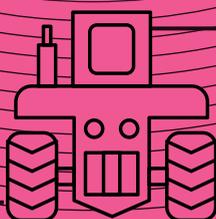
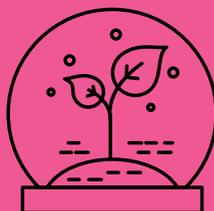
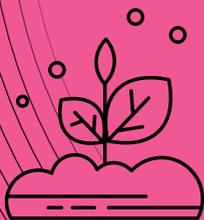


# DINÁMICA DE SISTEMAS

Una Metodología para la Construcción  
de Modelos de Toma de Decisiones en  
Sectoros Agroindustriales

Carmelina Cadenas Anaya  
Wilfredo Guaita





# DINÁMICA DE SISTEMAS

Una Metodología para la Construcción  
de Modelos de Toma de Decisiones en  
Sectoros Agroindustriales

Carmelina Cadenas Anaya,  
Wilfredo Guaita



© Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano

**DINÁMICA DE SISTEMAS: UNA METODOLOGÍA  
PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MODELOS  
DE TOMA DE DECISIONES EN SECTORES  
AGROINDUSTRIALES**

E-ISBN: 978-958-5142-10-7  
Digital ISBN: 978-958-5142-69-5

Editorial Politécnico Grancolombiano  
Calle 61 No. 7 - 66  
Tel: 7455555, Ext. 1516  
Bogotá, Colombia

**AUTORES**

Carmelina Cadenas Anaya  
Wilfredo Guaita

**DIRECTOR EDITORIAL**

Eduardo Norman Acevedo

**ANALISTA DE PRODUCCIÓN EDITORIAL**

Carlos Eduardo Daza Orozco

**CORRECCIÓN DE ESTILO**

Rosario Gómez

**DISEÑO Y ARMADA ELECTRÓNICA**

Kilka Diseño Gráfico

**¿CÓMO CITAR ESTE LIBRO?**

Guaita, W.; Cadenas-Anaya, C (2020). Dinámica de sistemas: una metodología para la construcción de modelos de toma de decisiones en sectores agroindustriales. Bogotá: Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano

No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su tratamiento en cualquier forma o medio existentes o por existir, sin el permiso previo y por escrito de la Editorial de la Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano.

Para usos académicos y científicos, la Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano accede al licenciamiento Creative Commons del contenido de la obra con: Atribución – No comercial – Sin derivar - Compartir igual.

El contenido de esta publicación se puede citar o reproducir con propósitos académicos siempre y cuando se indique la fuente o procedencia.

Las opiniones expresadas son responsabilidad exclusiva del autor(es) y no constituye una postura institucional al respecto.

La Editorial del Politécnico Grancolombiano pertenece a la Asociación de Editoriales Universitarias de Colombia (ASEUC).

El proceso de Gestión editorial y visibilidad en las Publicaciones del Politécnico Grancolombiano se encuentra CERTIFICADO bajo los estándares de la norma ISO 9001: 2015 código de certificación ICONTEC: SC-CER660310

Creado en Colombia  
Todos los derechos reservados

## Tabla de contenido

Siglas y Acrónimos .....	13
Introducción.....	20

### Capítulo I

---

Sistemas, Modelos y Simulación .....	24
Sistemas .....	25
Modelos .....	29
<i>Modelo de Simulación de Eventos Discretos</i> .....	31
<i>Aplicaciones en manufactura</i> .....	33
<i>Aplicaciones en transporte y cadenas de suministro</i> .....	34
<i>Modelo de Simulación de Procesos Continuos</i> .....	36
Otros conceptos básicos sobre Dinámica de Sistemas.....	47
<i>Los lazos de retroalimentación</i> .....	50
<i>Representación de diversos comportamientos del sistema</i> .....	52

### Capítulo II

---

Identificación de un comportamiento interesante desde la Perspectiva Sistémica .....	56
Situación problema no estructurada.....	59
Situación problema expresada.....	59
La Visión enriquecida.....	61
<i>Definiciones Raíz</i> .....	64
<i>PATCRW</i> .....	66

### Capítulo III

---

Articulación del problema ( <i>Boundary Selection</i> ) .....	68
---	----

### Capítulo IV

---

Estructuración del esquema inicial del Modelo .....	70
---	----

### Capítulo V

---

Formulación del Modelo de Simulación .....	72
Modelado de Sistemas Dinámicos .....	73
Marco conceptual para la deducción del Modelo de Flujo o Diagrama de Forrester y de las ecuaciones diferenciales de primer orden .....	74
<i>Bucle de retroalimentación negativa</i> .....	86
<i>Bucle de retroalimentación positiva</i> .....	88

### Capítulo VI

---

Prueba de validación del Modelo .....	90
Jerarquización de la validación del Modelo .....	92
<i>Validación de la estructura</i> .....	94
<i>Validación de escenarios</i> .....	95
<i>Validación de expertos</i> .....	95

### Capítulo VII

---

Softwares de Simulación .....	96
Definición y conceptos básicos Vensim .....	97
<i>Estructura y funcionamiento</i> .....	98
<i>Delta de Tiempo (DT)</i> .....	98
<i>Definición y conceptos básicos Powersim</i> .....	100

## Capítulo VIII

---

<b>Casos prácticos</b> .....	<b>102</b>
Revisión de la función de planificación en Colombia .....	103
<i>Análisis del Modelo de Planificación         por Proyectos de Colombia</i> .....	103
<i>Definición Raíz (DR)</i> .....	110
<i>Construcción del Modelo Conceptual</i> .....	112
Cadena de suministro (CS) madera – muebles .....	112
<i>Estructura de la cadena de suministro madera – muebles</i> ....	113
<i>Modelo Causal de la cadena de suministro madera – muebles</i>	113
<i>Modelo Informático de la cadena de suministro madera –         muebles</i> .....	117
<i>Resultado y discusión de los Ensayos de la cadena de         suministro madera – muebles</i> .....	119
<i>Ensayo 1. Pedidos constantes de clientes</i> .....	119
<i>Resultados del Ensayo 1</i> .....	121
<i>Ensayo 2. Pedidos constantes de clientes con ajuste en             política de inventario</i> .....	124
<i>Resultados del Ensayo 2</i> .....	126
<i>Ensayo 3. Pedidos constantes de clientes con doble ajuste             en política de inventario</i> .....	129
<i>Resultados del Ensayo 3</i> .....	131
<i>Ensayo 4. Pedidos en crecimiento tipo escalón</i> .....	134
<i>Resultados del Ensayo 4</i> .....	137
<i>Ensayo 5. Pedidos en crecimiento tipo logística</i> .....	140
<i>Resultados del Ensayo 5</i> .....	142
<i>Ensayo 6. Pedidos en declinación acelerada</i> .....	145
<i>Resultados del Ensayo 6</i> .....	147
Cadena de suministro leche - quesos blandos .....	150

<i>Estructura de la cadena de suministro leche – quesos blandos</i> . . . . .	150
<i>Modelo Causal o de Influencia de la cadena de suministro leche – quesos blandos</i> . . . . .	151
<i>Modelo Informático en la cadena de suministro leche-quesos blandas</i> . . . . .	155
<i>Resultado y discusión de los ensayos en la cadena de suministro leche - quesos blandos</i> . . . . .	157
<i>Ensayo 1. Pedidos constantes de clientes</i> . . . . .	157
<i>Resultados del Ensayo 1</i> . . . . .	159
<i>Ensayo 2. Pedido constante de clientes con ajuste en política de inventario</i> . . . . .	162
<i>Resultados del Ensayo 2</i> . . . . .	164
<i>Ensayo 3. Pedidos en crecimiento tipo escalón</i> . . . . .	166
<i>Resultados del Ensayo 3</i> . . . . .	169
<i>Ensayo 4. Pedidos en crecimiento tipo logística</i> . . . . .	171
<i>Resultados del Ensayo 4</i> . . . . .	173
<i>Ensayo 5. Pedidos en declinación acelerada</i> . . . . .	178
<i>Resultados del Ensayo 5</i> . . . . .	180
<i>Sistema Pedido – Producción – Entrega</i> . . . . .	182
<i>Modelo Esquemático del Proceso Pedido – Producción – Entrega</i> . . . . .	184
<i>Modelo de Relaciones Causales</i> . . . . .	185
<i>Resultados del Modelo Informático</i> . . . . .	187
<i>Ensayo en el cual se aceptan todos los pedidos recibidos</i> . . . . .	188
<i>Ensayo con aumento de 20 a 30 unidades de pedidos</i> . . . . .	190
<i>Ensayo con incremento de capacidad de recepción de materia prima</i> . . . . .	193
<i>Ensayo con pérdida de mercado acelerada</i> . . . . .	194
<i>Discusión de Resultados</i> . . . . .	197

Sistema de Gestión de Proyectos (GEPI) .....	199
<i>Modelo Conceptual GEPI de lazos causales - Gerencia</i>	
<i>Estratégica de proyectos para industrias</i> .....	200
<i>Bucles del Modelo</i> .....	202
<i>Modelo de flujo de la Gerencia estratégica de proyectos</i>	
<i>para industrias (GEPiF)</i> .....	208
<i>Ecuaciones del Modelo GEPiF</i> .....	212
<i>Variables y parámetros del Modelo de Flujo GEPiF</i>	
<i>en lenguaje Vensim</i> .....	213
<i>Variables de nivel</i> .....	214
<i>Variables tasas o variables de flujo</i> .....	215
<i>Variables auxiliares</i> .....	218
<i>Constantes</i> .....	222
<i>Asignar valores a los parámetros del Modelo</i> .....	223
<i>Análisis de resultados</i> .....	224
<i>Análisis de escenarios</i> .....	224
<i>Ensayo 1</i> .....	224
<i>Ensayo 2</i> .....	225
<i>Discusión de resultados</i> .....	227
Anexo 1 .....	230
<i>Ejercicio para la Metodología de los Sistemas Suaves (SSM)</i> .	230
<i>Ejercicio de niveles y tasas</i> .....	231
Referencias .....	234

## Lista de figuras

Figura 1. Círculo Causal Reforzador .....	26
Figura 2. Círculo Causal Compensador .....	27
Figura 3. Círculo Compensador con demora.....	27
Figura 4. Límites del crecimiento .....	29
Figura 5. Desplazamiento de la carga .....	30
Figura 6. Proceso de transformación para producir una Visión Enriquecida.....	46
Figura 7. Símil hidrodinámico de un sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden .....	55
Figura 8. Conexión entre las variables de nivel (de estado) y los puntos de decisión (variables de flujo) .....	57
Figura 9. Símbolos utilizados originalmente en los Diagramas de Forrester .....	58
Figura 10. Representación de un flujo de un Diagrama de Forrester.....	60
Figura 11. Conexión de un Nivel N a los flujos de entrada (FE) y a los flujos de salida (FS) .....	61
Figura 12. Representación en un Diagrama de Forrester de un Flujo F cuyo valor viene dado por una tasa normal TN afectada por un multiplicador M.....	62
Figura 13. Elementos básicos de un bucle de retroalimentación negativa elemental .....	63
Figura 14. Diagrama de Forrester de un sistema elemental de retroalimentación negativa .....	64
Figura 15. Elementos básicos de un bucle de retroalimentación positiva elemental.....	65
Figura 16. Diagrama de Forrester de un sistema elemental de retroalimentación positiva.....	66

Figura 17. Jerarquía de validación del modelo . . . . .	69
Figura 18. Tablas de instrucciones de salida y especificaciones de operación del modelo. . . . .	72
Figura 19. Proceso de Planificación para el Desarrollo . . . . .	74
Figura 20. Relaciones Institucionales para la Planificación . . . . .	75
Figura 21. Lógica de articulación de la Visión a la Práctica: de lo macro a lo micro. . . . .	75
Figura 22. Constitución Política de Colombia de 1991 . . . . .	76
Figura 23. Ley Orgánica del Plan de Desarrollo: Ley 152 de 1994 . . . . .	77
Figura 24. Presupuesto General de la Nación. Decreto 111 de 1996 . . . . .	78
Figura 25. Cadena de suministro madera - muebles. . . . .	82
Figura 26. Suplidor de materia prima. . . . .	83
Figura 27. Carpintería y distribución de productos terminados. . . . .	85
Figura 28. Capacidad de despacho en DPT . . . . .	86
Figura 29. Modelo Informático de la cadena de suministro madera – muebles . . . . .	87
Figura 30. Tasas . . . . .	90
Figura 31. Niveles . . . . .	90
Figura 32. Niveles de Capacidad . . . . .	91
Figura 33. Tasas . . . . .	94
Figura 34. Niveles. . . . .	94
Figura 35. Niveles de Capacidad . . . . .	95
Figura 36. Tasas . . . . .	98
Figura 37. Niveles . . . . .	98
Figura 38. Niveles de Capacidad . . . . .	98
Figura 39. Tasas . . . . .	101
Figura 40. Niveles . . . . .	101
Figura 41. Niveles de Capacidad . . . . .	102
Figura 42. Tasas . . . . .	105

Figura 43. Niveles .....	105
Figura 44. Niveles de Capacidad .....	106
Figura 45. Tasas .....	108
Figura 46. Niveles .....	108
Figura 47. Niveles de Capacidad .....	109
Figura 48. Cadena de suministro leche – quesos blandos .....	110
Figura 49. Centro Lácteo o suplidor de materia prima .....	111
Figura 50. Quesería y DPT .....	113
Figura 51. Capacidad de despacho en DPT .....	114
Figura 52. Modelo Informático de la cadena de suministro leche – quesos blandos .....	115
Figura 53. Tasas .....	118
Figura 54. Niveles .....	118
Figura 55. Niveles de Capacidad .....	119
Figura 56. Tasas .....	122
Figura 57. Niveles .....	122
Figura 58. Niveles de Capacidad .....	122
Figura 59. Tasas .....	125
Figura 60. Niveles .....	125
Figura 61. Niveles de Capacidad .....	126
Figura 62. Tasas .....	128
Figura 63. Niveles .....	128
Figura 64. Niveles de Capacidad .....	129
Figura 65. Tasas .....	130
Figura 66. Niveles .....	130
Figura 67. Niveles de Capacidad .....	130
Figura 68. Tasas .....	133
Figura 69. Niveles .....	133

