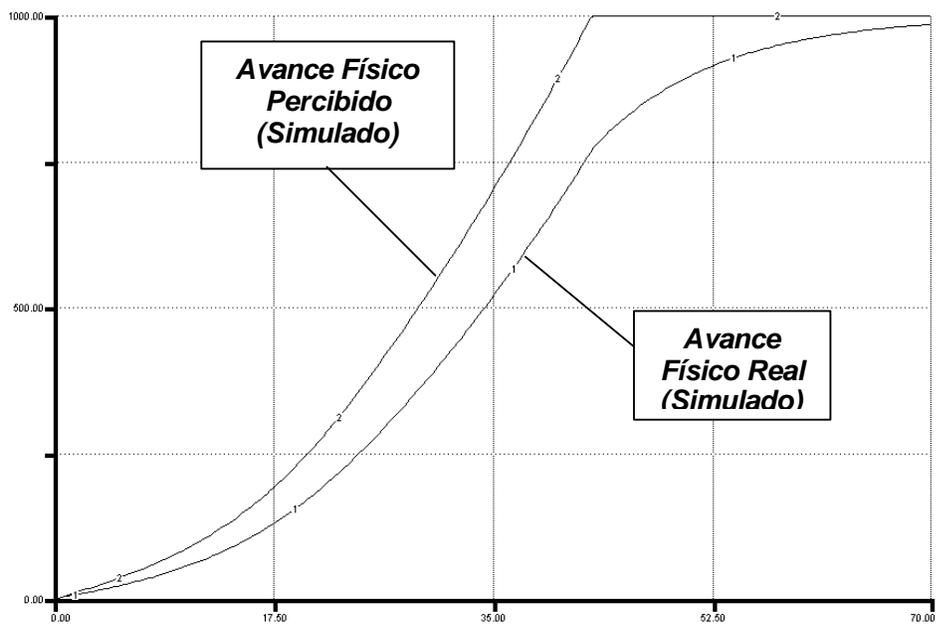


Figura 4.2 Avance físico percibido y avance físico real

4.2.3.- Horas Labor Totales

Al inicio del proyecto, se contrata o se transfiere personal al proyecto para ejecutar las actividades planificadas. Se requerirán más personas a medida que se acometen más actividades simultáneamente. Una vez que las actividades son completadas el recurso necesario es menor que el disponible, entonces se reduce la asignación de recursos al proyecto. Entonces, si las cosas ocurren como se ha planificado el tamaño del equipo crece suavemente hasta un pico y luego disminuye suavemente hasta la completación del proyecto. Pero: ¿Qué pasa si se requiere retrabajar algunas actividades para corregir errores y lograr que el proyecto cumpla con los requerimientos del cliente?

En la Figura 4.3 se muestran las horas consumidas en cada periodo durante el desarrollo del proyecto. El gráfico tiene dos picos importantes. El primero está relacionado con el máximo nivel de ejecución de las actividades de acuerdo con lo planificado, pero el segundo no estaba contemplado en el plan. El segundo pico se refiere a las horas invertidas en retrabajar algunas actividades, las cuales pueden representar un sobrecosto en el proyecto. Las horas adicionales requeridas para retrabajar pueden tomarse del esfuerzo adicional del equipo de proyectos actual o pueden resultar de la incorporación de nuevo personal. Estas acciones y sus efectos serán tratados con detalle en los apartados 4.3.1 y 4.3.2

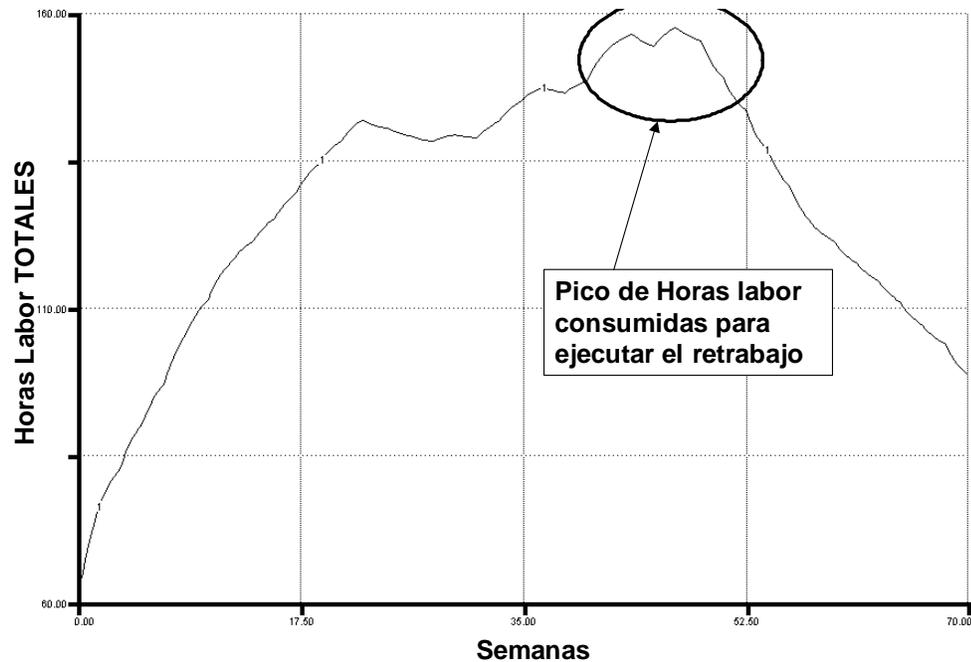


Figura 4.3 Histograma de horas labor totales

4.2.4.- Productividad

En el proceso de toma de decisión en proyectos puede requerirse comprender como se comporta la productividad durante el ciclo de vida del proyecto antes de tomar acciones para incrementarla. Desde una perspectiva operacional, la productividad se refiere a la cantidad de trabajo (actividades completadas) que puede obtenerse de un equipo de proyectos durante un período de tiempo y bajo unas condiciones determinadas. En la Figura 4.4 se presenta los resultados de productividad obtenida de la simulación. La productividad del equipo de trabajo crece durante la primera mitad del desarrollo del proyecto. Inicialmente crece lentamente mientras se definen aspectos de organización, integración y coordinación del equipo de proyecto. Sin embargo, las limitaciones en el conocimiento y las destrezas del propio equipo de trabajo y las limitaciones impuestas por la naturaleza y complejidad de las actividades del proyecto producen una barrera en el crecimiento de la productividad. Entonces, la productividad del equipo se mantiene relativamente constante hasta el final del proyecto.

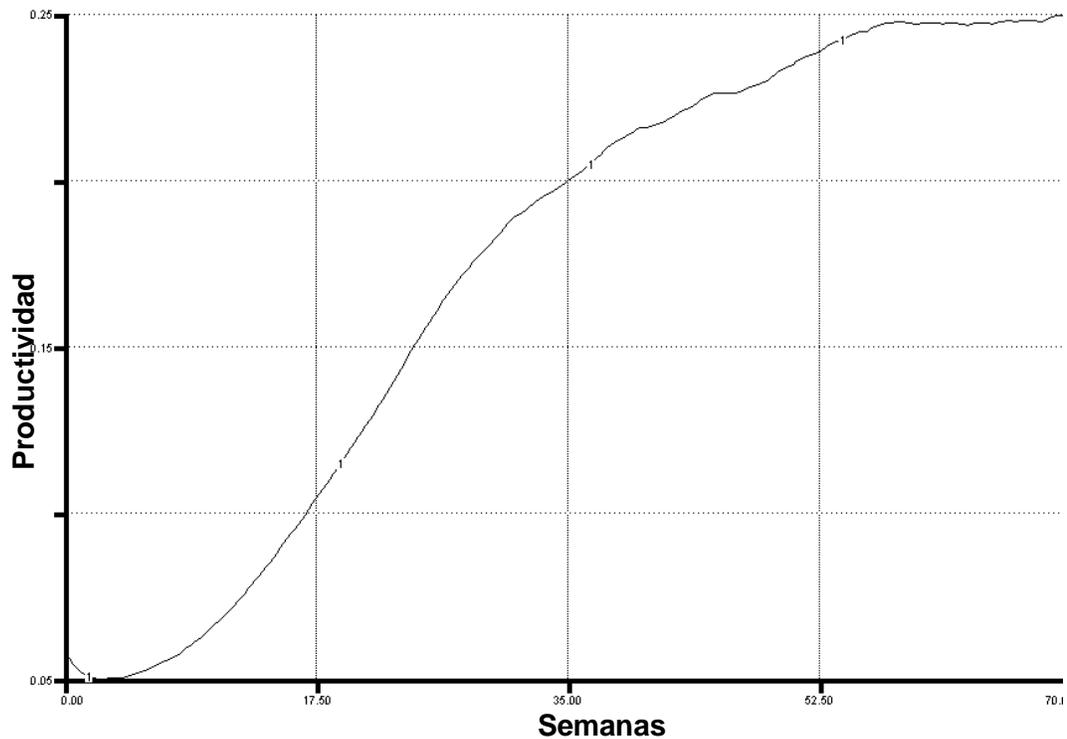


Figura 4.4 Comportamiento de la productividad durante la vida del proyecto

4.2.5.- Aprendizaje del Equipo

Durante el ciclo de vida del proyecto el aprendizaje muestra un comportamiento de crecimiento y colapso. Al inicio del proyecto, la tasa de ejecución correcta de actividades crece en la medida en que es posible desarrollar más actividades en paralelo, mientras que la tasa de descubrimiento se mantiene pequeña en comparación con la tasa de ejecución correcta de actividades. Por otro lado, el retrabajo no descubierto crece y, luego de pasar el 50% del tiempo del proyecto, la tasa de descubrimiento sin poder compensar la disminución en la tasa de ejecución correcta de actividades (Figura 4.5).

En términos generales, el grupo de principiantes logra mayores tasas de adquisición de conocimiento o aprendizaje, debido a dos aspectos clave:

- ✓ Existen más aspectos nuevos por aprender
- ✓ No existe el temor por equivocarse y por tanto están más dispuestos a intentar nuevos enfoques en el trabajo.

Estas diferencias de aprendizaje entre principiantes y expertos se reflejan también en la experiencia ganada durante el proyecto.

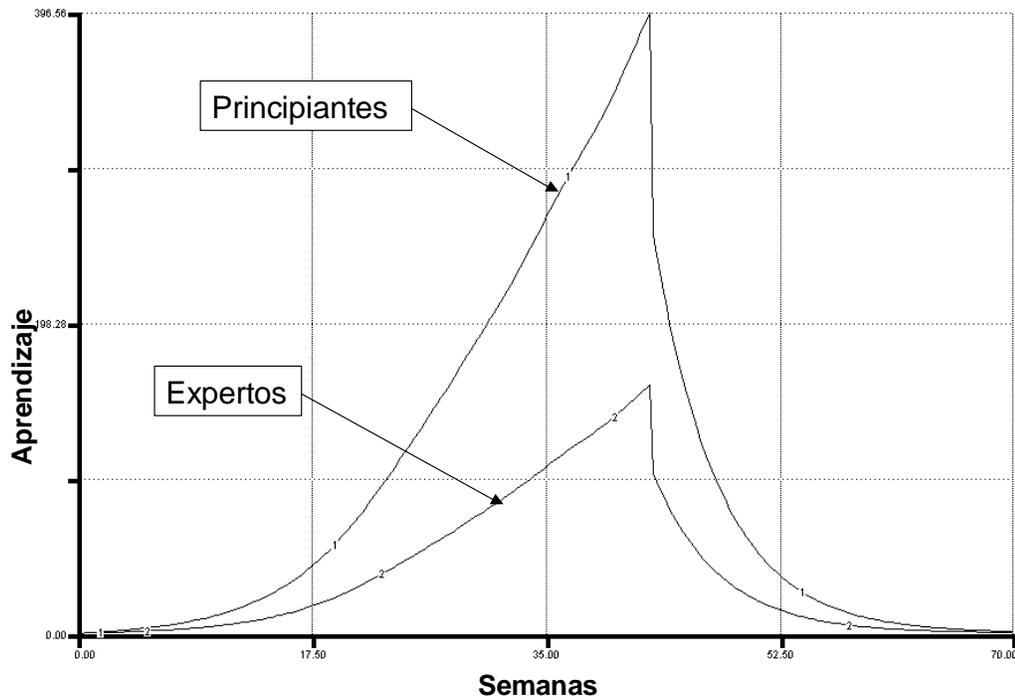


Figura 4.5 Comportamiento del aprendizaje durante la ejecución del proyecto

4.2.2.- Nivel de Experiencia

En la Figura 4.6 se presenta el nivel de experiencia acumulada o conocimiento adquirido durante el desarrollo del proyecto. El grupo de principiantes recopila dos veces más conocimiento que el grupo de expertos. El conocimiento recopilado es un importante activo y es un factor de éxito en el desarrollo de los proyectos futuros, si se registra en la memoria de la organización que realiza proyectos. Este conocimiento y experiencia acumulada por los miembros principiantes del proyecto. Además, el modelo permite el ascenso de principiantes hasta el nivel de expertos. En este sentido, la experiencia ganada por el grupo de principiantes contribuye a la formación del modelo mental del comportamiento de los proyectos y abre la posibilidad de que parte del grupo de principiantes pueda ser promovido a experto.

Por otro lado, el grupo de expertos posee un nivel de experiencia muy valioso, sin embargo si se considera que el entorno de los proyectos es muy cambiante y turbulento, la experiencia puede representar una barrera en el aprendizaje. Esto ocurre porque la experiencia puede impulsar a los expertos a afianzarse en sus antiguos paradigmas, los cuales no siempre son válidos en el entorno actual. Por tanto, un factor crítico de éxito es la capacidad de adaptarse a los cambios a través de la revisión permanente de los paradigmas y del aprendizaje continuo.

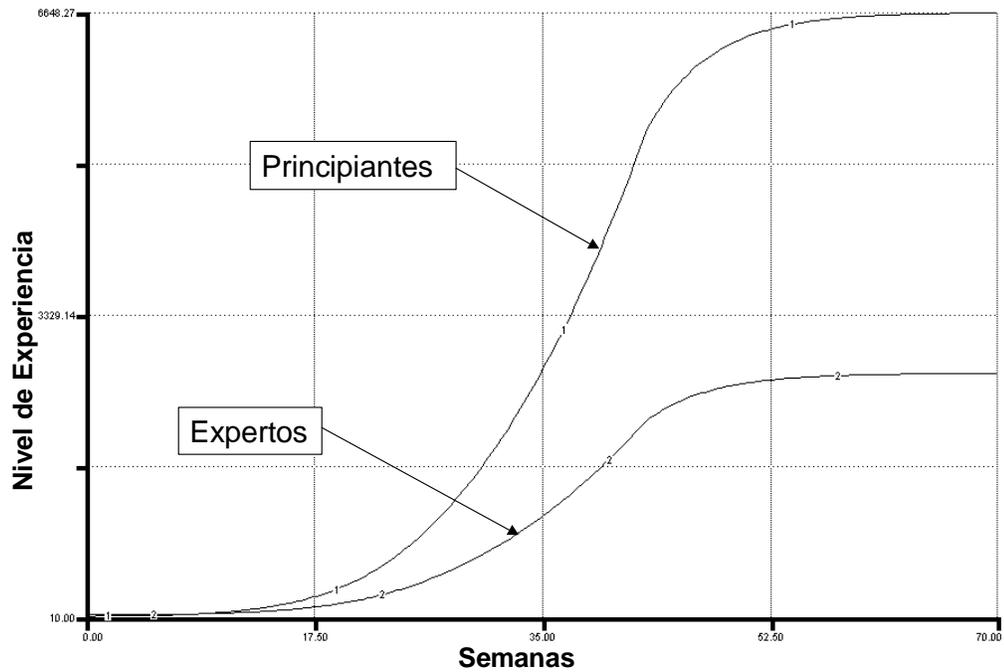


Figura 4.6 Experiencia adquirida durante el proyecto

4.3- RESULTADOS APLICANDO ACCIONES GERENCIALES

Cuando el ambiente externo actúa inesperadamente o las premisas del proyecto cambian, la gerencia del proyecto tendrá que tomar decisiones como respuestas para evitar las desviaciones en el logro de las metas del proyecto. El efecto global sobre el proyecto proviene de la combinación de las condiciones externas y de las respuestas gerenciales. Esto implica que en los modelos es necesario incluir el flujo de información externa que incluya retrasos e interrupciones para comprender realmente el comportamiento de los proyectos.

La idea es incluir las acciones gerenciales en el modelo para evaluar su efectividad antes de implantarlas y por tanto tener una mejor comprensión del comportamiento del proyecto antes de intervenirlo con decisiones gerenciales. En este sentido, es importante tomar las decisiones gerenciales lo más pronto posible ya que la efectividad de estas soluciones disminuye a medida que se ejecuta el proyecto.

A continuación se muestran los resultados comparativos considerando las acciones gerenciales descritas en el apartado 2.5.4

4.3.1.- Efecto del Incremento en la Cantidad de Personas

Generalmente la primera opción para acelerar la ejecución y mejorar el desempeño sea incorporar mas personas que las originalmente planificadas. Sin embargo, existe un conjunto de efectos secundarios que pueden tener un impacto negativo en el proyecto:

- ✓ Se incrementa la complejidad del proyecto, ya que, se agregan nuevos enlaces de comunicación, elevándose la probabilidad de producirse conflictos y requiriéndose mayor esfuerzo de coordinación y liderazgo.
- ✓ Puede llegar a producirse disminución en la productividad en el equipo por la interferencia entre sus miembros.
- ✓ Es posible que la duración de algunas de las actividades de la ruta crítica no puedan reducirse como resultado de agregar más personal.
- ✓ Se incrementan los costos de labor no solo en nómina sino también en el pago de otros beneficios muchas veces no incluidos dentro del presupuesto del proyecto.
- ✓ Se requiere de un cierto tiempo para incorporar al nuevo personal y un tiempo adicional para que el nuevo personal pueda alcanzar la productividad que se espera de ellos. En muchas ocasiones no se dispone del tiempo y los recursos necesarios.

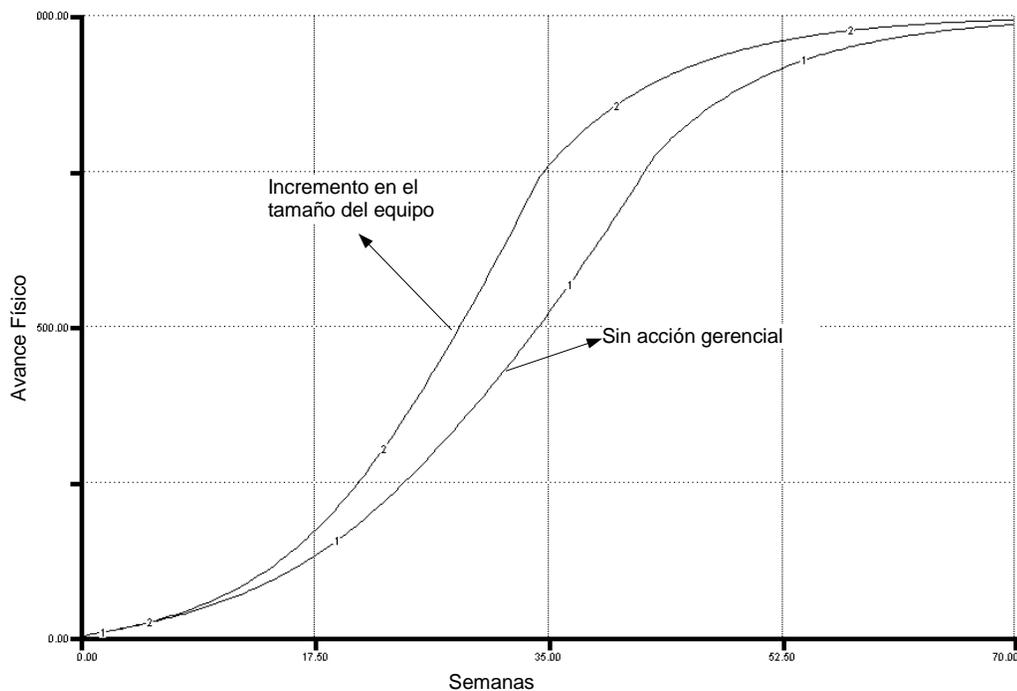


Figura 4.7 Cambios en la ejecución ocasionada por el incremento del equipo

En la Figura 4.7 se muestra el cambio en la curva de progreso físico del proyecto como resultado del aumento del tamaño del equipo. Al principio parece surtir efecto, sin embargo, a medida que se ejecuta el proyecto los efectos secundarios mencionados crecen, disminuyendo el desempeño del proyecto. La reducción en el tiempo de ejecución del proyecto es nula y, por otro lado, los costos se incrementaron considerablemente.