Figura 70. Niveles de Capacidad.....	133
Figura 71. Modelo Esquemático del Proceso Pedido – Producción – Entrega.....	136
Figura 72. Relaciones casuales del Proceso Pedido – Producción – Entrega.....	138
Figura 73. Modelo Informático del proceso Pedido – Producción – Entrega.....	139
Figura 74. Variaciones de Tasas.....	140
Figura 75. Variaciones de Niveles.....	140
Figura 76. Variaciones de Tasas.....	141
Figura 77. Variaciones de Niveles.....	141
Figura 78. Variaciones de Tasas.....	143
Figura 79. Variaciones de Niveles.....	143
Figura 80. Variaciones de Tasas.....	144
Figura 81. Variaciones de Niveles.....	144
Figura 82. Modelo Conceptual de Gerencia Estratégica de Proyectos para industrias (GEPI).....	148
Figura 83. Modelo de Flujo de la Gerencia Estratégica de Proyectos (GEPF).....	155
Figura 84. Ensayo 1. Sector avícola.....	169
Figura 85. Ensayo 2. Sector avícola.....	170
Figura 86. Producción Avícola 2005 – 2018.....	172

## Lista de tablas

Tabla 1. Transformaciones una a una que implican opiniones diferentes del mundo . . . . .	47
Tabla 2. Legalidad e instrumentos de Planificación en Colombia. . .	76
Tabla 3. Estructura del Plan de Desarrollo . . . . .	78
Tabla 4. Fórmula PQR para el proceso de formulación presupuestaria de portafolio de proyectos del estado Colombiano. . . . .	88

## Siglas y Acrónimos

AGFI:	Adjusted Goodness of Fit Index.
APM:	Association for Project Management.
CBD:	Competencias Básicas Distintivas.
CL:	Cadena Logística
CS:	Cadena de Suministro.
CSMM:	Cadena de Simulación de Madera-Muebles
DPT:	Despacho de Producto Terminado
DR:	Definición Raíz.
DS	Dinámica de Sistemas.
EA:	Arquitectura Empresarial.
EDO:	Ecuación Diferencial Ordinal.
EPE:	Empresas Propiedad del Estado.
FE:	Flujo de Entrada.
FS:	Flujo de Salida.
GFI:	Goodness of Fit Index.
GEPI:	Modelo conceptual de Gerencia Estratégica de Proyectos para Industrias.
GEPIF:	Modelo de Flujo de la Gerencia Estratégica de Proyectos para Industrias.
GoGP:	Gobierno de la Gestión de Proyectos.
ID:	Investigación y Desarrollo
I+D+i:	Investigación, Desarrollo e innovación.
MoP:	Manage of Portfolios.
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos.

<b>ONUUDI:</b>	Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial.
<b>EPMO:</b>	Oficina de Gestión de Portafolios de Proyectos Estratégicos.
<b>MIT:</b>	Massachusetts Institute of Technology
<b>P3O:</b>	Oficina de Programas, Proyectos y Portafolios.
<b>PE:</b>	Planificación estratégica.
<b>PMI:</b>	Project Management Institute.
<b>PMO:</b>	Oficina de Gerencia de Proyectos.
<b>PND:</b>	Plan Nacional de Desarrollo.
<b>PPE:</b>	Pedido-Producción-Entrega
<b>PPI:</b>	Portafolio de Proyectos de las Industrias.
<b>PPP:</b>	Proyectos, Programas y Portafolios.
<b>PRINCE2:</b>	PRojects IN Controlled Environment.
<b>PVI:</b>	Problema de valor inicial.
<b>RAE.</b>	Real Academia Española.
<b>SMP:</b>	Suplidor de Materia Prima
<b>SNM:</b>	Strategic Niche Management.
<b>SSM:</b>	Soft Systems Methodology.
<b>TIC:</b>	Tecnologías de Información y Comunicación.
<b>TIR:</b>	Tasa Interna de Retorno de Inversión.

## Símbolos

d:	día
dt:	diferencial del Tiempo
h:	horas
kg:	kilogramos
kg/d:	kilogramos/día
kg/h/d:	kilogramos/hora/día
kg/p/s:	kilogramos/productos/segundo
kg/p/d	kilogramos/productos/despachados
l:	litros
l/d:	litros/día
mp:	materia prima
pt:	producto terminado
q/d:	quesos/día
s:	segundos
u/h/d:	unidades/hora/día
u/h/s:	unidades/horas/segundos
u/s:	unidades/segundos
UP:	Unidad de Pedido



## Agradecimientos

Estamos especialmente agradecidos con la Dra. Rita Añez, Rectora de la Universidad Nacional Politécnica Antonio José de Sucre (UNEXPO) por su generosa colaboración con la realización de esta investigación dentro del programa de Estudios Doctorales de Ciencias de Ingeniería de la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre (UNEXPO), Vicerrectorado Puerto Ordaz.

Desde lo personal agradecemos la colaboración de los equipos de trabajo de las redes de producción de leche – quesos blandos, madera - muebles y del equipo de la Secretaría de Planificación de la Gobernación de Cundinamarca.

La financiación para la realización de este libro ha sido concedida por la Editorial de la Institución Universitaria Politécnico Grancolombiano, a quien extendemos nuestro agradecimiento.

Sistemas, modelos y simulación, conforman en su conjunto la teoría, los métodos y las herramientas suficientes para que la nueva gerencia y/o la gerencia posmoderna hagan uso sin limitaciones de ellos, con la intención de reducir la incertidumbre y tomar decisiones apropiadas en pro del crecimiento de la organización.

Vale la pena recordar que con el término Teoría:

Se alude a un conjunto fundamental de proposiciones acerca del funcionamiento del mundo, el cual se ha sometido a repetidas verificaciones y se ha ganado cierta confianza. Nuestra palabra Teoría deriva de la raíz griega *theo-rós*, que significa espectador. Ella proviene de la misma raíz que la palabra *teatro*. Los seres humanos inventamos teorías por las mismas razones por las cuales hemos inventado el teatro: para escenificar en un espacio público ideas que nos ayuden a comprender el mundo (Senge, 1995: 30).

El proceso por el cual los investigadores generan nuevas teorías está lleno de pasión, de imaginación y de la alegría de observar algo nuevo en el mundo. Como ha dicho Buckminster Fuller: *la ciencia consiste en poner orden los datos de nuestra experiencia*. Partiendo de este hecho, las nuevas teorías penetran en el mundo de los asuntos prácticos cuando se traducen en métodos y herramientas. *Método* deriva del griego *méthodos* que significa buscar objetivos específicos. Esta palabra evolucionó hasta cobrar su significado actual: un conjunto de procedimientos y técnicas sistemáticas para abordar asuntos y problemas determinados, por ejemplo, la *Dinámica de Sistemas*.

En la misma línea, las *herramientas* aluden a un objeto, pero aquí se aplica este concepto por extensión a todo utensilio mental que permita realizar una tarea, como es el caso de los *Círculos Causales* que existen

para modelar y simular otras herramientas que de alguna manera someten la Teoría de Sistemas a verificaciones prácticas, lo cual permite a la vez el afinamiento de la teoría. Este ciclo continuo -creación de teorías, desarrollo y aplicación de métodos y herramientas prácticas basadas en las teorías, obtención de nuevas perspectivas que mejoran las teorías- es el motor que impulsa el crecimiento en ciencia y tecnología (Senge, 1995: 32), es decir, *Círculos Causales de Crecimiento y de Estabilización*.

Por otro lado, *el Pensamiento Sistémico y las herramientas de los Arquetipos Sistémicos* se basan precisamente en una metodología general, desarrollada por el Massachusetts Institute of Technology (MIT) en los últimos cincuenta años, llamada, como ya se mencionó, *Dinámica de Sistemas*, y procura entender cómo la estructura de retroalimentación de los sistemas complejos genera pautas de conducta, o sea que la estructura hace la conducta.

La metodología se basa a su vez en la *Teoría de los Sistemas Complejos de Retroalimentación* que se ha desarrollado en ingeniería en el último siglo y medio. Una parte de la teoría describe que los sistemas complejos suponen procesos de retroalimentación de refuerzo y equilibrio. (Senge, 1995: 35)

En este trabajo, se presenta una serie de pasos, o sea una metodología, para desarrollar modelos causales con o sin la ayuda de arquetipos y modelos informáticos, con el fin de simular escenarios en atención al ajuste de políticas aplicables a cualquier organización de cualquier sector, sea Agroindustria, Manufactura, Servicios y Conocimientos. Estas políticas generales abarcan operaciones de proceso, capacidad, inventario, fuerza de trabajo, calidad y otras que pudiesen aparecer.

En la parte final se muestran algunos modelos desarrollados a lo largo de nuestras investigaciones, en las cuales se ha utilizado *Dinámica de Sistemas*.

Desde hace algunas décadas se ha venido hablando de la Simulación en Computadoras como la herramienta para lograr el análisis dinámico de un sistema, y que permite a la Gerencia tomar decisiones adelantándose a la aparición de los problemas, tanto administrativos como operacionales.

La Simulación es la herramienta para construir el modelo computarizado, que permite efectuar el análisis dinámico del comportamiento del sistema, tanto en las condiciones actuales como en situaciones hipotéticas futuras, que probablemente reflejen los planes o proyectos del ente gerencial.

Este trabajo se fundamenta en estudios para la Construcción de Modelos de Dinámica de Sistemas en Empresas Agroindustriales, para lo cual se presenta un análisis de las etapas correspondientes.

Se puede entender como modelo de un sistema toda la información obtenida sobre las características y componentes de dicho sistema, de su estructura y comportamiento con respecto al medio que lo rodea, lo que permite crear una representación mental del mismo. Cuando estos modelos mentales deben comunicarse a otras personas surge la necesidad de la representación física o abstracta de tales modelos. En resumen, un modelo es la representación simplificada de un objeto o sistema, y cuando se plantean situaciones hipotéticas del funcionamiento del sistema en cualquier momento o situación, se entiende como simulación del comportamiento en el modelo que lo representa.

Los modelos continuos se caracterizan por representar la evolución de las variables de interés en forma continua. En general, utilizan ecuaciones diferenciales ordinarias si se considera simplemente la evolución de una propiedad con respecto al tiempo. El análisis de este tipo de modelos de simulación está sustentado por los lazos de retroalimentación y el concepto de eventos fortuitos, causales de las metas alcanzadas.

Los lazos de retroalimentación pueden ser positivos, como en los procesos de crecimiento, en los cuales un resultado genera un crecimiento mayor positivo o negativo; son inseparables, lo que conduce a alcanzar una meta deseada, corrigiendo su rumbo cada vez que se obtienen resultados que no son exactamente los planteados, hasta lograr que el funcionamiento del sistema alcance dicha meta. En este tipo de modelos, la estructura del sistema y su comportamiento son igualmente inseparables, lo que lleva al *concepto de causalidad, representado por los diagramas circulares de causa-efecto o de retroalimentación.*

Con estos modelos se pueden describir fluctuaciones que se representan en los niveles de producción empresarial, capacitación o crecimiento y decrecimiento de mano de obra, en percepciones de calidad de servicio, en niveles de entrega de productos y ventas, en generación de conocimientos, rendimiento escolar, cambios en conducta infantil, en el desarrollo del autismo en sus distintas fases, etc., tanto para cualquier tipo de empresa, como para escuelas, universidades o servicios de utilidad pública.

El concepto de evento discreto tiene por finalidad identificar sistemas en los que los eventos que cambian su estado ocurren en instantes espaciados en el tiempo, a diferencia de los sistemas cuyo estado puede cambiar continuamente en el tiempo (como la posición de un auto en movimiento). Aunque aparentemente simples, los modelos de procesos continuos pueden simular muchos de los fenómenos que enfrentan los responsables de la administración de los procesos productivos en una empresa de manufactura o servicio; se plantean aquí algunos ejemplos:

- *Los inventarios de cualquier producto solo se alteran ante la ocurrencia de alguno de dos eventos: (1) ingreso de un lote de abastecimiento, o (2) retiro de cierta cantidad del producto para satisfacer el pedido de un cliente.*
- *La matrícula escolar aumenta por el ingreso y disminuye por el egreso o la deserción escolar.*

- *El rendimiento estudiantil se incrementa o decae por la calidad de los profesores o por el manejo de la dirección.*
- *El dinero disponible en cualquier cuenta bancaria solo puede cambiar como consecuencia de un depósito o de un retiro.*

Tanto los modelos continuos como los modelos de eventos discretos tienen extensa aplicación en los sistemas productivos, bien sean de tipo Agroindustrial, Manufactura, Servicio o Educativo. Conviene recordar que un sistema productivo puede ser definido como un elemento capaz de transformar recursos de entrada o *inputs* como materiales, mano de obra, máquinas, instalaciones, procesos, información, etc., en salidas (*outputs*) como productos y/o servicios.

Este sistema productivo de Entrada/Transformación/Salida está imbuido en la tradicional visión sistémica para la actividad de manufactura, muy referenciada en los últimos años, y muchos autores especialistas en el tema han abogado porque el concepto de sistema productivo deba ser visto en forma amplia, abarcando incluso otras funciones además de la manufactura, tales como el transporte responsable de los cambios de localización, los suministros en el contexto de las cadenas de suministro, los servicios educativos o de salud pública e infraestructura urbana, y los múltiples servicios y conocimientos responsables de los tratamientos que no se pueden categorizar en ninguna de las anteriores. En el marco de estas funciones ya mencionadas existe un manejo de políticas susceptibles de ser manipuladas para mejorar los procesos, la producción y la productividad en general.