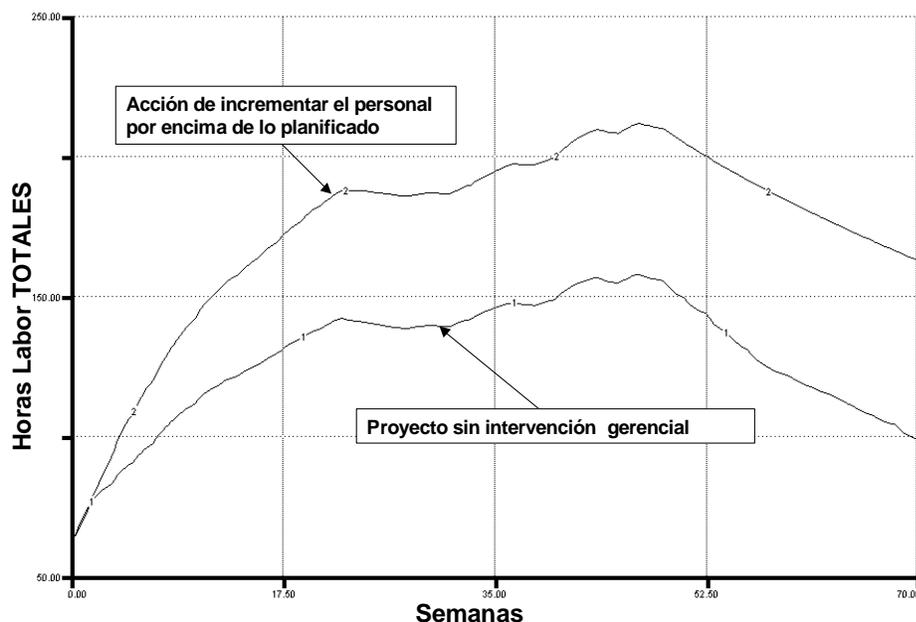


Figura 4.8 Efecto del aumento del tamaño del equipo sobre las horas labor

En las Figura 4.8 se presenta el histograma de horas labor que se genera como consecuencia de agregar mas personas al equipo de trabajo. El número de personas adicionales en el equipo puede variar dependiendo del estimado de completación del proyecto, el tiempo disponible y la percepción del Gerente o Líder acerca del estado del proyecto.

Como los resultados de las Figuras 4.7 y 4.8 se refieren al mismo proyecto es posible establecer un indicador de beneficio costo y observar como éste se comporta durante la ejecución del proyecto. Con tan solo tomar tres puntos representativos de las curvas se observa, en la Tabla 4.2, como el resultado del indicador beneficio/costo pareciera nunca llegar a ser mayor que 1 y por tanto se está obteniendo menos beneficio de los recursos que se invierten.

Tabla 4.2 Variación del indicador con el desarrollo del proyecto

| | | | |
|---|------------|-------------|-------------|
| Porcentaje de la duración del proyecto | 25% | 50% | 75% |
| Variación en el Progreso físico | 10% | 47% | 11% |
| Variación en las horas labor consumidas | 20% | 51% | 30% |
| Indicador beneficio/costo | 0,5 | 0,92 | 0,37 |

4.3.2.- Efecto de Incrementar el Esfuerzo

Incrementar el esfuerzo significa que el Gerente o Líder del proyecto solicita a los miembros de su equipo un esfuerzo adicional de minimizar el tiempo ocioso y trabajar horas extra. Sin embargo, si se mantiene este ritmo de trabajo es posible que se incremente las pérdidas en la productividad del equipo.

El efecto sobre el desempeño del proyecto como consecuencia de incrementar el esfuerzo se visualiza en la Figura 4.9. Se comparan las curvas de avance físico para el caso base (Cada persona trabaja 5 días a la semana y 8 horas por día) y para un incremento del 20% mas horas por día, continuamente durante el desarrollo del proyecto. Durante el primer cuarto del tiempo del proyecto se obtienen 6 puntos porcentuales más de avance que cuando solo se trabajan 8 horas por día. Para la mitad del tiempo de proyecto se logran 24 puntos porcentuales mas de avance que el caso base. Sin embargo, si se mantiene el sobretiempo más allá de la mitad de tiempo del proyecto, la productividad del equipo de trabajo comienza a decrecer y el avance ganado por encima de la curva sin sobretiempo comienza a reducirse. La productividad disminuye como consecuencia del agotamiento del equipo de trabajo.

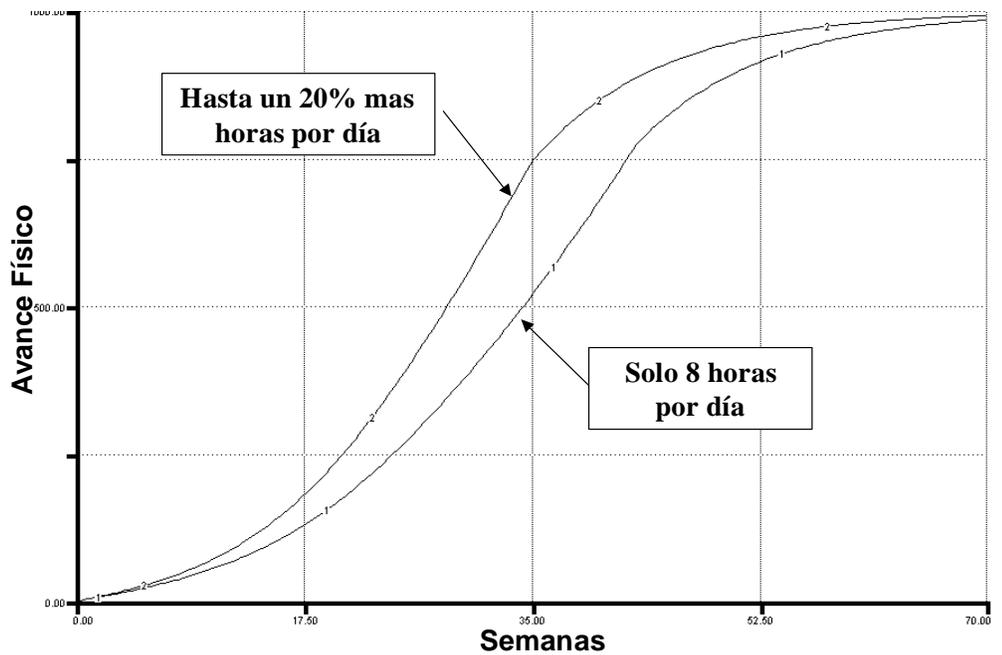


Figura 4.9 Efecto del aumento del esfuerzo sobre el desempeño del proyecto

4.3.3.- Efecto de la presión del cronograma

La presión del cronograma proporciona al Gerente de Proyecto un apoyo para motivar al logro al equipo de trabajo e impulsarlo a trabajar más rápido. En la Figura 4.10 se muestra el efecto de la presión del cronograma sobre la evolución del avance físico durante el ciclo de vida del proyecto. En la primera mitad del desarrollo del proyecto se evidencia un notable incremento en el desempeño como resultado de la

presión de la proximidad de la fecha de finalización del proyecto. Si el Gerente del Proyecto no actúa sobre el equipo de proyectos, la percepción lejana de la fecha de finalización del proyecto ocasiona que el equipo de proyecto tienda a trabajar de manera distendida y sin la sensación de celeridad.

En la segunda mitad del desarrollo del proyecto, El apresuramiento inducido por la presión del cronograma incrementa la tasa de generación de errores y la necesidad del retrabajo. A pesar de que la presión del cronograma es muy intensa la productividad del equipo decae. Sin embargo, y de acuerdo con la Figura 4.10, es posible acortar el tiempo de ejecución del proyecto en 12%. Este resultado muestra la importancia del efecto del Gerente del Proyecto en el desempeño del equipo de trabajo.

Cuando el proyecto en estudio forma parte de una cartera de proyecto, los proyectos compiten por apoyo gerencial y por el interés del líder o Gerente del Proyecto. En estos casos al final del proyecto la presión del cronograma podría disminuir y el proyecto posiblemente se retrase.

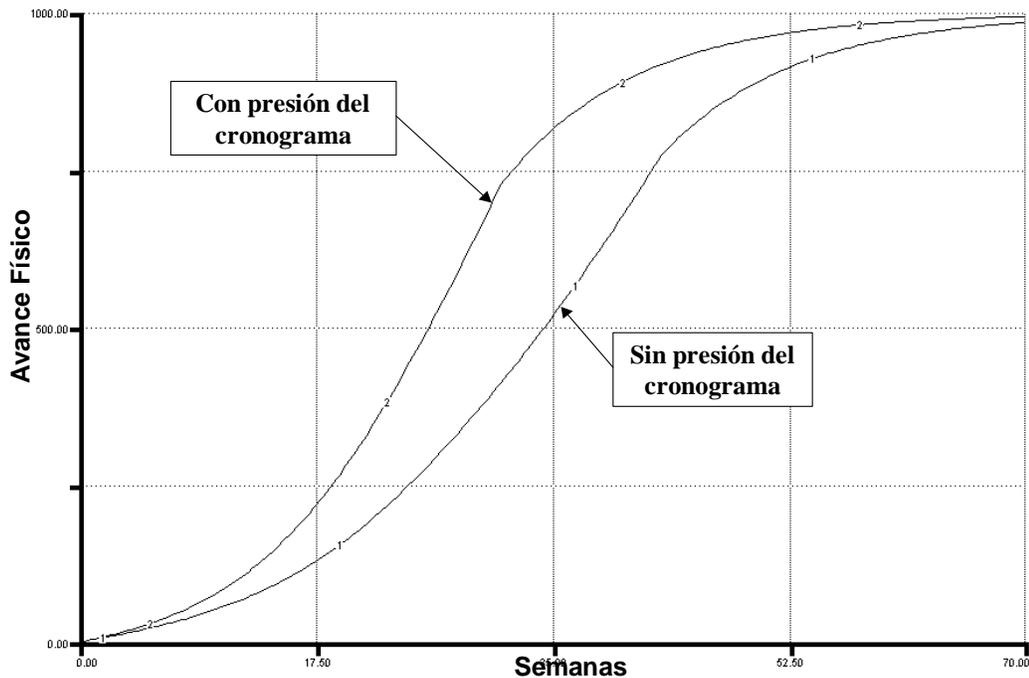


Figura 4.10 Efecto de la presión del cronograma

Por otro lado, cuando el Gerente del Proyecto ejerce presión en el equipo de trabajo para acelerar la ejecución de las actividades, como consecuencia de la proximidad de la fecha de finalización, el equipo de trabajo suele cometer más errores. Es decir, la presión del cronograma incrementa la tasa de generación de errores y más actividades deben ser retrabajadas. Como una consecuencia, las horas labor requeridas para completar el proyecto pueden incrementarse hasta 51%, de acuerdo con la simulación.

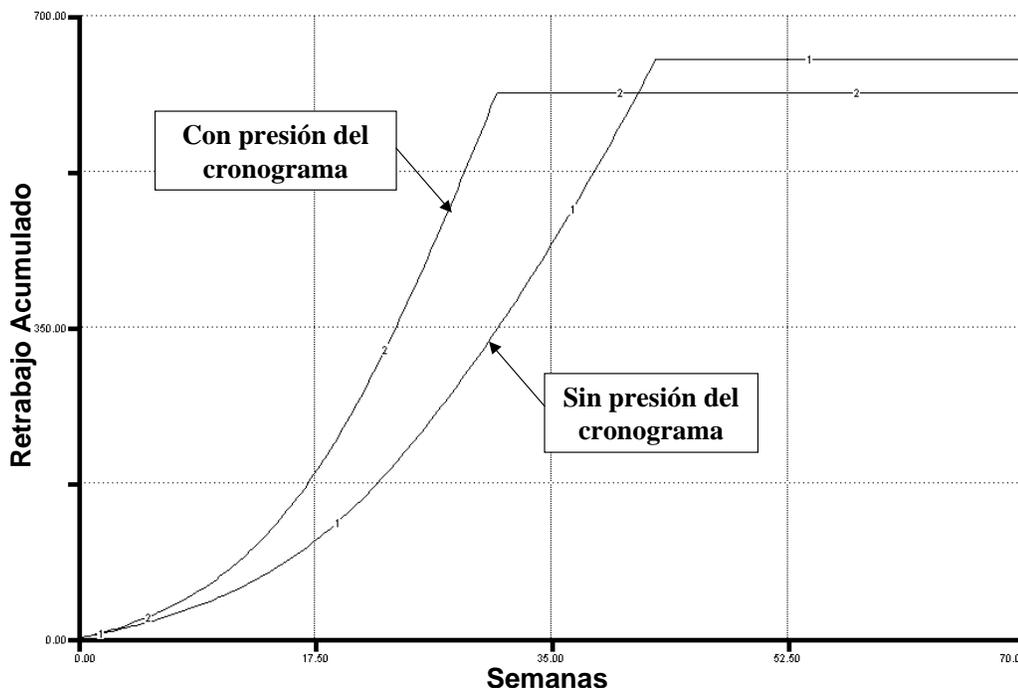


Figura 4.11 Efecto de la presión del cronograma en el retrabajo

En la Figura 4.11, se presenta curvas de retrabajo acumulado. La cantidad de tareas a ser retrabajadas aumenta más rápido cuando se ejerce presión en el equipo de trabajo que cuando no se toman acciones. Al comparar las curvas resultantes de la acción gerencial en las Figuras 4.10 y 4.11 se evidencia que el avance logrado después del 44% del tiempo del ciclo de vida del proyecto se debe en un 100% a la modificación de las tareas ejecutadas con defecto para que puedan cumplir con las especificaciones de calidad. En la curva de retrabajo acumulado sin acción gerencial la tasa de generación de errores permanece constante sin embargo, es posible que más tareas deban ser retrabajadas más de una vez. Entonces el retrabajo total acumulado llega a ser menor bajo esta acción gerencial que sin tomar acción.

La presión del cronograma tiene un efecto directo en el incremento de la productividad. Entendiéndose la productividad como cantidad de tareas ejecutadas por unidad de tiempo por equipo de trabajo. En la Figura 4.12 se muestra las curvas de productividad para el caso sin acción gerencial (Productividad normal) y para el caso aplicar la presión del cronograma en el equipo de trabajo. Sin embargo, la posibilidad de generar un incremento de productividad por efecto de la presión del cronograma depende en gran medida de la capacidad de los miembros del equipo de proyectos para trabajar bajo presión.

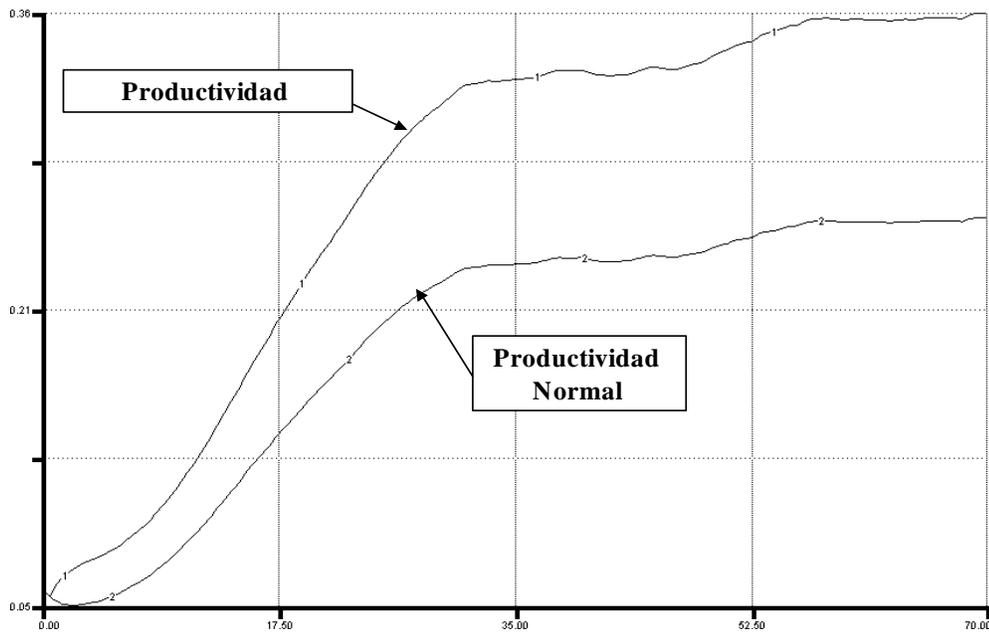


Figura 4.12 Efecto de la presión del cronograma en la productividad

4.3.4.- Efecto del Aprendizaje sobre la Productividad

Con la ejecución inicial de las actividades se adquieren conocimientos y habilidades durante la ejecución y esto influye en la productividad, particularmente si existen un grupo de tareas que son muy similares y se desarrollan secuencialmente. Por ejemplo, al elaborar un documento continuamente se está modificando el contenido y el ejecutor cada vez logra más familiaridad con el documento y adquiere destreza en su manejo. Además, si existe algún otro documento de similares características que deba ser elaborado, el ejecutor tendrá más rapidez de ejecución y revisión.

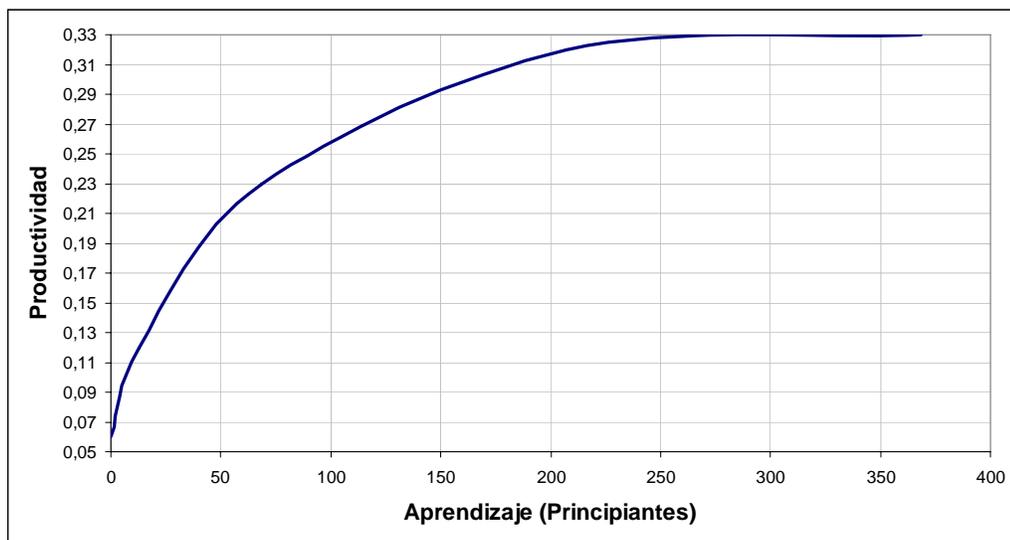


Figura 4.13 Relación entre aprendizaje y productividad

4.3.4.- Relación entre el Retrabajo y el Aprendizaje

Al planificar un proyecto, el retrabajo no es deseable. Por esto, se busca definir al máximo las partes o componentes principales del alcance de un proyecto. Sin embargo, rehacer algunas actividades permite a los miembros del equipo adquirir lecciones e información valiosa (de manera a veces dolorosa), que de otra forma pasarían por alto. En la Figura 4.14, se muestra el comportamiento en el tiempo del retrabajo, y del aprendizaje (principiante y experto). El aprendizaje tiene un comportamiento similar al retrabajo pero desfasado un 10% en tiempo con respecto a éste. El retraso del aprendizaje con respecto al retrabajo se presenta tanto en el crecimiento como en la disminución del retrabajo. Entonces, es posible impulsar el aprendizaje a partir de los errores que generan retrabajo, y capitalizarlo en el próximo proyecto o actividad similar.