En conclusión, uno de los objetivos de este libro es construir modelos de dinámica de sistemas bajo una metodología de fácil comprensión para el lector, contemplando en su estructura una información teórica de sistemas básica, modelos y simulación, luego los pasos fundamentales para construir modelos de dinámica y finalmente, la caracterización del software de simulación Vensim.



# **CAPÍTULO I**

Sistemas, Modelos y Simulación

## Sistemas

El concepto de sistema es bastante amplio, evidente por el uso cada vez creciente de este enfoque en las últimas décadas, en casi todos los campos del saber humano. Esta situación “ha facilitado que se hable de la *Ubicuidad de los Sistemas*, lo que significa que los sistemas están presentes en todas partes” (Méndez, 2016: 32).

El ser humano vive y trabaja dentro de los sistemas sociales, así que cuando realiza labores creativas específicas está en contacto directo con sistemas, esto es, por ejemplo:

- *La Investigación Científica: tiene el propósito de explorar y exponer la estructura de los Sistemas Naturales.*
- *La Investigación Aplicada o Generación de Tecnología: se propone la producción de Sistemas Físicos complejos.*

A pesar de lo anterior, los principios que rigen el comportamiento de los sistemas no están ampliamente entendidos y mucho menos aplicados por quienes los dirigen o los administran. Según el uso que se da en este libro a la palabra sistema se entiende como *una agrupación de partes que funcionan juntas para lograr un objetivo común*. Ejemplos diversos de sistemas serían:

- *Un automóvil es un sistema de componentes que trabajan juntos para proporcionar transporte.*
- *El avión y su piloto constituyen un sistema para volar a una altura determinada.*
- *Un almacén y su plataforma de carga forman un sistema destinado a cargar camiones con mercancías. Un sistema puede incluir personas y componentes físicos. Tanto el almacenista como los despachadores y los operadores de equipo forman parte del Sistema de Almacén.*
- *La administración o gerencia de cualquier organización son sistemas compuestos por seres humanos, con el propósito de asignar recursos a los negocios y controlar las actividades de los mismos (Torcat, 2011: 7).*

- *La familia es un sistema cuyos objetivos principales son los de proporcionar medios de vida a sus componentes, amor a sus miembros y, además de la procreación, darles protección y orientación a los hijos.*
- *La escuela es un sistema orientado a proporcionar conocimientos a sus estudiantes y a formar ciudadanos(as) adaptables a la sociedad en cualquier contexto.*

De los ejemplos anteriores, tan comunes para cualquier ser humano, surge una pregunta muy simple: ¿Si los sistemas son tan frecuentes para la vida de las personas y se encuentran presentes en todas partes (ubicuidad), por qué los conceptos y principios de sistemas no aparecen más claros y con mayor profusión en la literatura y en la educación básica?

Hay tres respuestas fundamentales a esta pregunta, que al unir las constituyen la solución correcta; estas son:

- No ha sido necesario entender la naturaleza básica de los sistemas.
- Pareciera que los sistemas adolecen de una teoría y un significado generales.
- Los principios de sistemas, como suelen ser mostrados, son tan complejos que se prefiere evadir su estudio.

Los sistemas naturales han existido desde el comienzo de los tiempos, y los físicos y sociales, creados por los humanos, han venido apareciendo paulatinamente con el desarrollo de la civilización. En la sociedad primitiva los sistemas existentes fueron aquellos proporcionados por la naturaleza y sus características fueron aceptadas por el hombre como un don divino, las cuales estaban fuera de su alcance, su comprensión y su control.

En este ambiente, las personas se limitaron a ajustar su existencia a los sistemas naturales que las rodeaban, así como a los sistemas sociales tribales y de familia que se fueron creando gradualmente por la evolución de la especie, más que por un diseño y planificación apropiados. El ser

humano se adaptó a esos sistemas sin haber sentido la necesidad forzosa de lograr su entendimiento.

En la medida en que emergen las sociedades industriales y de consumo, los sistemas socioeconómicos empiezan a dominar la vida, manifestándose por sí mismos en ciclos económicos, en disturbios políticos, en pánicos financieros recurrentes, en fluctuaciones de la demanda y oferta de empleos, y en la inquietante inestabilidad de los precios de los artículos de consumo masivo.

Estos sistemas socioeconómicos, repentinamente, se convirtieron en sistemas demasiados complejos y de comportamiento muy confuso, de tal forma que no parecía posible poder hallar una teoría general para su representación y análisis. Es así como se llega al análisis de una estructura ordenadora para las relaciones de *causa y efecto*, con el propósito de lograr una teoría que explique el comportamiento de los sistemas, surgiendo la alternativa para creer a veces en la *aleatoriedad* y otras en las *causas racionales*.

Progresivamente, durante los últimos cien años, se ha esclarecido que la barrera para entender los sistemas ha sido, no la ausencia de conceptos generales importantes, sino la dificultad de identificar y expresar en un cuerpo homogéneo dicho modelo, el cual, al estar constituido por los Principios Universales, pueda explicar el éxito o las fallas de los sistemas de los cuales aún nosotros mismos formamos parte.

La economía ha identificado muchas de las relaciones físicas que se dan dentro de nuestros sistemas industriales y sociales; la psicología y la religión han descrito algunas de las interrelaciones dentro de los sistemas compuestos por seres humanos; la medicina ha tratado los sistemas biológicos; las ciencias políticas han explorado los sistemas de gobierno y los sistemas internacionales, pero muchos de estos análisis han sido meramente verbales, casi siempre cualitativos, y fundamentalmente estáticos.

Una descripción no es suficiente para exponer la verdadera naturaleza de los sistemas. Las matemáticas, que han sido usadas para estructurar

el conocimiento de las ciencias, no han sido adecuadas para manejar las relaciones esenciales de nuestros importantes sistemas sociales; hemos sido ahogados por fragmentos del conocimiento, pero no hemos podido hallar el camino que nos conduzca a suministrar una estructura ordenada y lógica de estos conocimientos.

Cuando se está interesado en interpretar nuestras observaciones de cualquier campo del saber humano se requiere de una estructura a la cual se le da comúnmente el nombre de Teoría; sin ella la información no es otra cosa que partes inconexas y sin sentido, reduciéndose solo a una colección de observaciones prácticas, accidentales, conceptuales o conflictivas.

Esta situación -por demás caótica- describe gran parte de nuestros conocimientos relacionados con los Sistemas Económicos y su Administración. En este campo, generalmente se tienen impresiones aisladas, muchas veces contradictorias, las cuales no han sido orientadas para ser ensambladas de forma que hagan parte de una estructura unificada.

Es un hecho cada vez más comprobado que, sin una estructura que relacione hechos y observaciones, es muy difícil aprender de las experiencias, o lo que es lo mismo, es muy difícil usar el pasado en la educación del futuro. Las leyes físicas forman una estructura para interrelacionar nuestras numerosas observaciones sobre los fenómenos de la naturaleza. Esta estructura del conocimiento teórico de la Física constituye el fundamento para lograr la construcción de la tecnología actual.

No pasa lo mismo con los sistemas administrativos para los cuales no existe hasta ahora una estructura básica de principios, en estos últimos tiempos, cuando se han hecho intentos por crear una que tenga aceptación universal. Tanto los administradores como los estudiosos de esta área han hecho largas y profundas búsquedas de la estructura que unifique las diversas manifestaciones de la psicología industrial y de los procesos económicos.

Los programas académicos de los estudios de Administración han sido siempre criticados por su elevado carácter descriptivo y por adolecer de una estructura unificadora. Esta famosa estructura se ha intentado sacar prestada de otras disciplinas, pero la naturaleza propia de ella se ha eludido todo el tiempo.

En cuanto a la parte teórica y definitorio de los sistemas y sus componentes, es importante mencionar algunos trabajos pioneros de comienzos del siglo, dentro de los cuales se destaca el libro de L.V. Bertalanffy, titulado *General System Theory*, publicado hace ya unas cuantas décadas. Esta obra se enfoca en definir, describir y plantear en forma general y filosófica lo que es un sistema, sus componentes y sus relaciones internas y externas, de una manera descriptiva más que todo definitoria, sin llegar a plantear una metodología o herramienta práctica de análisis del comportamiento de los sistemas y su entorno. En todo caso, esta obra ha servido de base firme, conceptual y filosófica para los posteriores desarrollos de las estructuras teóricas de sistemas.

## Modelos

La información que se tiene acerca de las características de los componentes de un sistema, su estructura y su comportamiento con respecto al medio que lo rodea, permiten crear una representación mental del mismo por medio de la cual se ordena su estructura teórica, que no es otra cosa que un Modelo del sistema en cuestión.

El conjunto de todos los *Modelos mentales* construidos y almacenados en el cerebro de cada ser humano constituye el concepto que cada persona tiene del mundo exterior, el cual le permite actuar bajo ciertos patrones predefinidos por sus experiencias anteriores (personalidad).

Cuando el ser humano tiene contacto con un sistema desconocido recibe la información de sus componentes, la estructura y el comporta-

miento del mismo; esta información le permite construir el modelo mental del sistema.

En el momento en el cual la persona interactúa con el sistema, bien sea operándolo u observando su funcionamiento, se crean experiencias que no son otra cosa que la actuación dinámica del modelo creado en la mente; estas experiencias permiten a la mente crear situaciones hipotéticas del funcionamiento del sistema, en cualquier momento o situación, lo que no es otra cosa que la *Simulación* del comportamiento del sistema en la mente del ser humano.

Cuando un individuo se plantea la necesidad de comunicar a otros las características de sus modelos mentales surge la necesidad de la representación física o abstracta de tales modelos; en conclusión, se puede deducir que un modelo es un sustituto de un objeto o de un sistema (modelo es la representación simplificada de un objeto o sistema).

Los modelos pueden ser de diversas formas y servir a muchos propósitos; los más conocidos son los *modelos físicos* que representan objetos, tales como los modelos arquitectónicos, los cuales ayudan a visualizar el uso del espacio físico y su distribución.

Aquellos modelos de características aún más abstractas son los que comprenden un grupo de reglas o relaciones que rigen el comportamiento de los componentes del sistema o de sus relaciones con el medio ambiente, y estos son los llamados *modelos abstractos* que pueden ser matemáticos, comprender descripciones literarias, colecciones de las reglas de juego o quizás códigos legales aplicados a situaciones específicas, o una mezcla de algunos de estos conceptos.

Dentro de las escuelas administrativas existen básicamente tres enfoques: el Clásico, el de Comportamiento y el de Modelamiento. Esta última corriente utiliza la teoría de decisiones, la teoría de sistemas y la construcción de modelos matemáticos de sistemas y procesos; Trata de explicar las organizaciones desde el punto de vista sistémico total. Según este enfoque, la identificación de relaciones entre los subsistemas, la pre-

dicción de efectos por cambios en el sistema y la implementación adecuada del cambio en el sistema forman parte de la administración de toda la organización (Everett E. Adam y Ronald J. Ebert, 1991:16).

Sistema significa ver la totalidad en vez de las partes sin conexión; ver las relaciones como un todo; desafortunadamente muchos análisis actuales sobre situaciones-problemas muestran una gran incompetencia para ver totalidades.

En este sentido Senge (1992: 91) señala:

El pensamiento sistemático es una disciplina para ver totalidades. Es un marco para ver interrelaciones en vez de cosas, para ver patrones de cambios en vez de “instantáneas” estáticas. Es un conjunto de principios generales destilados a lo largo del siglo veinte, y abarca campos tan diversos como las ciencias, física y sociales, la ingeniería y la administración de empresas. También es un conjunto de herramientas y técnicas especiales que se originan en dos ramificaciones: el concepto de “retroalimentación” de la cibernética y la teoría de los “servo mecanismos”, procedente de la ingeniería, que se remonta al siglo diecinueve.

Por otro lado, Ackoff (2004: 36) señala que un sistema es un conjunto de elementos interrelacionados. Por tanto, un sistema es una entidad que se compone de al menos dos elementos y una relación que es válida entre cada uno de los elementos, y al menos otros de los elementos del conjunto. Y señala que existen 4 tipos básicos de sistemas y modelos: Deterministas, Animados, Sociales y Ecológicos.

### *Modelo de Simulación de Eventos Discretos*

---

La simulación de eventos discretos es una herramienta de análisis que se difunde rápidamente en el ambiente empresarial, comprobando su utilidad para apoyar la toma de decisiones relacionadas con la planeación de la producción y los inventarios, y con el diseño de los sistemas de producción y sus cadenas de suministro (Guasch, 2003:7).

El concepto de sistema de evento discreto tiene como finalidad identificar sistemas en los que los eventos que cambian su propio estado ocurren en instantes espaciados en el tiempo, a diferencia de los sistemas cuyo estado puede cambiar continuamente en el tiempo (como la posición de un auto en movimiento). Aunque aparentemente simples, los sistemas de eventos discretos pueden modelar muchos de los fenómenos que enfrentan los responsables de la administración de los procesos productivos en una empresa. Por ejemplo, los inventarios de cualquier producto solo se alteran ante la ocurrencia de alguno de dos eventos: (1) ingreso de un lote de abastecimiento, o (2) retiro de cierta cantidad del producto para satisfacer el pedido de un cliente, de la misma manera como el dinero disponible en cualquier cuenta bancaria solo puede cambiar a consecuencia de un depósito o a consecuencia de un retiro (Rico, 1992: 24).