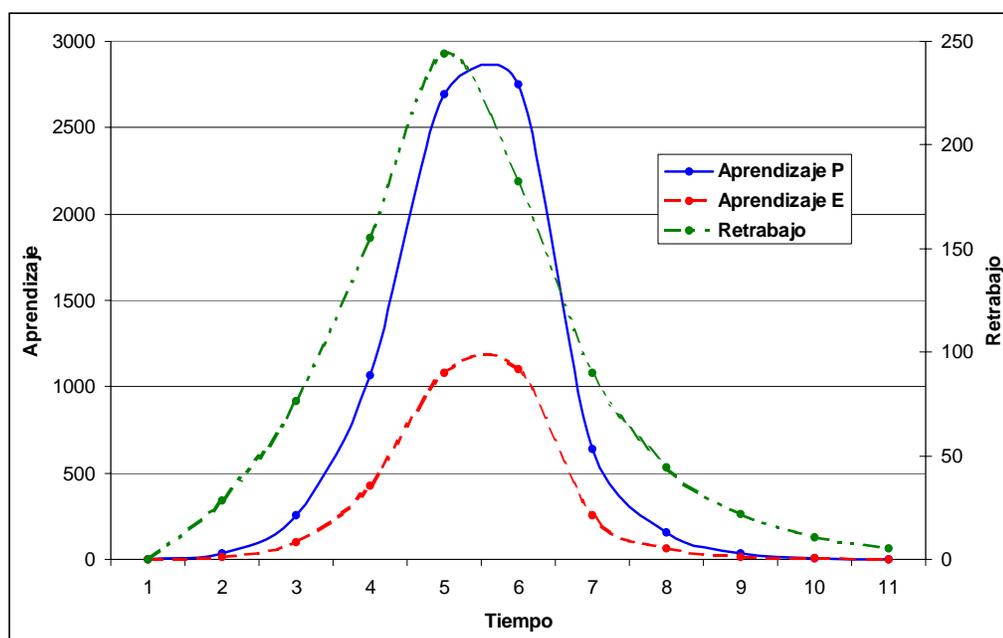


Figura 4.14 Relación entre aprendizaje y el retrabajo

4.4.- RESUMEN DE LOS RESULTADOS

De acuerdo con la estructura del modelo hay al menos 5 aspectos o parámetros principales que el Gerente de Proyectos puede controlar o influir directamente para lograr que el proyecto alcance sus metas en costo, tiempo y calidad. En la Tabla 4.3 se muestran variaciones para estos cinco parámetros y sus efectos sobre el proyecto, siempre y cuando la variación del parámetro se mantenga durante la vida del proyecto. Los efectos se midieron a la mitad del tiempo (50%) y al final (100%) del proyecto. En la columna Variación del Avance Físico, los efectos son medidos en puntos porcentuales (P%).

Tabla 4.3 Resumen de las iniciativas vs. los efectos sobre el proyecto

| PARÁMETROS | | VARIACIÓN DEL PARÁMETRO | | EFECTO SOBRE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO | | | |
|------------------------------------|---|-------------------------|-------|--|-------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| | | | | AL 50% DEL TIEMPO | | AL 100% DEL TIEMPO | |
| DESCRIPCIÓN | UNIDADES | DESDE | HASTA | VARIACIÓN DEL AVANCE FÍSICO | VARIACIÓN DEL RETRABAJO | VARIACIÓN DEL TIEMPO DE EJECUCIÓN | VARIACIÓN DEL RETRABAJO |
| Tamaño del equipo | Cantidad de personas por perfil | 10 | 15 | 25 P% | 49% | -5% | 39% |
| Nivel de esfuerzo | Horas-Labor/ Día | 8 | 10 | 22 P% | 30% | -6% | 15% |
| Tiempo para descubrir el retrabajo | Períodos (tomando como referencia un total de 7 períodos) | 1 | 0,2 | 10 P% | 0 | -29% | 0 |
| Tasa de Generación de errores | Porcentaje | 90% | 20% | 15 P% | -22% | 0 | -22% |
| Presión del cronograma | Tareas ejecutadas/Periodo | 10 | 14 | 27 P% | 25% | -12% | 0 |

Las estrategias o acciones para incrementar el desempeño pueden estar orientadas principalmente a modificar uno o más de los parámetros de la Tabla 4.3. Un acción o secuencia de acciones es efectiva en el mejoramiento del desempeño del proyecto cuando se elige una combinación de parámetros que permiten potenciar los beneficios (medidos en aceleración de actividades y/o disminución de costos sin afectar la calidad) reduciendo los efectos secundarios negativos (tales como pérdidas de productividad, alta rotación de personal o incremento en la complejidad del proyecto).

La definición de las estrategias para incrementar el desempeño no es única sino que dependerá de los parámetros internos y externos del entorno del proyecto, donde generalmente el Gerente de Proyectos no tiene influencia directa. Por tanto, los parámetros de la Tabla 4.3 y los parámetros internos del modelo pueden variar en la realidad de los proyectos como consecuencia no solo por las estrategias intencionadas del Gerente del Proyecto sino también por efecto de estrategias emergentes, iniciativas de la alta gerencia o por la ocurrencia de riesgos en el proyecto. El análisis de las causas que afectan a estos parámetros y a la implantación de las estrategias pueden ser los puntos de partida para la identificación, clasificación y selección de los parámetros del modelo

4.5.- INTEGRACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LA PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

Como se mostró en los resultados, el aprendizaje a partir de la ejecución de proyectos permite impulsar el mejoramiento continuo en el desempeño del equipo de proyectos en la ejecución de las tareas. El gráfico de la Figura 4.15 muestra la interacción entre los procesos de la Gerencia de Proyectos basada en el ciclo PLANIFICAR – EJECUTAR – REVISAR – ACTUAR, el cual se repite durante el ciclo de vida del proyecto. Este ciclo permite controlar y corregir el rumbo del proyecto bajo un esquema sistemático de ensayo y error. Una explicación detallada de este ciclo puede ser encontrada en PMBOK tercera edición (2004).

Durante el desarrollo de este ciclo es posible controlar y hacer seguimiento al desempeño del proyecto a través de los indicadores evaluados en este estudio. En la

Figura 4.16 se muestra la unión de la Figura 4.15 y 1.3 de tal manera que la gestión del desempeño se integra a la gestión del proyecto.

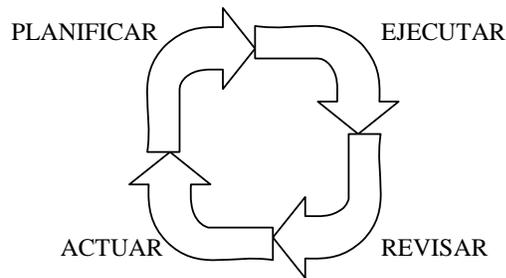


Figura 4.15 Procesos de la Gerencia de Proyectos (PMBOK, 2004)

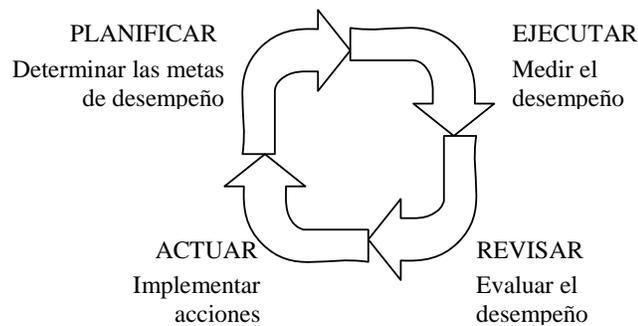


Figura 4.16 Procesos de la Gerencia de Proyectos con la superposición de la Figura 1.3

Sin embargo, el aprendizaje a partir de la ejecución de proyectos necesita de una cuantiosa inversión en recursos y tiempo, para generar un incremento en el desempeño que sea repetible en todos los proyectos. Por otro lado, las condiciones pasadas del entorno de ejecución de los proyectos pueden cambiar, por tanto, las lecciones aprendidas en el pasado no siempre serán aplicables en el futuro.