Los primeros intentos para simular sistemas de eventos discretos datan de la década de 1960s, cuando se desarrollan las primeras simulaciones en computadora para planear proyectos de gran envergadura, aunque a un costo alto y utilizando lenguajes de propósito general (a menudo FORTRAN). Las primeras herramientas para facilitar el uso de la simulación de eventos discretos aparecen en la forma de lenguajes de simulación en la década de 1970, aunque la programación en estos lenguajes se realiza todavía por medio de comandos escritos en un archivo.

Lenguajes como GPSS, SIMSCRIPT, SLAM y SIMAN tienen una amplia difusión en los años ochenta, paralela a una gran producción científica relacionada con las posibles aplicaciones de la simulación de eventos discretos y el desarrollo de métodos para el análisis de experimentos por simulación, con el fin de generar por computadora la ocurrencia de eventos siguiendo patrones probabilísticos y permitir que el motor del lenguaje pueda modelar una gama amplia de aplicaciones.

En la década de 1990 la difusión de las computadoras personales y la aparición de paquetes de simulación que se programan en ambientes gráficos, y con capacidades de animación, permiten que la simulación se

difunda ampliamente como herramienta para el diseño y análisis en diversos sectores, tanto de la industria de manufacturas como de la de servicios (por ejemplo Educación, Telecomunicaciones, Salud, Transporte y Cadenas de Suministro).

Actualmente, se pueden distinguir en el mercado dos tipos de paquetes para simulación de eventos discretos: los de propósito general y los orientados hacia alguna aplicación o sector industrial específico. Entre los paquetes más conocidos de propósito general se pueden mencionar Arena, Simul8, GPSS/H, AweSim, y MODSIM III; mientras que entre los paquetes con orientación hacia alguna aplicación están AutoMod, ProModel, SIMFACTORY II.5, QUEST y Arena Packaging Edition para manufactura, COMNET III y OPNET Modeler para redes de comunicaciones, SIMPROCESS, ProcessModel, ServiceModel y Arena Business Edition para analizar flujos en procesos de negocios y MedModel para servicios del cuidado de la salud.

Los paquetes mencionados permiten programar en un ambiente gráfico por medio de módulos y pueden incorporar animación a sus modelos, lo que además de facilitar la programación del modelo de simulación, constituye una herramienta valiosa para la verificación y demostración de las capacidades del modelo.

### *Aplicaciones en manufactura*

---

La manufactura ha sido tradicionalmente una de las áreas de aplicación más importantes para la simulación de eventos discretos; tanto que la mayoría de paquetes de simulación de propósito general incluyen módulos para modelar fácilmente recursos y características de los sistemas de manufactura; por ejemplo, los módulos que se utilizan para modelar el desempeño de recursos de mano de obra y equipo a menudo tienen capacidad para modelar indisponibilidad de los recursos, así como fa-

llas y bloqueos que pudieran ocurrir durante el proceso de manufactura (Guasch, 2003: 43).

Con frecuencia los paquetes de simulación disponen también de módulos para modelar el comportamiento de equipo en el manejo y traslado de materiales, como vehículos automáticos, bandas transportadoras, carros, montacargas u otros mecanismos para el transporte de materiales. Cabe mencionar que el modelado de ciertos transportadores (como las bandas transportadoras) utilizando algún lenguaje de propósito general no es trivial. La capacidad de los paquetes de simulación de eventos discretos para modelar mecanismos de transportación se ha utilizado exitosamente para modelar también la congestión en sistemas de transporte vial.

Las principales aplicaciones de la simulación de eventos discretos en manufactura se relacionan tanto con el diseño y disposición de las instalaciones como con la planeación y el control de las actividades productivas. Las aplicaciones relacionadas con el diseño y disposición de las instalaciones incluyen la evaluación de decisiones sobre el número, tipo y disposición de máquinas y equipo, la localización y tamaño de los diferentes espacios para el material en proceso, y los requerimientos de transportadores y equipo de apoyo, entre otros. En cuanto a las aplicaciones relacionadas con la planeación y el control de la producción, se puede mencionar la comparación de diferentes políticas para la programación y secuenciación de las órdenes de producción, para la administración de inventarios, para la asignación de recursos o también para evaluar el efecto de diferentes políticas de mantenimiento y renovación de equipos.

### *Aplicaciones en transporte y cadenas de suministro*

---

Debido a que los simuladores de eventos discretos tienen capacidad para modelar el comportamiento de sistemas para el transporte de personas y artículos, sus aplicaciones para el diseño tanto de sistemas de transporte

(en particular de aeropuertos) como para el diseño y evaluación de cadenas de suministro empiezan a difundirse ampliamente. Una demostración de esto es (Trkman, 2007: 116), trabajo en el que se desarrollaron modelos de proceso de empresas asociadas a cadenas de suministro, para medir los beneficios de la creación y la renovación.

A menudo el modelado de una cadena de suministro permite evaluar la velocidad de respuesta de la cadena que, como se mencionó en la introducción, es uno de los factores determinantes para una adecuada atención al cliente. Un área donde las aplicaciones de la simulación son de particular relevancia es la de Administración de Inventarios, en particular la determinación de inventarios de seguridad, tamaños de pedidos y puntos de reorden en los diferentes pasos de la cadena de suministro, teniendo en cuenta que a menudo estas decisiones son muy importantes, ya que influyen directamente en los costos del sistema y en el nivel de servicio al cliente; y por otro lado, el análisis de estas decisiones tiene un alto grado de incertidumbre, que requiere del apoyo de herramientas que -como la simulación de eventos discretos- permitan modelar la incertidumbre (Vieira, 2004: 1420).

La simulación es también una herramienta muy útil para analizar sistemas de transporte o distribución, como es el caso del trabajo de Nonino F. (2007: 57) con una propuesta de integración de la producción-sistemas de distribución. Otra aplicación importante, como se mencionó antes, se da en el apoyo del proceso de planeación en aeropuertos, debido a diversos factores, entre los cuales pueden mencionarse que el tráfico en los aeropuertos está sujeto a cambios imprevistos y que los mecanismos que gobiernan el flujo de equipaje y personas a menudo pueden descomponerse en subprocesos bien definidos; por otro lado, los cambios propuestos en el diseño de un aeropuerto no se pueden experimentar antes de ser implementados, por lo que la simulación se convierte en una herramienta ideal para su análisis.

## Modelo de Simulación de Procesos Continuos

---

El *análisis de sistemas* ayuda a acceder a soluciones complejas ubicando los puntos de apalancamiento más convenientes. Para ello, es necesario ver el total en vez de las partes, como ya se dijo. En lugar de ver los elementos de una organización en forma aislada, conviene verlos como elementos parciales de la realidad industrial. Es obvio que esta realidad industrial es mucho más compleja que alguna individualidad en particular. Sin embargo, es útil conocer que hay dos tipos de complejidades: una relativa a los detalles y otra relativa a la dinámica. Esta última está presente en situaciones donde la *causa y el efecto son sutiles*, y donde el efecto de la intervención a través del tiempo no es obvio, por ejemplo, las técnicas de pronósticos, planificación o algún método analítico convencional que no está equipado para afrontar la complejidad dinámica. Un conjunto complejo de industrias para ensamblar un equipo o el inventario de una fábrica supone complejidad dinámica, pero ninguna de estas situaciones es específicamente compleja en términos dinámicos.

Cuando la misma acción tiene efectos distintos a corto y a largo plazo hay complejidad dinámica. Cuando la misma acción tiene unas consecuencias en un punto y otras en otra parte del sistema hay complejidad dinámica. Los modelos gerenciales adoptados para guiar a la dirección sobre decisiones oportunas y eficaces que tienen efectos en el corto, mediano y largo plazo tienen complejidad dinámica.

La ubicación de los puntos de apalancamiento más consistentes en muchas situaciones industriales obliga a comprender la complejidad dinámica, no la complejidad de los detalles. El problema es el equilibrio entre un modelo gerencial, el clima organizacional y la calidad de los productos; este equilibrio tiene características dinámicas. Mejorar continuamente la calidad, reducir costos y lograr la satisfacción de las necesidades y los deseos del cliente es un problema dinámico.

El concepto de *Dinámica de Sistemas* se orienta a ver la organización como un todo y las interacciones de las partes relacionadas (Aracil, 1997: 18) y el Pensamiento Sistémico es una disciplina para ver las estructuras que subyacen en las situaciones complejas y para discernir cambios de alto y bajo apalancamiento. Para ubicar puntos de alto apalancamiento hay que comprender la complejidad dinámica que normalmente está presente cuando la misma acción tiene efectos distintos tanto a corto como a largo plazo, o cuando una acción tiene un conjunto de consecuencias locales y otro conjunto de consecuencias distintas en otra parte del sistema (Senge, 1992: 17).

Una de las herramientas básicas en el análisis de sistemas es el *concepto de retroalimentación* (Control en Teoría Cibernética), la cual procura el funcionamiento del sistema en consideración al medio.

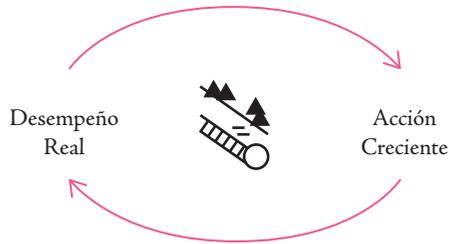
Un modelo es cualquier representación simplificada de la realidad. La modelación informática no necesariamente significa producir estructuras impenetrables. No puede alimentarse un modelo con todo lo que se sabe. Solo debe introducirse lo que es relevante para el objetivo. El arte de los modelos de este tipo como el arte de la poesía, de la arquitectura o del diseño de la ingeniería es incluir solo lo necesario para lograr el objetivo y nada más; por lo tanto, para comprender un modelo y juzgar su validez se necesita comprender su objetivo.

Otra herramienta importante es *la Causalidad*: círculos de causa - efecto que reflejan el comportamiento del sistema representado en un modelo dinámico. Un lazo genérico reforzador de causa - efecto se muestra en la Figura 1.

Este ciclo genera crecimiento y colapso, y continúa a un ritmo cada vez más acelerado. Los procesos reforzadores están presentes en situaciones donde las cosas crecen siguiendo un patrón que las matemáticas denominan *crecimientos exponenciales*. Muchas actividades humanas, industriales o biológicas pueden analizarse mediante las curvas de crecimiento exponencial. El crecimiento exponencial se produce, bien sea porque una

Figura 1.

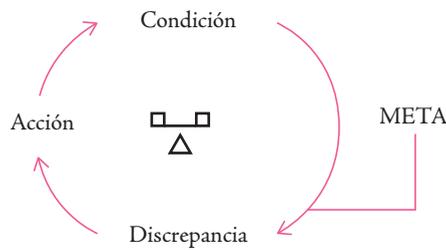
### Círculo Causal Reforzador



Tomado de *La quinta Disciplina* por Peter Senge, 1992: 26.

Figura 2.

### Círculo Causal Compensador



Tomado de *La quinta Disciplina* por Peter Senge, 1992: 27.

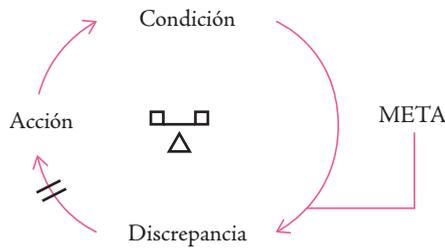
entidad que crece se reproduce a sí misma desde sí misma, o porque una entidad que crece es empujada por algo que se reproduce a sí mismo desde sí mismo (Meadows, 1992: 52).

En los sistemas reforzadores un cambio pequeño se alimenta de sí mismo. Todo movimiento se amplifica produciendo más movimiento en la misma dirección. Un sistema compensador busca un equilibrio hacia la meta. El autocontrol procura mantener esta meta (ver Figura 2).

La Figura 2, en cambio, muestra un ciclo compensador que genera fuerzas de resistencia a los ciclos reforzadores con el objeto de conservar la estabilidad y corregir equilibrios.

Figura 3.

### Círculo Causal Compensador con demora



Tomado de *La quinta Disciplina* por Peter Senge, 1992: 28.

En muchas ocasiones estos círculos compensadores actúan de manera demorada, como se señala en la Figura 3. También las demoras están presentes en los círculos reforzadores; este elemento debe tenerse presente en el momento de diseñar estructuras recurrentes; su presencia es generalizada en muchos sistemas humanos, por ejemplo, tomamos una decisión ahora para obtener beneficios luego (ver Figura 3).

Las demoras pueden ejercer enorme influencia en el sistema acen- tuando la repercusión de otras fuerzas. Esto sucede porque las demoras son sutiles: a menudo se dan por sentadas, o se ignoran por completo y siempre se subestiman. En los ciclos reforzadores las demoras erosionan la confianza porque el crecimiento no llega con la rapidez esperada. En los ciclos compensadores las demoras pueden cambiar drásticamente la conducta del sistema; cuando se tienen retrasos se tiende a actuar sobre el sistema con impaciencia, habitualmente redoblando el esfuerzo para obtener lo que se desea; esto provoca oscilaciones innecesariamente vio- lentas. Uno de los propósitos de dibujar diagramas de sistemas es no pasar por alto ninguna demora; además, los retrasos causan desperdicio, y por ello, la eliminación de las demoras es un método clave para acelerar el tiempo de ciclo.

Estas estructuras teóricas son partes de estructuras mayores que algunos pensadores sistémicos denominan arquetipos sistemáticos o estructuras genéricas (dos de ellos se mencionan posteriormente) y la contribución de estas estructuras al desarrollo de problemas tiene un valor considerable para la gerencia actual, porque permite ver el todo sin olvidar las partes, es decir, se mejora la percepción y en consecuencia se observan mejor los puntos que requieren más actuación para lograr cambios importantes.