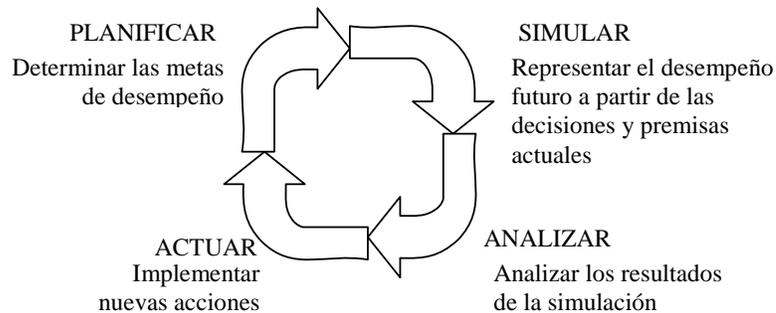


Figura 4.17 Aceleración del ciclo a través del modelo de simulación propuesto

De acuerdo con los resultados, el modelo de simulación presentado puede acelerar el ciclo de aprendizaje, permitiendo la evaluación de diversas estrategias en un ambiente libre de riesgos antes de ponerlas en práctica. El modelo dinámico propuesto permite la evaluación del impacto de los riesgos y las alternativas de decisión (Figura 4.17). Con esto se eleva la probabilidad de tomar decisiones acertadas, de acuerdo con las condiciones del entorno. Además, la información generada a partir del análisis de la simulación permite cuestionar la validez de las premisas de planificación y reforzar el plan de ejecución del proyecto y el plan de respuesta al riesgo.

Una vez analizado y comprendido el proceso general dentro de la visión sistémica del desempeño en los proyectos, es conveniente establecer con detalle los intercambios de información (datos y resultados) con el modelo. En este sentido, la Figura 4.16 muestra un diagrama de relación entre los principales participantes de un proyecto. El Planificador elabora un cronograma de ejecución a partir de la información histórica y con la ayuda del líder del proyecto, esto permite lograr la integración de la estrategia del proyecto con la estrategia de la oficina de proyecto y con la visión corporativa de la cartera de proyectos. El cronograma permite elaborar las curvas s planificadas que representan el comportamiento estático del proyecto. Estos diagramas y gráficos son entregados al modelador para calibrar y ajustar un modelo estándar (como el aquí propuesto). De la validación pueden desprenderse ajustes a la planificación original. Una vez que se han validado los resultados del modelo, se inicia el proceso de ensayar estrategias de ejecución y aceleración de proyectos (generalmente propuestas por el líder), a través de análisis “Que pasaría si”. Los resultados de la simulación pueden llegar a modificar el planteamiento estratégico del proyecto, ya que estos resultados pueden aportar valiosa información a la hora de decidir el rumbo estratégico del proyecto. Finalmente, todos estos resultados contribuyen a lograr una planificación más robusta y que incrementará las posibilidades de éxito del proyecto.

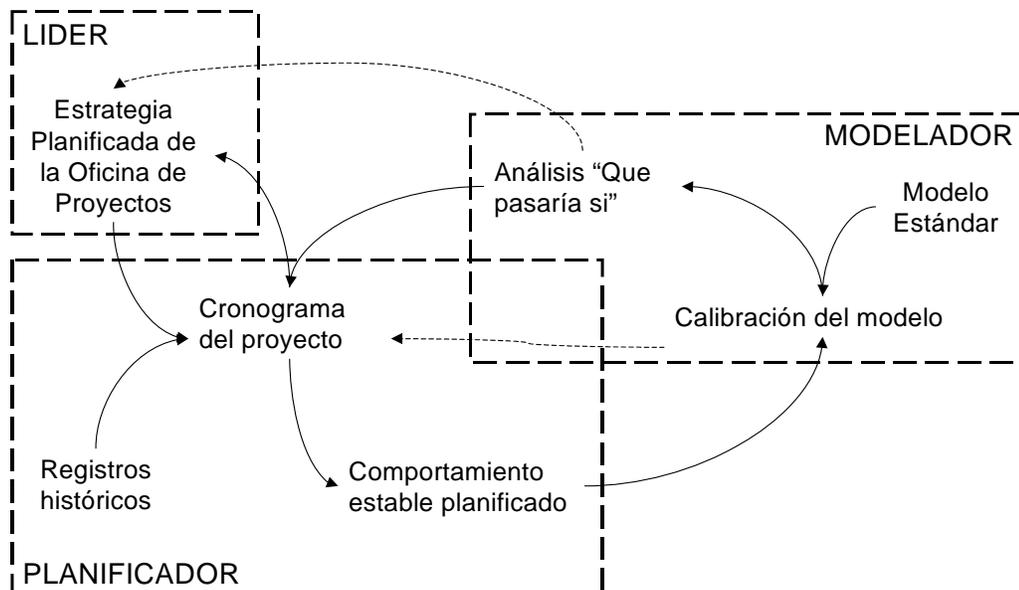


Figura 4.18 Interacción del modelo dinámico con el proyecto.

4.6.- RESUMEN DEL CAPÍTULO

En este último capítulo se presentaron los resultados del análisis “Que pasaría si” a través del modelo de simulación descrito en el Capítulo 2 y validado en el Capítulo 3. Los resultados clasificaron en dos renglones: Resultados sin aplicar acción gerencial y Resultados aplicando acciones gerenciales. Este esquema permitió medir el efecto de las principales acciones que el Gerente de Proyectos puede aplicar a un proyecto y alertar acerca de los efectos secundarios negativos y no esperados.

Por otro lado, los resultados son de utilidad durante el proceso de planificación estratégica del proyecto y puede contribuir a estructurar un plan de ejecución más robusto que el logrado con solo herramientas tradicionales de planificación. El mensaje es lograr la integración de la simulación dinámica de proyectos con las herramientas tradicionales con el fin de incrementar el desempeño en las fases de definición y desarrollo de proyectos de construcción. Las conclusiones preliminares obtenidas a partir de estos resultados pudieran extrapolarse a otras fases del proyecto y a otros tipos de proyectos, ya que la estructura del modelo parece permitirlo

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

El desempeño en costo y tiempo de los proyectos de construcción es regido por procesos dinámicos de realimentación, los cuales deben ser adecuadamente gerenciados para lograr el éxito del proyecto. Estos procesos incluyen el ciclo del retrabajo, cambios en la productividad y aprendizaje el equipo de trabajo. La gerencia de un proyecto de construcción debe comprender como se relacionan estos procesos con el fin de establecer e implantar acciones efectivas que incrementen el desempeño del proyecto.

Las acciones o estrategias para incrementar el desempeño pueden estar orientadas principalmente a modificar uno o más de los parámetros incluidos en el desarrollo del proyecto. Una acción o secuencia de acciones es efectiva en el mejoramiento del desempeño del proyecto cuando se elige una combinación de parámetros que permiten potenciar los beneficios (medidos en aceleración de actividades y/o disminución de costos sin afectar la calidad) reduciendo los efectos secundarios negativos. La definición de la mejor estrategia no es única sino que dependerá de los parámetros internos y externos del entorno del proyecto.

Las estrategias de ejecución que pueden incrementar el desempeño del proyecto se caracterizan por reducir el retrabajo en la ejecución de las actividades del proyecto de construcción. El retrabajo en el proyecto puede ser minimizado a través de la reducción de la fracción de generación de errores y del tiempo para descubrir el retrabajo. En este sentido se proponen las siguientes buenas prácticas para reducir el retrabajo:

- Contar con un equipo orientado al logro y capaz de trabajar bajo presión. Esto permite que el equipo pueda tolerar la presión del cronograma y pueda resolver los

problemas y re trabajar sin generar errores adicionales que puedan conllevar a un re trabajo mayor que el inicialmente identificado.

- Evitar el uso de sobretiempo de manera continua, ya que, esto debilita al equipo de trabajo y ocasiona pérdidas considerables de productividad, provocando sobrecostos y re trabajo.
- Finalizar cada fase de trabajo con el esfuerzo concertado del equipo de trabajo en identificar la o las partes que requieren re trabajo. Esto debe hacerse sin buscar castigar al culpable, sino más bien, en un ambiente proactivo de búsqueda de soluciones. Con esto, se puede reducir el tiempo para descubrir la necesidad de re trabajar.
- Ejecutar el proyecto con una secuencia óptima de actividades. La estrategia de ejecución debe definir muy bien la manera en que se ejecutarán las actividades, estableciendo las precedencias mínimas necesarias para el correcto desarrollo del proyecto. Cuando se aplican estrategias improvisadas de solapamiento sin comprender las consecuencias sistémicas del proyecto, se eleva el riesgo de rehacer las actividades y el desempeño cae drásticamente.

Este trabajo aporta valor al identificar, analizar y cuantificar el efecto del aprendizaje en el desempeño en costo y tiempo de los proyectos de construcción. El aprendizaje del equipo de proyectos es un elemento esencial en el incremento de la productividad y en la reducción de la fracción de generación de errores. En este sentido, se identificaron un conjunto de estrategias que pueden impulsar el aprendizaje:

- Generar un equipo de proyectos orientado a la búsqueda de mejoras en el desempeño y donde fluya la comunicación.
- Lograr que el equipo de proyectos esté atento durante la ejecución del re trabajo, con el fin de pueda captar lecciones valiosas para futuros proyecto o actividades similares
- Implantar un sistema de recopilación de lecciones aprendidas que permita identificar y analizar aciertos y errores cometidos, sin reprender a los miembros del equipo. Esto permitirá capturar la experiencia de una forma objetiva y respaldarla en una base de datos de proyectos, que permita por un lado llevar estadísticas de proyectos y por otro poner a la disposición de cualquier miembro del equipo la experiencia de toda la organización en la ejecución de sus proyectos.
- Contar con un modelo dinámico de proyectos que permita a los líderes de proyectos ensayar nuevas estrategias de ejecución en un entorno libre de riesgos. Los líderes de proyectos pueden ganar experiencia a partir de los resultados de la simulación, tomar mejores decisiones y probar nuevas soluciones.

La simulación de proyectos usando diferentes estrategias de ejecución y bajo diversos escenarios permite probar la efectividad de las decisiones orientadas a incrementar el desempeño en la ejecución del proyecto antes de implantarlas. El modelo propuesto incorpora los principales procesos dinámicos de realimentación relaciones causa y efecto cíclicas, y relaciones no lineales. Por otro lado, la comparación de las características del modelo y sus resultados con una base de datos de proyectos reales proporciona confianza en la capacidad del modelo para predecir el comportamiento dinámico de los proyectos de construcción.