Otro concepto importante en la formulación y construcción de un modelo cerrado está planteado por el principio de que el comportamiento de un sistema no es causado por un agente externo, proveniente de un hecho fortuito, sino precisamente por la forma en que la retroalimentación del sistema asimila ese evento fortuito (Checkland y Acholes, 1994: 35). En este punto será necesario que el análisis tradicional de sistemas, planteado por los estudios de la Teoría General de los Sistemas de Bertalanffy en 1968, sufra reorientaciones en alguno de sus puntos de vista, cambiando por ejemplo el concepto de eventos fortuitos por el de retroalimentación.

Este concepto implica el uso del punto de vista según el cual el comportamiento del sistema obedece a los ciclos de predicción - preparación, en vez de la idea de que son los eventos fortuitos, como un hecho aislado, la causa del comportamiento del sistema. Esta reorientación viene junto con los conceptos muy generalizados de análisis discreto y análisis continuo, en los cuales el análisis discreto se basa en eventos aleatorios externos al sistema, pero influyentes en él, como datos de entrada (simulación discreta), mientras que el análisis continuo está sustentado por los lazos de retroalimentación y el concepto de que los eventos fortuitos son causados por las actividades de metas que se van a alcanzar.

Dicha orientación estaría dada por el concepto discreto (simulación discreta) de alcanzar en el sistema un equilibrio estático, en el proceso del análisis de un sistema, contrapuesto al punto de vista del equilibrio dinámico (Dinámica de Sistemas). Es necesario resaltar aquí que el con-

cepto de *causalidad* no implica una relación lineal, sino circular; se dice, por ejemplo: un cliente satisfecho hace comentarios positivos y causa más ventas (causalidad considerada en una sola dirección). Pero esta afirmación es tan válida como decir que más ventas hacen más clientes satisfechos y causan más comentarios positivos (Figura 1).

Estas estructuras técnicas son soporte de representación y análisis de sistemas físicos. La retroalimentación ayuda a reconocer tipos de estructuras recurrentes o patrones de cambios. Los círculos causales permiten enfrentar problemas dinámicos complejos y opciones estratégicas, especialmente cuando las personas, los equipos y las organizaciones necesitan trascender lo importante para poder ver las fuerzas que modelan el cambio.

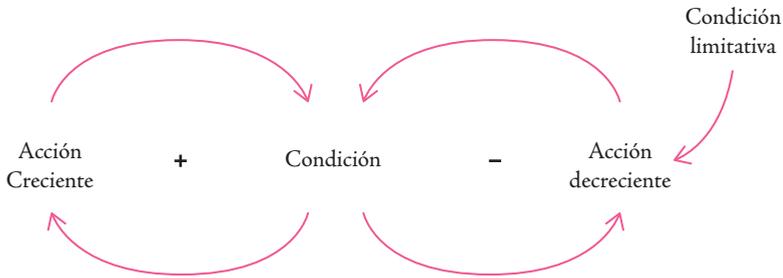
En el pensamiento sistémico, la retroalimentación es un concepto amplio que alude a todo flujo de influencia recíproca. *“En el pensamiento sistémico es un axioma que toda influencia es causa y efecto. Nunca hay influencia en una sola dirección”* (Senge, 1992: 100). Ya anteriormente se señalaron los conceptos de retroalimentación reforzadora y compensadora.

Existen, entre otras, dos estructuras que surgen con frecuencia: Límites del Crecimiento y Desplazamiento de la Carga. La primera sucede cuando un sistema reforzado se inicia y crece, pero es desacelerado o detenido por un sistema compensador. En este caso, por principio, conviene eliminar los factores limitantes del crecimiento o los compensadores. Por ejemplo, un equipo de trabajo mejora, tiene logros por un tiempo, pero luego deja de mejorar. En general, en todas las cosas que crecen pero luego se detienen está presente la actuación de límites. La estructura de este arquetipo indica la presencia de un proceso reforzador y de un proceso compensador que gráficamente se observa en la Figura 4.

La estructura de Desplazamiento de la Carga se da cuando un problema se aborda a través de soluciones superficiales dejando intacta la causa raíz. Es obvio que la mejor acción es reducir o eliminar las causas fundamentales, en caso contrario el problema reaparece con más fuerza.

Figura 4.

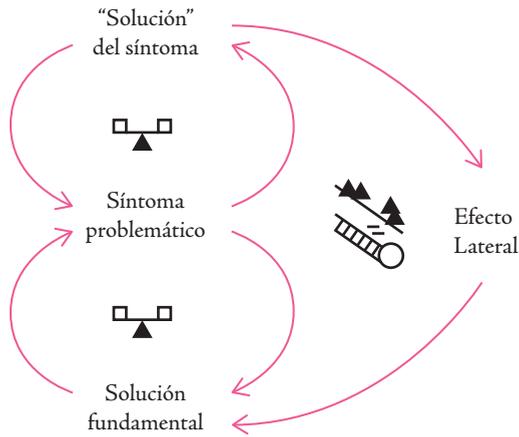
### Límites del crecimiento



Tomado de *La quinta Disciplina* por Peter Senge, 1992: 127.

Figura 5.

### Desplazamiento de la carga



Tomado de *La quinta Disciplina* por Peter Senge, 1992: 137.

Por ejemplo, resolvemos el problema del estrés laboral haciendo ejercicios, cuando lo adecuado es organizar mejor el trabajo; sucede que se desplaza la carga hacia el ejercicio, formándose un círculo difícil de romper si no se abordan las causas de raíz. "La estructura de este arquetipo está compuesta por dos procesos compensadores; ambos tratan de ajustar o corregir el síntoma" (Senge, 1992: 139) (ver Figura 5).

Los factores, estructuras y flujos dan respuestas a sistemas dinámicos que se especifican en la Técnica de Dinámica Industrial (Forrester, 1961: 38). El objetivo de la dinámica industrial es analizar el comportamiento industrial utilizando técnicas de simulación que muestran la forma en que se responde a una decisión gerencial en atención a las políticas preestablecidas.

Dentro de un estudio dinámico se han clasificado los sistemas en abiertos y cerrados. En los abiertos las salidas son respuestas a las entradas externas del mismo e incorporan todos los componentes del sistema convencional.

Los resultados del análisis permiten comprender la manera en que la estructura organizativa de una empresa afecta su desempeño. Se utilizan técnicas de simulación para probar distintas políticas alternas de administración; la simulación pretende determinar el comportamiento característico del sistema, en vez de predecir eventos puntuales; los eventos puntuales, tales como hacer un pedido o enviar un producto son eventos distintos; sin embargo, un estudio de dinámica industrial reúne los eventos y considera al sistema como continuo.

Un concepto de la dinámica industrial de un sistema se concentra en las velocidades a las que cambian los distintos factores y los expresa como variable continua. El flujo de pedido de los clientes se describe como una determinada tasa de pedidos y su entrega se representa usualmente como una tasa, se integra la diferencia entre las dos tasas para dar el nivel de pedidos y satisfacer a los clientes en todo evento (Geoffrey, 1980: 48).

Es decir, las salidas son aisladas de las entradas. En cambio, los sistemas cerrados, llamados también retroalimentados, son aquellos en los que hay auto influencia de su comportamiento previo en su actuación presente.

Cuando se estudia un sistema cerrado es importante identificar la vuelta que se va a alcanzar; para lograrlo es necesario representar el sistema por medio de estructuras retroalimentadas, entre las cuales se puede

encontrar la de retroalimentación positiva, como es el caso de procesos de crecimiento donde los resultados generan un crecimiento cada vez mayor. En cambio, los sistemas de retroalimentación negativa buscan alcanzar una meta deseada, corrigiendo su rumbo cada vez que se obtienen resultados que no son exactamente lo planeado, hasta lograr que el funcionamiento del sistema alcance dicha meta.

La práctica del análisis sistémico permite que un estudio de dinámica industrial abarque aspectos de producción, distribución y venta de productos. Una estructura básica simple pero importante para representar una estructura industrial se fundamenta en una relación entre niveles y tasas; las tasas de flujo se controlan mediante funciones de decisión que dependen de las condiciones del sistema.

Los niveles representan la acumulación de distintas entidades del sistema, por ejemplo, inventarios, pedidos y clientes satisfechos, cantidad de empleos, nivel de experiencia, etc. El valor actual de un nivel en cualquier evento representa la diferencia acumulada entre el flujo de entrada y el de salida para ese nivel. Se define que las relaciones a tasa representan el flujo instantáneo de un nivel. Las tasas corresponden a la actividad, mientras que los niveles miden el estado resultante al cual la actividad ha llevado al sistema. Las tasas de flujo se determinan por los niveles del sistema de acuerdo con reglas definidas por las funciones de decisión, las cuales son afirmaciones de la política que se señala como la información disponible acerca de los niveles que conducen a las decisiones (Forrester, 1961: 57).

En general, estas relaciones de niveles y tasas son básicas para adelantar el proceso de simulación que en términos conceptuales significa: representar por imitación el funcionamiento de un sistema o proceso por medio del funcionamiento de otro (una simulación por computadora de un proceso industrial, por ejemplo).

Para iniciar un proceso de simulación debe existir, en primer lugar, un modelo de lo que se quiere simular. Hay varias clasificaciones de modelos, pero los más usuales son los físicos (por ejemplo, el modelo de un

avión), análogos (por ejemplo, una escala donde la división de un resorte o haz representa el peso), esquemático (por ejemplo, diagramas de circuitos eléctricos) y simbólicos (por ejemplo, código de computación o modelos matemáticos que representan un cajero humano o automático).

La información que se tiene de las características de un sistema, su estructura y su comportamiento con respecto al medio que lo rodea, permite crear una representación mental del mismo por medio de la cual se ordena su estructura teórica, la cual no es otra cosa que un modelo del sistema en cuestión. A manera de definición un modelo es la representación simplificada de un objeto o sistema (Rico, 1992: 38).

La experimentación con modelos que funcionan como si fueran el sistema, bien sea en condiciones reales o hipotéticas, es la simulación de sistema. Esta experimentación con el modelo se utiliza con bastante éxito para comprender verdaderamente el funcionamiento de un sistema complejo y muchas veces para alcanzar el diseño más adecuado de un sistema artificial.

Dichos experimentos pueden realizarse en una computadora antes de que el sistema real entre en operación. La simulación o la complejidad del problema hacen difícil o imposible aplicar técnicas de optimización, por lo tanto, los talleres de trabajo que se caracterizan por tener problemas de colas han sido sujetos de extensos estudios por medio de simulación, así como ciertos tipos de problemas de inventarios, distribución de plantas y mantenimiento, entre otros.

Además, la simulación sirve para capacitar a los gerentes y a los trabajadores en cuanto a la forma de los cambios en las variables del sistema, en el control del tiempo real y, al desarrollar nuevas teorías, acerca de las relaciones matemáticas o de la organización.

Para hacer efectivo un experimento a través de la simulación en una computadora, es necesario contar con un software apropiado como, por ejemplo, el Vensim que es una herramienta poderosa para construir y crear modelos de simulación dinámica.

Sus características establecen un diagrama editor que ayuda a definir el modelo, representando específicamente las variables, las líneas de información y los flujos de materiales. Las líneas de información representan la relación entre las variables que conectan, y la definición exacta es definida como una ecuación en el lenguaje Vensim.

El comportamiento del modelo se observa en el mismo diagrama, de manera que las variables, las líneas y los flujos crean la estructura del modelo. Para su construcción en lenguaje Vensim se tienen variables de nivel, ratas de flujo, variables auxiliares, constantes, líneas de información y líneas de información con demora.

La conjugación de estos elementos puede conformar un modelo industrial complejo o un modelo elemental de algún subsistema. El propósito del Vensim es hacer la descripción de un sistema real en un modelo imaginario. Cuando se simula el modelo, los resultados del comportamiento pueden ser usados para hacer análisis del comportamiento del sistema discreto.

Un modelo consiste en establecer las relaciones de los componentes denominados variables; construir un modelo es hacer las definiciones de las variables y las relaciones entre ellas, vale decir niveles y tasas.

La Dinámica Industrial (ID) creada por el Profesor Jay Forrester del Massachusetts Institute of Technology (MIT) es un enfoque que agrupa una serie de conocimientos teóricos de varias disciplinas muy difundidas en la Ingeniería y en la Administración; la Dinámica Industrial logra un modelo que representa matemáticamente el comportamiento dinámico de los sistemas, se permite la simulación continua y el monitoreo de indicadores de gestión de un sistema, con la ayuda de computadoras digitales.

La Causalidad, representada por medio de los circuitos de causa y efecto del comportamiento de los sistemas, constituye la principal base teórica del modelo dinámico que representa un sistema en estudio.

Los modelos de Dinámica Industrial se basan, además, en otro concepto muy difundido en el mundo de los servomecanismos conocido

como retroalimentación; este concepto ha sido aplicado desde hace más de un siglo en la representación, estudio y diseño de sistemas mecánicos y eléctricos, con bastante éxito.

El uso de esta técnica en la representación y análisis de los sistemas físicos es tan antiguo como exitoso, debido al conocimiento exacto y generalizado de la representación matemática del comportamiento de los componentes de los sistemas estudiados.

No ocurre lo mismo con los sistemas socioeconómicos y biológicos relacionados con el comportamiento humano y para los cuales es muy difícil encontrar una representación matemática de su comportamiento universalmente válida. Sin embargo, la combinación de los conceptos de *causalidad* y *retroalimentación*, aplicada al estudio y análisis de sistemas socioeconómicos, dieron origen a lo que es conocido como la «Dinámica Industrial».

Por medio de la metodología de Dinámica Industrial se han diseñado y desarrollado herramientas de software muy poderosas y exitosas para el análisis y diseño de sistemas socioeconómicos y para cualquier otro sistema que pueda ser representado con los conceptos de *causalidad* y *retroalimentación*. Cabe mencionar aquí de nuevo el Vensim, así como el mucho más poderoso y amigable STELLA (Structural Thinking Experimental Learning Laboratory with Animation) desarrollado para el ambiente y filosofía Macintosh.