Para lograr los máximos beneficios de la simulación de un modelo de SD, se debe incluir al modelo como herramienta para la gerencia de la integración del proyecto, sirviendo de apoyo en la construcción de una visión global del proyecto. Además, este modelo puede complementar a las herramientas de planificación tradicional, tales como el método de la cadena crítica, con el fin de robustecer la planificación del proyecto y aportar mayor valor a la toma de decisiones en proyectos de construcción.

A pesar de que este trabajo se basó en las fases de definición y desarrollo de proyectos de construcción sus resultados y conclusiones pueden ser extrapolados con éxito a otro tipo de proyectos y fases.

RECOMENDACIONES Y PRÓXIMOS PASOS

Un aporte importante de este trabajo de maestría es la apertura de nuevos caminos de investigación y aplicación en la Gerencia de la Integración de los Proyectos. Por otro lado, la identificación de puntos de mejora en este trabajo permite dar continuidad al desarrollo de los sistemas dinámicos como herramienta de toma de decisiones y aprendizaje dentro de la Gerencia de Proyectos.

Las principales recomendaciones y próximos pasos identificados son:

- *Incorporar otras variables humanas tales como: motivación, comunicación y gestión de conflictos en el modelo de simulación.* Esto permite ampliar las posibilidades de evaluación del Gerente o Líder del proyecto para lograr el incremento en el desempeño.
- *Modelar un portafolio de proyectos que compartan recursos.* En pocas ocasiones las organizaciones que realizan proyecto ejecutan secuencialmente los proyectos. Al llevar a cabo varios proyectos de forma simultánea, se crea interdependencia de los proyectos a través de la base de recursos compartidos. Con este modelado es posible optimizar el desempeño de cada proyecto con el fin de maximizar el valor del portafolio de proyectos.
- *Incorporar en un solo modelo todas las fases del proyecto.* La estructura del modelo propuesto puede ser aplicada en todas las fases del proyecto si se ajustan los

parámetros que caracterizan el tipo de fase. Por tanto, es posible dentro del mismo modelo contar con una estructura para cada fase modelada y establecer las relaciones entre cada fase del proyecto. Esto permite, simular las implicaciones de las decisiones iniciales en las siguientes fases del proyecto.

- *Incorporar la gestión del cambio en proyectos.* Es común que durante las fases iniciales del proyecto que las especificaciones, premisas, y condiciones del entorno cambien. Estos cambios pueden tener un impacto significativo en el desempeño del proyecto. Además este modelo puede permitir la cualificación del efecto del cliente sobre el desempeño del proyecto.
- *Evaluar el proceso de toma de decisión a través de un modelo de SD.* Es posible llevar el modelo propuesto a un laboratorio de aprendizaje para que un grupo de gerentes de proyectos interactúe con el modelo, con el fin de evaluar el impacto del modelo en el proceso de toma de decisión en proyectos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alarcón Luis y Ashley David (1998) Project management decision making using cross-impact analysis. *International Journal of Project Management*. Vol 16 N° 3 pp 145-152

Ackoff, Rusell (1996) On Learning and the Systems that Facilitate It. Reflections N° 1, v1. Center of Quality Management, Cambridge. MA. USA

Baccarini,David (1996) The concept of project complexity – a review. *International Journal of Project Management*. Vol 14 N° 4 pp 201-204

Belout, Adnane y Gauvreau C. (2004) Factors influencing project success: the impact of human resource management. *International Journal of Project Management*. N° 22 pp1-11.

Batram Arthur (2001) *Navegar por la Complejidad*. Barcelona: Ediciones Granica.

Chapman, Robert J (1998) The role of system dynamics in understanding the impact of changes to key project personnel on design production within construction projects. *International Journal of Project Management*. Vol 16 N° 4 pp 235-247

Choi, Carol. Kelly T., y Cooper K. (2002) The rework cycle game: learning complex project change impacts in a game setting. Incluido como artículo en *Proceedings of the Project Management Institute Annual Seminars & Symposium*. San Antonio, Texas, USA.(pp. 28-36). Pens Newtown Square, Pennsylvania: PMI.

Cioffi Denis (2005) A tool for managing projects: an analytic parametrization of the S-curve. *International Journal of Project Management*. N° 23 pp 215-222.

Cooper, Kenneth (1993) The Rework Cycle: Why Projects Are Mismanaged. *PMNetwork*, 24 (2), 5-7

Dixon, Miles (ed) (2000) *Project Management Body of Knowledge*. Cambridge: Association for Project Management. Cuarta edición

Dai, Christine y Wells W. (2004) An exploration of Project Management Office Features and their relationship to project performance. *International Journal of Project Management*. N° 22 pp 523-532.

Eden, Colin; Williams T. y Ackermann F. (1998) Dismantling the learning curve: the role of disruptions on the planning of development projects. *International Journal of Project Management* Vol 16 N° 3 pp 131-138.

Ford, David. (1995). *The dynamics of project management: An investigation of the impacts of project process and coordination on performance*. Tesis de Doctorado no publicada, Massachusetts Institute of Technology. Boston.

Francés, Antonio (2001). *Estrategia para la empresa en América Latina*. Caracas: Ediciones IESA.

Fulenwider, Margaret. Helmes P. Mojtahedzadeh M. y MacDonald R. (2004) Operational Labor Productivity Model. Ponencia presentada en *System Dynamic Conference*, New York

Gary, Michael y Wood R. (2005) Mental Models, Decision Making and Performance in Complex Tasks. Ponencia presentada en *System Dynamic Conference* Boston, Estados Unidos.

Gordon, Sze (1999) *System Dynamic Models for Construction Projects*. Tesis de Maestría no publicada. Massachusetts Institute of Technology (MIT). Boston.

Hernández, Hugo y Méndez, J. (2003). Gerencia del desempeño de la ingeniería de un proyecto: un enfoque de sistemas dinámicos. Artículo presentado en *el IV Congreso Iberoamericano de Gerencia de Proyectos*. Sao Paulo - Rio de Janeiro. Brasil.

Iyer K.C. y Jha K.N. (2005) Factors affecting cost performance: evidence from Indian construction projects. *International Journal of Project Management*. N° 23 pp 283-295.

Iseesystems (2004). Business Product Guide. isee systems, inc NH 03766, USA

Kerzner, Harold. (2001). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling and Controlling*. New York: John Wiley & Sons. Séptima edición.

Kirkwood Craig (1998). *System Dynamics Methods: A Quick Introduction*. College of Business, Arizona State University.

Kog, Y.C., Chua D.K, Loh P.K. y Jaselskis, E. (1999) Key determinants for construction schedule performance. *International Journal of Project Management*. Vol 17 N°6 pp 351-359.

Ling Florence (2004) How project managers can better control the performance of design-build projects. *International Journal of Project Management*. N°22. pp 477-488.

Lyneis, James y Cooper K. (2001) Strategic Management of Complex Projects, a case of study using systems dynamics. *System Dynamics Review*. 17 (3), 237-260.

Long, Jeff (2000). Performance-Based Management System Project Management Plan. Reporte interno. Oak Ridge National Laboratory.

Palacios, Luis Enrique y Yamin R. (2002). *Benchmarking de proyectos en Venezuela*. Caracas: Universidad Católica Andrés Bello.

Park, Moonseo y Peña-Mora (2003) Dynamic change management for construction: introducing the change cycle into model-based project management. *System Dynamics Review* Vol 19, N° 3 pp 213-242.

A Guide to the Project Management Body of Knowledge PMBOK (2004). Pens Newtown Square, Pennsylvania: Project Management Institute PMI. Tercera edición.

Rae, Tom y Eden C. (2000) On Project Success and Failure in Major engineering Projects. *Working Papers Series of the Graduate School of Business, University of Strathclyde*. N° 2000-015.

Reichelt Kimberly y Lyneis James (1999) The Dynamics of Project Performance: Benchmarking the Drivers of Cost and Schedule Overrun. *European Management Journal* Vol 17 N° 2 pp 135-150

Repenning, Nelson (1999) Resource Dependence in Product Development Improvement Efforts. *Sloan School of Management. MIT. Reporte de Investigación. versión 1.0* (Diciembre 1999)

Richmond, Barry (1993) Systems thinking: critical thinking skills for the 1990s and beyond. *System Dynamics Review*, 9 (2), 113-133

Richmond, Barry (1997a) The Strategic Forum: aligning objectives, strategy and process. *System Dynamics Review*, 13 (2), 131-148

Richmond, Barry (1997b) *An Introduction to Systems Thinking*. Hanover: High Performance Systems Inc.

Rodrigues, Alexandre y Bowers John (1996) The role of system dynamics in project management. *International Journal of Project Management*. Vol 14. N° 4. pp 213-220.

Rodrigues, Alexandre. y Williams T. (1996). Systems Dynamics in Project Management: Assesing the impacts of Client Behaviour on Project Performance.. *Working Paper 1996/6: Theory Method and Practice Series*. Department of Management Science, University of Strathclyde

Rodrigues, Alexandre (1998). SYDPIM – A Systems Dynamics-based Project-Management Integrated Methodology. *Management Science: Theory, Method & Practice Series*. Department of Management Science, University of Strathclyde Working Paper 1998/6

Senge Peter M (1990) *La Quinta Disciplina*. Buenos aires: Editorial Granica

Sterman, John. (1991). A Skeptic's Guide to Computer Models. Incluido como capítulo en *Managing a Nation: The Microcomputer Software Catalog* Boulder (pp 209-229) CO: Westview Press.

Sterman, John (1992) "System Dynamics Modeling for Project Management" *Reporte de MIT System Dynamics Group*. Sloan School of Management.

Tilk, David (2003) *Project Success through Project Risk Management*. Pricewaterhousecoopers, LLP. Catálogo de servicios.

William, Terry (2002) Learning from Projects. *Management Science: Theory, Method & Practice Series*. 2002/14

William, Terry (2003) The Contribution of Mathematical Modelling to the Practice of Project Management. *Management Science: Theory, Method & Practice Series*. 2003/4

Yates, Janet y Eskander Adel (2002) Construction Total Project Management Planing Issues. *Project Management Journal*. Vol 33 N°1 pp 37-48.

Anexo A

PARÁMETROS DEL MODELO PROPUESTO

Los parámetros del modelo se clasifican en: Niveles, Flujos y Convertidores. Los niveles se definen a partir de su valor inicial (las líneas que comienzan con INIT), sus flujos de entrada (INFLOWS) y de salidas (OUTFLOWS). Los niveles solo pueden modificarse durante la simulación por flujos. Los flujos pueden ser de entrada, salida o biflujos hacia un nivel. Los flujos no necesariamente deben estar asociados a un nivel. Por otro lado, los convertidores toman diversos parámetros y los modifican. Además, los convertidores pueden contener funciones expresadas a través de expresiones matemáticas o de gráficos definidos punto a punto

NIVELES

Experiencia

$$\text{Experiencia}[\text{Principiante}](t) = \text{Experiencia}[\text{Principiante}](t - dt) + (\text{Aprendizaje}[\text{Principiante}]) * dt$$

$$\text{INIT Experiencia}[\text{Principiante}] = 10$$

$$\text{Experiencia}[\text{Experto}](t) = \text{Experiencia}[\text{Experto}](t - dt) + (\text{Aprendizaje}[\text{Experto}]) * dt$$

$$\text{INIT Experiencia}[\text{Experto}] = 25$$

INFLOWS:

$$\text{Aprendizaje}[\text{Posicion}] = \text{LCI}[\text{Posicion}] * \text{Tasa_de_descub} * \text{Tasa_de_ejecucion}$$

Cantidad de Expertos

$$\text{Expertos}(t) = \text{Expertos}(t - dt) + (\text{Ganar_experticia} - \text{Egreso_e}) * dt$$

$$\text{INIT Expertos} = \text{Inicial_e}$$

INFLOWS:

$$\text{Ganar_experticia} = \text{Principiantes}/\text{T_req_exp}$$

OUTFLOWS:

$$\text{Egreso_e} = \text{Expertos} * \text{frac_de_deser_e}$$

Presión del Cronograma

$$\text{Presion_del_crono}(t) = \text{Presion_del_crono}(t - dt) + (\text{Cambio}) * dt$$

$$\text{INIT Presion_del_crono} = 0$$

INFLOWS:

$$\text{Cambio} = (\text{Tiempo_req} - \text{Tiempo_disp}) / \text{retraso}$$

Cantidad de Principiantes

$$\text{Principiantes}(t) = \text{Principiantes}(t - dt) + (\text{Ingreso_p} - \text{Egreso_p} - \text{Ganar_experticia}) * dt$$

$$\text{INIT Principiantes} = \text{Inicial_P}$$

INFLOWS:

$$\text{Ingreso_p} = (\text{Pers_adic} + \text{Pron_desercion} + \text{StaffGap}) / \text{retraso_2}$$

OUTFLOWS:

$$\text{Egreso_p} = \text{frac_de_deser_P} * \text{Principiantes}$$

$$\text{Ganar_experticia} = \text{Principiantes}/\text{T_req_exp}$$

Retrabajo no Descubierto

$$\text{Retrabajo_no_descubierto}(t) = \text{Retrabajo_no_descubierto}(t - dt) + (\text{Tasa_de_retrabajo} - \text{Tasa_de_descub}) * dt$$

$$\text{INIT Retrabajo_no_descubierto} = 0$$

INFLOWS:

$$\text{Tasa_de_retrabajo} = \text{Tasa_de_ejecucion} * f$$

OUTFLOWS:

$$\text{Tasa_de_descub} = \text{Retrabajo_no_descubierto}/\text{Tiempo_de_descub}$$

Trabajo Listo

$$\text{Trabajo_listo}(t) = \text{Trabajo_listo}(t - dt) + (\text{Tasa_de_ejecucion}) * dt$$

$$\text{INIT Trabajo_listo} = 0$$

INFLOWS:

$$\text{Tasa_de_ejecucion} = \text{Horas_Labor} * \text{Productividad}$$

Trabajo por hacer

$$\text{Trabajo_por_hacer}(t) = \text{Trabajo_por_hacer}(t - dt) + (\text{Tasa_de_descub} - \text{Tasa_de_ejecucion} - \text{Tasa_de_retrabajo}) * dt$$

$$\text{INIT Trabajo_por_hacer} = \text{Trabajo_inicial}$$

INFLOWS:

$$\text{Tasa_de_descub} = \text{Retrabajo_no_descubierto}/\text{Tiempo_de_descub}$$

OUTFLOWS:

$$\text{Tasa_de_ejecucion} = \text{Horas_Labor} * \text{Productividad}$$

$$\text{Tasa_de_retrabajo} = \text{Tasa_de_ejecucion} * f$$

CONVERTIDORES

$$\text{Equipo_total} = \text{Expertos} + \text{Principiantes}$$

$$f = f_norm * \text{Efecto_de_la_presion}$$

$$\text{Fraccion_de_comp_perc} = \text{Trabajo_Perc_Completo}/\text{Trabajo_inicial}$$

$$\text{Fraccion_de_comp_real} = \text{Trabajo_listo}/\text{Trabajo_inicial}$$

$$\text{frac_de_deser_e} = 0.1$$

$$\text{frac_de_deser_P} = 0.2$$

$$f_norm = 0.6$$

$$\text{Horas_Labor} = \text{Equipo_total} * \text{Prom_horas_dia}$$

$$\text{Inicial_e} = 3$$

$$\text{Inicial_P} = 5$$

$$K = 50$$

$$\text{LCI}[\text{Principiante}] = 0.5$$

$$\text{LCI}[\text{Experto}] = 0.2$$

$$\text{Overcrowding} = \text{IF}(\text{Equipo_total} > \text{PlanRRHH}) \text{ THEN } 100 * ((\text{Equipo_total}/\text{PlanRRHH}) - 1) \text{ ELSE } 0$$

$$\text{Perd_prod_1} = (0.256 * \text{Overcrowding}) + (0.0075 * (\text{Overcrowding}^2))$$

$$\text{Perd_prod_2} = 0.2 + 4.5 * (\text{Prom_horas_dia} - 8) - 0.3 * (\text{Prom_horas_dia} - 8)^2$$

$$\text{Pers_adic} = \text{Equipo_total} * (\text{Efecto_de_la_presion} - 1) * \text{switch3} + (1 - \text{switch3})$$

```

PlanRRHH = HistPlan*(Inicial_P*Inicial_e)
Prod[Posicion] = 1/Tiempo[Posicion]
Productividad =
Productiv_normal*Efecto_de_la_presion*switch1+(Productiv_normal*(1-switch1))
Productiv_normal =
(((Expertos*Prod[Experto])+(Principiantes*Prod[Principiante]))/(Expertos+Principiantes))
*((100-Perd_prod_1)/100)*((100-Perd_prod_2)/100)
Prom_horas_dia = 8*(Efecto_de_la_presion*switch2+(1-switch2))
Pron_desercion = (Egreso_p+Egreso_e)*DT
retraso = 5
retraso_2 = 3
StaffGap = IF(PlanRRHH>=Equipo_total)THEN (PlanRRHH-Equipo_total) ELSE (0)
switch1 = 0
switch2 = 1
switch3 = 0
Tiempo[Posicion] = TS*(1+K*(LCI[Posicion]^(LOG10(2*Experiencia[Posicion]))))
Tiempo_de_descub = 10
Tiempo_disp = Tiempo_planif-Tiempo_transcurrido
Tiempo_planif = 50
Tiempo_req = Tiempo_transcurrido*((1/MAX(Fraccion_de_comp_perc,0.0001))-1)
Tiempo_transcurrido = TIME
Trabajo_inicial = 1000
Trabajo_Perc_Complet = Retrabajo_no_descubierto+Trabajo_listo
TS = 2
T_req_exp = 20
DATOS_HISTORICOS = GRAPH(time)
(0.00, 0.00), (10.0, 85.0), (20.0, 211), (30.0, 432), (40.0, 659), (50.0, 816), (60.0, 910),
(70.0, 1000)
DATOS_HISTORICOS_2 = GRAPH(time)
(0.00, 0.00), (10.0, 128), (20.0, 342), (30.0, 610), (40.0, 849), (50.0, 982), (60.0, 1000),
(70.0, 1000)
Efecto_de_la_presion = GRAPH(Presion_del_crono)
(0.00, 1.00), (7.00, 1.12), (14.0, 1.20), (21.0, 1.26), (28.0, 1.32), (35.0, 1.35), (42.0,
1.39), (49.0, 1.41), (56.0, 1.42), (63.0, 1.42), (70.0, 1.42)
HistPlan = GRAPH(time)
(1.00, 1.00), (2.77, 1.10), (4.54, 1.18), (6.31, 1.30), (8.08, 1.35), (9.85, 1.43), (11.6,
1.45), (13.4, 1.50), (15.2, 1.56), (16.9, 1.62), (18.7, 1.66), (20.5, 1.70), (22.2, 1.64),
(24.0, 1.62), (25.8, 1.61), (27.5, 1.64), (29.3, 1.62), (31.1, 1.68), (32.8, 1.73), (34.6,
1.75), (36.4, 1.71), (38.2, 1.76), (39.9, 1.86), (41.7, 1.86), (43.5, 1.80), (45.2, 1.88),
(47.0, 1.81), (48.8, 1.69), (50.5, 1.63), (52.3, 1.53), (54.1, 1.46), (55.8, 1.38), (57.6,
1.37), (59.4, 1.32), (61.2, 1.29), (62.9, 1.24), (64.7, 1.19), (66.5, 1.16), (68.2, 1.08),
(70.0, 1.08)

```