## Otros conceptos básicos sobre Dinámica de Sistemas

El estudio dinámico de sistemas tiene fundamento en el análisis de su comportamiento, con base en el cual se han clasificado los sistemas en abiertos y cerrados.

Un sistema abierto es aquel en el que las características de sus salidas (*output*) son las respuestas a las entradas externas del mismo (*input*),

pero a su vez sus resultados o salidas son completamente aislados de las entradas al sistema, lo que significa que un sistema abierto se despreocupa de su propia actuación, focalizándose en cumplir sus metas fijadas por medio de la programación externa.

Un automóvil, por ejemplo, en sí es un sistema abierto, pues no se conduce por su cuenta en un momento dado, con base en actuaciones anteriores.

Un sistema cerrado o frecuentemente llamado también retroalimentado es aquel en el que hay una auto influencia de su comportamiento previo en su actuación presente. Un ejemplo clásico de sistema cerrado lo constituye el sistema de aire acondicionado de una casa, que es controlado por un termostato, el cual responde al frío previamente producido por el aparato para, con base en él, regular en forma automática la temperatura ambiente del interior de la casa.

Es oportuno aclarar que la clasificación de sistemas en abiertos y cerrados no es intrínseca a las partes que lo constituyen ni a la forma en que esas partes se relacionan entre sí o con el entorno, sino que dependen solamente de la óptica que el analista utilice para definir los componentes del sistema y sus limitaciones o bordes.

En el ejemplo anterior del automóvil como sistema abierto, si se considera al conductor como parte de ese sistema, dicho sistema abierto se transforma en cerrado, ya que puede ser retroalimentado por la experiencia anterior para su actuación presente.

Para estudiar un sistema cerrado o retroalimentado es importante la identificación y proporción de las metas que se deben alcanzar (*goal seeking*). Para ello se requiere de la representación del sistema por medio de las Estructuras de Retroalimentación (*feedback*), entre las cuales se pueden encontrar las de retroalimentación positiva principalmente en los procesos de crecimiento, donde los resultados generan un aumento cada vez mayor (por ejemplo, la multiplicación de bacterias que produce cada vez más bacterias, las cuales a su vez incrementan su tasa de crecimiento).

Los sistemas de estructura de retroalimentación negativa, buscan alcanzar una meta deseada corrigiendo su rumbo cada vez que se obtienen resultados que no son exactamente los planeados, hasta lograr que el funcionamiento del sistema alcance dicha meta (por ejemplo, el sistema de aire acondicionado de la casa, el cual busca por sí mismo, mantener la casa a una temperatura previamente establecida).

La estructura de un sistema y su comportamiento son inseparables, lo que conduce al concepto de causalidad, representado por los diagramas circulares de causa - efecto o de retroalimentación.

Un concepto importante en la formulación y construcción de un modelo cerrado es el principio de que el comportamiento de un sistema no es causado por un agente externo proveniente de un hecho fortuito, sino precisamente por la forma en que la retroalimentación del sistema asimila ese evento fortuito.

En este punto resulta necesario que el análisis tradicional de sistemas, planteado por los estudiosos de la Teoría General de Sistemas (Bertalanffy, etc.), reoriente algunos de sus puntos de vista cambiando por ejemplo el concepto de evento fortuito por el de retroalimentación.

Este concepto implica un punto de vista donde el comportamiento del sistema obedece a los ciclos de *Predicción- Preparación*. Este comportamiento se puede definir como el evento fortuito o hecho aislado que causa el comportamiento del sistema.

Esta reorientación planteada viene junto con los conceptos generalizados de *Análisis Discreto* y *Análisis Continuo*, así:

- ✦ **Análisis Discreto:** se basa en eventos aleatorios, externos al sistema, pero influyentes en él como datos de entrada (Simulación Discreta).
- ✦ **Análisis Continuo:** está sustentado por los lazos de retroalimentación y el concepto de que los eventos fortuitos son causales de las actividades de metas que se van a alcanzar (Dinámica Industrial/Simulación Continua).

Otra reorientación necesaria estaría dada por el concepto discreto (Simulación Discreta) de alcanzar en el sistema un *Equilibrio Estático* (*Stedy-State*) en el proceso del análisis de un sistema; contrapuesto al punto de vista del *Desequilibrio Dinámico* (dinámica industrial).

De nuevo, se insiste aquí en que el concepto de *Causalidad* no implica una relación lineal, sino que es circular; se dice, por ejemplo:

“*El exceso de trabajo causa estrés*” (Causalidad considerada en una sola dirección).

*Pero es tan legítimo como decir que: “El estrés causa exceso de trabajo”.*

Es muy difícil lograr que todas las metas de un sistema se satisfagan en forma simultánea, principio implícito en el concepto del *equilibrio estadístico*. Si un sistema está en equilibrio no habrá incentivo alguno para pensar en cambios, puesto que todas las condiciones son iguales a las deseadas, lo que implica que no existe discrepancia con respecto a las metas fijadas.

Al abolir la suposición de equilibrio se puede plantear, por ejemplo, que la producción de una planta no tiene por qué ser necesariamente igual a las ventas, sino que podría existir una sobreproducción, del concepto de *desequilibrio dinámico*.

### *Los lazos de retroalimentación*

---

En la Figura 1 puede apreciarse la estructura básica de un lazo de retroalimentación, en la cual se evidencia que el lazo es un camino circular cerrado que conecta las decisiones que a su vez controlan las acciones en el sistema y los estados asumidos por este (*Niveles*) a través del tiempo. La información relacionada con los Niveles del sistema debe regresar más tarde al punto donde se toman las Decisiones, para cerrar el *Círculo de Causalidad*.

En la representación de un sistema cualquiera podría haber demoras adicionales y distorsiones que pueden aparecer secuencialmente en

el lazo; estas circunstancias podrían dar origen a representaciones con lazos interconectados en forma secuencial o serial, según sea la lógica del funcionamiento del sistema que va a ser modelado.

La información disponible que se recopila del sistema y que debe ser presentada en un cuadro de información, en la forma en que existe en cada instante, será la base para la toma de decisiones por parte de la administración con el fin de ejercer control sobre el funcionamiento del sistema. La acción adoptada alterará el Nivel del sistema. El Nivel (Nivel real) es el generador de las informaciones relativas al sistema y su actuación, pero la información por sí misma pudiera ser espontánea y/o errónea.

La Información es entonces el Nivel Académico del sistema, el cual puede diferir del Nivel real. Uno de los problemas más graves de esta metodología es que el Nivel aparente (Información disponible) no es el Nivel real y, sin embargo, es la base del proceso de toma de decisiones.

Se presenta en el siguiente ejemplo el sistema constituido por la generación de órdenes de compra para mantener el inventario de un almacén.

En este sistema, la decisión genera una sucesión de órdenes que deben ser entregadas por el suplidor (después de la demora normal causada por el envío o la manufactura de los artículos); las entrega al almacén modificando, como consecuencia, el inventario. El inventario es fuente de información en sí mismo, pero esta información podría contener errores por extemporánea, así que, no siempre reflejaría el verdadero Nivel real del inventario.

La información relacionada con el inventario será el dato de entrada sobre el cual se basa la decisión de ordenar. En un sistema más complejo habrá, por supuesto, otros datos de entrada que influirán en esta decisión. Este lazo de Control de Inventario estará en continua operación y los cambios se podrán presentar en cualquier parte del lazo. La sucesión de órdenes, en un momento dado, corresponde a la decisión que se toma en ese instante, y ésta a su vez depende de la información actual. Sin

embargo, el nivel actual del sistema no depende de la acción tomada en el mismo momento, sino de la acumulación de las acciones tomadas hasta el presente.

La información por sí misma es uno de los niveles del sistema y puede ocurrir que los cambios de la información difieran de los cambios de la variable verdadera, que supone representar. La información no es determinada por la verdadera situación actual, ya que no está disponible en forma instantánea y exacta, sino que es generada por la anterior condición, transmitida, analizada y digerida. Por lo tanto, existe siempre una cierta discrepancia entre el Nivel real del sistema y el nivel de la información que lo gobierna.

### Representación de diversos comportamientos del sistema

Las *Variables de Estado* de un sistema cambian de valor cada vez que ocurre un evento o se realiza una transacción dentro de su estructura que hace cambiar algún nivel, bien sea como consecuencia de un factor interno o de un factor externo al sistema.

Al identificar una variable de estado que permite al observador analizar el comportamiento del sistema siguiendo los valores que ella asume a través del tiempo, estos valores servirán como *Indicadores de Gestión* para anunciar los valores que convienen o no al funcionamiento del sistema, y por consiguiente recomendar a la persona que toma las decisiones ejecutivas las correcciones que sean necesarias en el momento oportuno, para que el sistema alcance sus objetivos.

En un lazo de retroalimentación positiva, las variables simples se muestran ascendentes o descendentes en forma exponencial con tasas de crecimiento, a su vez, ascendentes o descendentes.

Esa interacción de actividades en un lazo de retroalimentación negativo puede presentarse en un rango que va desde que se llega al objetivo con una pendiente pronunciada hasta otro en el que las aproximaciones

son lentas y erráticas, pero dirigidas siempre al objetivo planteado hasta lograr valores aceptables.

Estos dos tipos de representaciones, en forma individual o mezclados en forma caprichosa según la lógica de funcionamiento del sistema sintetizan sus variaciones, estudiadas a través del tiempo por medio de la Dinámica Industrial.

En seguida se presenta un grupo de ejemplos y sus comentarios, a manera de muestra representativa de los comportamientos más comunes de variables de estado de sistemas cerrados, hasta ahora vistos desde la óptica planteada en este trabajo.

Una curva tipo logística es la propia representación más simple de un sistema de retroalimentación positiva, en el cual la variable crece a una tasa decreciente, hasta llegar a un valor final.

Podría representar el crecimiento de un grupo de vendedores, que se incrementa con el rendimiento de ventas individuales, hasta llegar a un tamaño máximo fijado por la empresa.

También podría representar el llenado de un tanque de agua, controlado por un flotador, el cual va reduciendo el caudal (rata), a medida que el nivel del tanque se incrementa hasta llegar a la capacidad del tanque (nivel máximo permitido).

Una curva en zigzag es un enfoque mucho más complicado para alcanzar el valor final, ya que el sistema sobrepasa este valor en el primer intento y luego al hacer las correcciones desciende mucho, iniciando allí un zigzag hasta lograr una aproximación más adecuada al valor final.

Este comportamiento puede ser causado por un excesivo tiempo de respuesta en el sistema de retroalimentación o por esfuerzos muy violentos en la acción de corregir las diferencias entre el nivel aparente del sistema y el valor programado.

Este comportamiento es típico de las fluctuaciones de la producción industrial causadas por las influencias de los ciclos económicos.

También se observa en el comportamiento de los precios de artículos de primera necesidad, cuando la oferta y la demanda se tratan de equilibrar entre sí.

Igualmente, se podría observar en el comportamiento de un borracho tratando de introducir la llave en la cerradura de su casa a altas horas de la noche.

Esta curva muestra un crecimiento hasta el infinito con una tasa exponencial; dicho comportamiento es típico de la multiplicación de las células o de las especies en su hábitat.

Puede verse también en el crecimiento de las ventas en una empresa que contrata cada vez más vendedores, porque su problema no es la producción (cuenta con *stocks* ilimitados).

Se ve también en la reacción en cadena de una explosión atómica o en la multiplicación de conejos en un medio propicio.

Esta es una curva que muestra una primera sección de crecimiento exponencial seguida de un zigzag en busca del valor deseado como comportamiento del sistema.

Dicho comportamiento se puede observar muy claramente en el crecimiento de los animales, sin que con ello se supere el valor esperado en la etapa final, sino alcanzarlo y tener algunos valores por debajo en forma de zigzag, pero muy cerca del límite máximo.

También puede observarse en el crecimiento poblacional de cualquier raza de animales salvajes en su hábitat: la población al comienzo crece a una tasa decreciente hasta que se estanca su crecimiento por falta de medios de vida debido a la superpoblación.

Este tipo de curva también puede representar el comportamiento de una planta de energía nuclear, donde la rata de fisión crece hasta alcanzar los niveles operacionales, para luego moderar su crecimiento por los sistemas de control.

Igualmente, puede representar el crecimiento de la demanda de un producto muy publicitado, que empieza a declinar por saturación del mercado o quizás porque la empresa ha llegado a la máxima capacidad de producción, o porque el fabricante ha descuidado la calidad del producto.

# **CAPÍTULO II**

Identificación de un comportamiento interesante desde la Perspectiva Sistémica

A continuación se presenta una serie de consideraciones importantes para ser tomadas en cuenta por el simulador que formula y construye un Modelo de Dinámica de Sistemas.

Se debe encontrar el grupo más simple de elementos y sus relaciones, el cual debe tener la capacidad de generar el comportamiento que interesa al análisis deseado. Aquí, *la fase de identificación sistémica* es fundamental si tiene que ver con el futuro de la organización; no obstante, este proceso se basa, por naturaleza, en las experiencias del pasado. Como dice el dicho: “para mirar hacia adelante es necesario mirar hacia atrás” y es tan natural que ni siquiera pensamos en ello. En ese sentido, comprender mejor la dirección de las pautas de pensamiento puede ayudar a evitar las trampas mentales que dan lugar a las malas interpretaciones.

Una forma rápida de identificación es *Pensar Retrospectivamente*, es decir, piense hacia atrás y pregúntese, por ejemplo: ¿El sexo provoca el embarazo? ¿Sirven las manchas solares para explicar las manchas en el mercado de valores? ¿Hace la luz del día que salga el sol? ¿La dieta hace que rebaje de peso?

Pensar hacia atrás es intuitivo y diagnóstico. Cuando *se piensa hacia atrás se buscan pautas*, se hacen valoraciones que ponen en relación eventos y se buscan analogías y teorías que ayuden a explicar las causas y los efectos.

Cuando *se sopesan variables y se hacen cálculos y previsiones basadas en estas variables*, se está pensando hacia adelante. Para preparar planes alternativos se evalúa si va a ocurrir una cosa u otra, por ejemplo, ¿es probable que se vaya a producir una recesión? ¿Qué opciones existen para enfrentarse a esa recesión?

Se puede pensar mejor hacia atrás si se usa más de una analogía para describir una situación, pues así se resiste la tentación de inferir una sola causa o de buscar una causa inesperada que tenga un efecto.

*Se piensa mejor hacia adelante si se aprende a usar y a confiar en los cálculos y modelos* que emplean por ejemplo los ordenadores, más que la mente humana. Aunque los modelos contienen errores se pueden em-

plear con aprovechamiento si se comprende el tipo de errores que es probable que provoquen y se compensan.

Otra herramienta más apropiada que se puede usar en esta primera fase es utilizar la Metodología de los Sistemas Suaves (SSM) elaborada por Checkland (1981: 39), desarrollada con el propósito expreso de ocuparse de problemas complejos, *Soft Systems Methodology*, denominación en inglés creada con base en la investigación de un gran número de proyectos de la industria cuya aplicación y refinamiento concluyeron años después.

La SSM se divide en fases distintas; estas son:

- Encontrar hechos de la situación problema, es decir, investigación en el área del problema, por ejemplo, ¿quiénes son los jugadores claves?, ¿cómo trabaja el proceso ahora? etc.
- Expresar la situación problema con diagramas de Visiones Enriquecidas. En cualquier tipo de diagrama, más conocimiento se puede comunicar visualmente; un dibujo vale más que mil palabras.
- Seleccionar una visión de la situación y producir una Definición Raíz. Puede que existan perspectivas diferentes al mirar la situación problema.

Modelos conceptuales construidos a partir del sistema real y de sus necesidades para cada una de las Definiciones Raíz. Lo básico son «los qué» de las Definiciones Raíz. Luego se definen «los cómo».

- Comparación de los modelos conceptuales con el mundo verdadero. Comparar los resultados de los pasos 4 y 2 para ver dónde hay diferencias y dónde hay similitudes.
- Identificar los cambios factibles y deseables. Hay diversas maneras de mejorar la situación.
- Recomendaciones para tomar la acción que mejore la situación problema. Analizar cómo se pondrían en práctica los cambios del paso 6.

Este es un enfoque iterativo; varias iteraciones de estos siete pasos se requieren a veces para producir buenos resultados. Más adelante en este documento se presentan los detalles de cada una de las siete etapas y se muestran los detalles de un caso específico en el que Checkland participó dentro del Shell Group en el Reino Unido (UK). Dicho Estudio de caso implicó una revisión importante de las Funciones de Manufactura de Shell y se llevó a cabo a finales de los años 80; Checkland mismo se refiere a este proyecto como un ejercicio maduro de la Metodología de Sistemas Suaves.

## Situación problema no estructurada

La etapa inicial consiste en que los encargados y/o empleados (propietarios del problema) deciden que se requiere una revisión o un cambio de tareas y desean conocer la manera en que debe realizarse, y llaman a un analista (facilitador del problema). La gente de la organización acepta que puede haber un problema o ven una posibilidad de mejorar y acuerdan el inicio del análisis o la revisión. La Metodología de Sistemas Suaves (SSM) sostiene que el término «el problema» es inadecuado porque minimiza la visión de la situación; dicha metodología sugiere que «la situación problema» es un término más apropiado, puesto que puede haber muchos problemas que tienen la necesidad percibida de ser solucionados (Checkland, 1981: 40).

## Situación problema expresada

La etapa 1 incluye básicamente las problemáticas -lo que la gente de la organización sospecha que puede ser un problema y/o una oportunidad de mejora-, e inicia el análisis o la revisión. En la etapa 2 el analista recoge y clasifica la información y provee una cierta descripción de la situación problema. La información que se busca es:

- ✦ La estructura de la organización: factores que no cambian fácilmente (las construcciones, las localizaciones, el ambiente, etc.).
- ✦ Los procesos o transformaciones que se realizan dentro del sistema: muchos de estos cambian constantemente.
- ✦ Los hechos que son expresados o sentidos por los miembros de la organización (quejas, críticas, sugerencias, etc.).

Hay muchas técnicas que los analistas pueden emplear cuando recogen los hechos, desde enfoques muy informales, no estructurados hasta los muy formales, con herramientas estructuradas empleadas en el análisis tradicional de sistemas.

Algunas de las técnicas son:

- ✦ **Observación del trabajo:**
  - Identificación de tareas realizadas.
  - Reconocimiento de las herramientas empleadas.
  - Establecimiento de interacciones entre personas/sistemas.
  - Producción de registros en los cuales se documenta la información.
  - Descripciones de un “día en la vida”.
  - Elaboración de gráficos de estructuras/*layouts*.
  - Grabaciones de video si es posible.
  - Recolección de muestras de las herramientas usadas para manejar la información.
  - Recolección de observaciones de cada participante.
- ✦ **Entrevistas:**
  - No estructurada, informal (“Dígame lo que usted hace”).
  - Semiestructurada (cuestionario con respuestas ampliables).
  - Altamente estructurada (cuestionario con rectángulos a hacer tictac).
  - Incidentes críticos.
  - Grabación de audio.

♦ **Talleres y discusión:**

- o Talleres futuros.
- o Talleres de revisión.
- o Talleres de resolución de conflictos.
- o La mofa sube, simulaciones, juegos de la mente.

Las Etapas 1 y 2 son una fase de «expresión» durante la cual se intenta construir una posible visión enriquecida, no «el problema» sino la situación que se percibe como problema. Es importante no reducir el alcance de la investigación demasiado rápido. Si se selecciona un enfoque muy estructurado, como un buen cuestionario múltiple desde el principio del Estudio, y se construye un modelo con base en esos resultados solamente, se excluye -probablemente- mucha de la información que podría ser relevante.

Para una estrategia general, por lo tanto, es mejor emplear una selección técnicamente no estructurada desde el principio y emplear más bien técnicas estructuradas después de que la primera impresión del problema se haya definido, con el fin de obtener información detallada o controlar suposiciones. Las técnicas específicas se deben seleccionar siempre adaptadas al trabajo de la organización y cada persona que esté proveyendo la información debe a su vez ser informada acerca de cuál es el propósito del análisis.

El analista debe estar preparado para aceptar que, en esta etapa, la información obtenida es incompleta y contiene contradicciones y ambigüedades. El sistema que se está analizando es un sistema suave y, por consiguiente, la información que se obtiene de dicho sistema es probable que sea cualitativa más que cuantitativa.

## La Visión enriquecida

La visión enriquecida se utiliza para proveer un modelo para pensar acerca del sistema y ayudar al analista a obtener una apreciación de la situa-

ción problema. Es importante notar la diferencia entre visión enriquecida y modelo formal; la visión enriquecida no procura modelar al sistema de una manera particular, sino que provee una representación de cómo se puede pensar acerca del sistema; dicha visión se va haciendo más refinada en la medida en que la comprensión del sistema llega a ser más clara, que es lo que se busca.

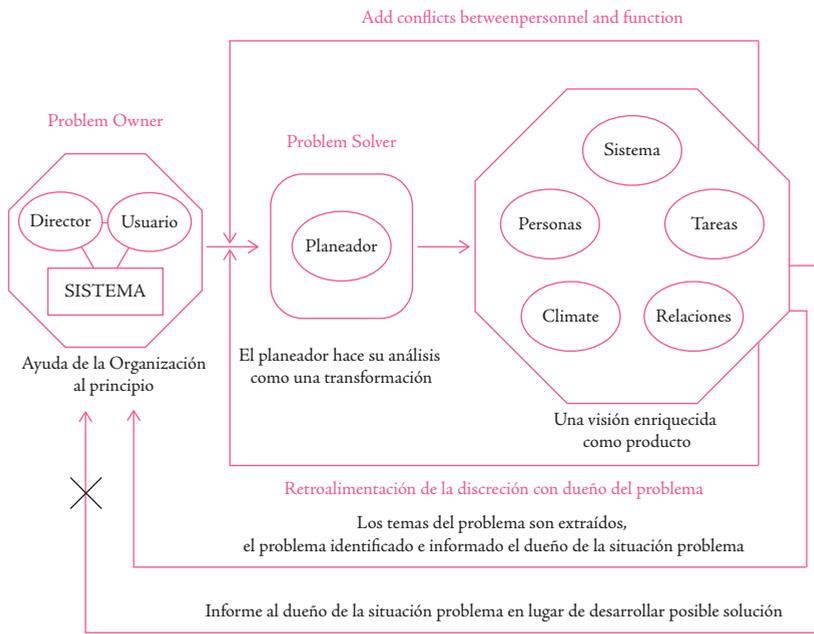
La visión enriquecida que se muestra en el Figura 6 se basa en el estudio del caso Shell (*“Repensando una función de servicio del Grupo Shell”*). El círculo representa el límite del sistema, los círculos pequeños representan los componentes del sistema, mientras que los círculos del exterior son las entidades externas con las cuales el sistema interactúa. Las burbujas representan las ideas actuales de la gente en ese grupo de servicio: deseaban saber qué tan buena era su organización y cómo evaluar su funcionamiento actual, porque buscaban mejorarla.

La visión enriquecida es una expresión intelectual e individualista, y por lo tanto no se puede calificar de «correcta» o «incorrecta». Sin embargo, la visión enriquecida debe representar la estructura, los procesos y los hechos de la organización que podrían ser relevantes para la definición del problema, y debe intentar dar una impresión del clima organizacional. Cada analista o equipo desarrollará, a su propio estilo, la visión enriquecida. Se puede comenzar con los miembros o las localizaciones; se pueden poner objetos, ítems o hechos o dígitos binarios para intentar agruparlos o encerrarlos en la estructura. La visión enriquecida no es un mapa del modelo del sistema (que se genera en fases posteriores), ni tampoco debe ser un organigrama (la clase de mapa de jerarquía de gestión que las organizaciones utilizan a menudo para describirse a sí mismas).

Los hechos obtenidos se pueden poner en un índice o agrupar según temas o causas. En estudios grandes, las herramientas computarizadas, tales como una base de datos o un sistema de hipertexto, se pueden utilizar para guardar y manejar la información obtenida.

Figura 6.

## Proceso de transformación para producir una Visión Enriquecida



Tomado de *La metodología de los sistemas suaves en acción* por Peter Checkland, 1994: 57.

El siguiente paso es el análisis para desarrollar la visión enriquecida de la situación problema:

- ♦ El rol de análisis: identificar claramente los hechos encontrados, implicados en la situación, y que se piensan como problemáticos.
- ♦ Análisis social: identifica las misiones de todo el personal de la organización, las normas de comportamiento según las visualizan esas personas y los valores por los cuales su comportamiento es juzgado.
- ♦ Análisis del poder: se refiere a hechos tales como ¿cuáles son los objetos de poder en esta situación?, ¿cuál es la materia obtenida? y ¿cómo es la materia pasada?

Un Diagrama de la transformación fue producido para ilustrar las Etapas 1 y 2 en SSM como se muestra en la Figura 6.

La ayuda del poseedor del problema es la entrada de información al proceso. El facilitador del problema realizará el análisis y terminará satisfactoriamente con una *Visión Enriquecida* como resultado de este proceso de transformación. El analista utilizará esta *Visión Enriquecida* para ayudarse en su comunicación con el poseedor del problema; este le notificará acerca del conflicto observado, del personal y de la función. La *Visión Enriquecida* se utiliza para identificar problemas e informar al propietario de la situación problema, más que para proveerle una posible solución.

**Trampas que deben ser evitadas durante la etapa inicial de SSM:**

- ✦ No se debe reducir el alcance de la investigación.
- ✦ La visión enriquecida se ensambla sin la imposición de una estructura y/o de una solución determinada para la situación problema.
- ✦ Puede caerse en el riesgo de considerar como fácil de interpretar el mundo de una manera floja y a menudo hay un deseo urgente de pasar a la acción.
- ✦ No se debe presionar el análisis en términos de los sistemas.
- ✦ Es importante indicar que habrá muchas versiones posibles del sistema.
- ✦ Nombramiento de los Sistemas Relevantes.

### *Definiciones Raíz*

---

Es necesario prestar atención a la denominación de los sistemas relevantes, para escribirlos de manera que un modelo pueda ser construido basado en cada denominación. Estas denominaciones se conocen como Definiciones Raíz y su propósito es expresar el objetivo central de un sistema de actividad. Es importante que se ponga atención en el desarrollo de las Definiciones Raíz, ya que estas, correctamente escritas proveen una directriz mucho más simple en la construcción del modelo de un sistema.

Una Definición Raíz se explica como un proceso de la transformación que toma una entidad como entrada de información, cambia o transforma a esa entidad, y produce una nueva forma de la entidad. Una prescripción para desarrollar estos procesos de transformación se muestra en la Tabla 1, en la cual se observan ejemplos de transformaciones típicas de la operación de un curso de golf. Como se puede notar, estas transformaciones variarán mucho, según la opinión que se aplique.

Tabla 1.

### Transformaciones una a una que implican opiniones diferentes

Entrada de información	Producción	Cómo es visto a los ojos de:
Pista inusitada	Pista ocupada por curso de golf	Arquitecto
Necesidad por tiempos de la te	La necesidad por tiempos de la te se resuelve	Gestión del Club
Nuevas bolas de golf	Utilizado, rascado encima de bolas de golf	Equipo de la industria
Germen de la hierba	Hierba madura	Greenskeepers
Alimento crudo	Comidas de calidad	Cocinero
Golfer registrado	Golfer que terminó alrededor en X frota ligeramente	Favorable personal del departamento
Lecciones de golf	Facilitar la lección	Profesional del Club

Tomado de *La metodología de los sistemas suaves en acción* por Peter Checkland, 1994: 59.

Producir una Definición Raíz es un proceso progresivo de dos pasos:

1. Se elige un hecho o una tarea con visión enriquecida.
2. Se define un sistema para realizar la tarea o dirigir los hechos.

Cada Definición Raíz implica dos cosas importantes: la primera, es que supone cierta visión del mundo; la definición de la opinión del mundo no es siempre trivial, tampoco es necesario definir las todas. Se requiere recordar aquí que cada visión enriquecida implicará una variedad de estas opiniones. Las visiones pueden venir de fuentes tales como oficiales del gobierno, ejecutivos de compañías, encargados del proyecto,

empleados, clientes, competidores y medios de noticias; cada una de estas opiniones será conectada a una o más Definiciones Raíz distintas.

La segunda cosa importante es prestar atención a la cardinalidad del proceso de transformación. Cada Definición Raíz implica la transformación de una entrada en una producción; se supone que se define una transformación como el «equipamiento de golf», más «el curso de golf», más «la mano de obra» (tres entradas de información), para producir «necesidades de golf», más «mercado de golf» (dos producciones). Esta transformación de «tres a dos» es ambigua, pero se puede resolver con muchas transformaciones una a una, que se correspondan más claramente (el equipamiento de golf se transforma en equipamiento usado de golf).

## *PATCRW*

---

Las Definiciones Raíz se escriben como sentencias que efectúan una transformación. Hay seis elementos que hacen que una Definición Raíz sea bien formulada, y se resumen en la sigla PATCRW:

- **Propietario:** cada sistema tiene algún propietario, quien tiene el poder para comenzar y/o para cerrar el sistema.
- **Actor:** realiza las actividades definidas en el sistema.
- **Transformación:** la conversión de la entrada de información en la producción.
- **Cliente:** considera a cada uno de los que están prestos para obtener beneficios de un sistema. Si el sistema implica sacrificios tales como despidos, son víctimas que deben también ser contadas como clientes.
- **Restricciones:** son los elementos que existen fuera del sistema y que se toman como datos. Incluyen políticas organizacionales, así como materias legales y éticas.

- *Weltanschauung*: es la expresión alemana para la opinión del mundo. Esta opinión hace que el proceso de transformación sea significativo en el contexto.

PATCRW se utiliza, principalmente, con el fin de analizar las sentencias de la Definición Raíz, pero se puede usar igualmente como bloque de construcción, para derivar la sentencia de la Definición Raíz si se conocen los elementos de PATCRW.

PATCRW se usa como la espina dorsal para desarrollar Definiciones Raíz debido a que el uso de la transformación en sí misma como Definición Raíz se hace difícil de modelar. La transformación y la opinión del mundo son el centro del PATCRW. Cada actividad se puede expresar de muchas maneras usando diferentes opiniones del mundo. Es buena idea que diferentes puntos de vista sean utilizados para desarrollar diferentes Definiciones Raíz. PATCRW también reconoce la necesidad de explicar lo relativo a propiedad, funcionamiento, beneficiarios, víctimas y presiones externas, que son esenciales para explicar en la documentación del sistema.

# CAPÍTULO III

Articulación del problema  
(*Boundary Selection*)

Este paso es fundamental para ir seleccionando los límites del sistema y su articulación; en consecuencia, se deben focalizar los almacenamientos mediante unas preguntas:

¿Cuál es el proceso de acumulación más importante en este sistema?

Si el sistema es fundamentalmente un *Sistema de Flujo* (Administración de Proyectos, Finanzas, Educación o Producción de lotes de manufactura), entonces la pregunta es:

¿Cuál es la mayor acumulación que interviene para desacoplar las Tasas de Flujo en el sistema?

*Las acumulaciones son la fuente de señales emitidas por un sistema, el cual requiere de acciones de control que deben ser tomadas.*

Una vez que se tenga identificado el principal almacenamiento (1 o 2) se puede formular la siguiente pregunta:

¿Cuál flujo incrementa o hace decrecer este almacenamiento?

La respuesta a la pregunta anterior crea otra pregunta que es:

¿Cuál almacenamiento envía señales que activan estos flujos?

Se debe tener la seguridad de incluir el *Almacenamiento Inicial* como candidato clave para responder esta pregunta.

Otra serie de preguntas que ayudarían en la focalización de los almacenamientos serían:

*¿Qué produce este sistema?*

*¿Qué almacena esta producción?*

*¿Qué recursos se requieren para realizar la producción (los cuales también posiblemente deben almacenarse)?*

Siempre se debe estar pendiente de la oportunidad de cerrar el lazo causa-efecto, y recordar que el Comportamiento Dinámico está dado por el concepto de lazo de causalidad, en el cual se tienen actividades orientadas a cumplir las metas estipuladas.

# **CAPÍTULO IV**

Estructuración del esquema  
inicial del Modelo

- *Lazos de retroalimentación*: elemento básico alrededor del cual se ensambla el sistema.
- *Clasificación del medio ambiente*: generada por el sistema. Creación del sistema dentro de bordes o límites, de tal forma que no dependa de componentes externos.
- *Niveles*: variable típica fundamental dentro de un lazo de retroalimentación.
- *Tasas (políticas)*: es la otra variable típica fundamental dentro de un lazo de retroalimentación.

#### *Componentes de las tasas:*

- *Objetivos*: son componentes de las tasas.
- *La condición aparente*: es contra la cual se compara el Objetivo.
- *La discrepancia*: es la diferencia entre el Objetivo y la Condición aparente.
- *La acción resultante*: es el resultado de la Discrepancia.

Uno de los principales objetivos de la simulación dinámica es desarrollar modelos que permitan al analista incrementar el conocimiento propio del sistema en estudio, además de contar con una herramienta poderosa y fácilmente entendible para transmitir a otras personas los conocimientos del sistema.

# **CAPÍTULO V**

Formulación del Modelo de Simulación

Con el fin de desarrollar en esta fase el Modelo de Forrester o de Flujo, se utiliza la Dinámica de Sistemas como una metodología para el estudio y manejo de sistemas complejos de retroalimentación. Una de las características de esta disciplina es el uso del computador para realizar simulaciones, lo que ofrece la posibilidad de estudiar el comportamiento y las consecuencias de las múltiples interacciones de los elementos de un sistema a través del tiempo.

Esto la hace muy útil para el estudio de fenómenos sociales, ya que en ellos están implicados una gran cantidad de elementos e interrelaciones donde la presencia de no linealidades determina el comportamiento y dificulta una solución analítica. Además, los efectos de las políticas y acciones ejercidas sobre estos sistemas se manifiestan en horizontes temporales diferentes y dilatados (Morlán, 2010: 80).

Los modelos matemáticos dan origen a ecuaciones diferenciales de primer orden, a la representación matemática y a los algoritmos de la metodología Dinámica de Sistemas y del lenguaje Vensim.

## Modelado de Sistemas Dinámicos

En esta fase se utilizó la metodología para el modelado de Sistemas Dinámicos. Se tradujo el Modelo Conceptual a un Modelo de Flujo, utilizando el símil hidrodinámico presentado por Forrester y perfeccionado por Sterman, con la finalidad de identificar las variables de nivel o acumuladores, las ecuaciones de nivel o estado, las ecuaciones de flujo, las tasas, las variables auxiliares y las constantes, en un modelo dinámico que permita simular el comportamiento del sistema.

## Marco conceptual para la deducción del Modelo de Flujo o Diagrama de Forrester y de las ecuaciones diferenciales de primer orden

Con la finalidad de comprender la deducción de cada ecuación diferencial del Modelo GEPI se presenta una descripción conceptual que sirvió de base para la construcción del Modelo de Flujo.

Aracil y Gordillo (1997: 18) consideran que el método de Forrester se integra directamente con la Teoría de Sistemas en la medida en que suministra una metodología para estudiar sistemas dotados de una cierta complejidad estructural, en la cual el bucle de retroalimentaciones es el bloque básico; este método utiliza tanto instrumentos de matemáticas aplicadas (los grafos y sobre todo los sistemas dinámicos) como útiles informáticos.

Por otra parte, Aracil y Gordillo (1997: 19) consideran que los modelos construidos mediante la Dinámica de Sistemas son Sistemas Dinámicos, por lo que todo el amplio y rico bagaje de conocimiento matemático que se tiene en la Teoría de Sistemas Dinámicos puede explotarse en el campo de la Dinámica de Sistemas. Esto es especialmente interesante si se considera que los modelos de Dinámica de Sistemas son normalmente sistemas no lineales, por lo que pueden presentar formas de comportamientos muy complejos, para cuyo análisis los recientes resultados de la teoría matemática de Sistemas Dinámicos no lineales resultan de gran interés, como se evidencia enseguida.

Al observar los distintos elementos que aparecen en los nodos del diagrama de influencias o modelo causal, algunos representan variaciones respecto al tiempo de otras magnitudes consideradas en ese mismo diagrama. Por ejemplo, en un diagrama genérico, la variable de flujo representa la variación con respecto al tiempo del valor de estado  $x$ .

Flujo  $\longrightarrow$  Estado

Esta influencia es un caso particular de otra más general que se puede expresar de la forma:

$$\frac{dx}{dt} \rightarrow X \quad (\text{Expresión 1})$$

En la  $\frac{dx}{dt}$  se denota la variación con respecto al tiempo de la magnitud X. Esta expresión representa una relación trivial: la variación con respecto al tiempo de X influye en el crecimiento de la propia variable X. Sin embargo, lo que interesa resaltar es la existencia, en el diagrama de influencias, de variables que representan la variación. Se puede afirmar que las estructuras tienen implícito el comportamiento del sistema.

Conviene también observar que siempre que exista una variable del tipo  $\frac{dx}{dt}$  que representa la variación de una magnitud X con respecto al tiempo se tendrá una relación de influencia como la que se ve en la Expresión 1. La variable X resulta de la acumulación del cambio implícito en la variable  $\frac{dx}{dt}$  variable de flujo. A las variables de estado se las conoce también, en Dinámica de Sistemas, como variables de nivel.

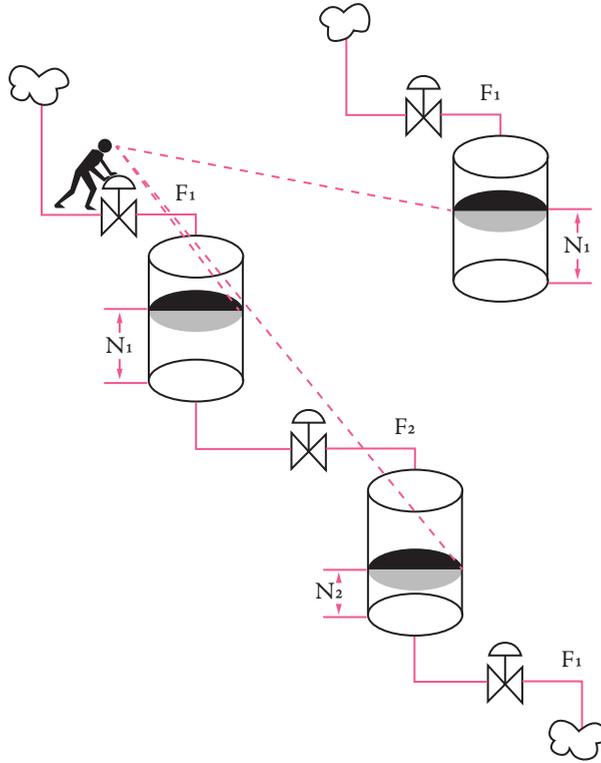
Forrester, 1961 (citado en Aracil y Gordillo, 1997: 57) postuló:

Una clasificación de las distintas variables que aparecen en un diagrama de influencias en tres grupos sería: las variables de estado son normalmente más importantes y representan las magnitudes cuya evolución es especialmente significativa. Asociadas a cada variable de estado se encuentran una o varias variables de flujo que determinan su variación a lo largo del tiempo. Por último, las variables auxiliares constituyen las restantes variables que aparecen en el diagrama y representan pasos intermedios para la determinación de las variables de flujo a partir de las variables de estado. (Forrester, 1961, citado en Aracil y Gordillo, 1997: 57)

Las formulaciones matemáticas de los bucles de retroalimentación positiva y negativa, y del crecimiento sigmoideal, corresponden a variables de estado, variables de flujo o variables auxiliares.

Figura 7.

### Símil hidrodinámico de un sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden



Tomado de *Dinámica de Sistemas* por Aracil y Gordillo, 1997: 58.

Una vez clasificados los elementos que aparecen en el Diagrama de Influencias en variables de estado, flujo y auxiliares se requiere obtener, a partir del diagrama de influencias o causal, lo que se conoce como el Diagrama de Forrester que es uno de los instrumentos básicos de la Dinámica de Sistemas.

En la Figura 7 se presenta gráficamente el símil hidrodinámico de un sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden, tal como lo concibió inicialmente Forrester.

Aracil y Gordillo (1997: 58-59) consideran que:

Para ayudar a comprender el significado de las tres clases de variables conviene recurrir a un símil hidrodinámico como el mostrado en la Figura 7. En esta Figura se representan tres depósitos en los que se acumulan tres niveles. Las variaciones de los niveles vienen determinadas por las actuaciones sobre unas ciertas válvulas que regulan los caudales que alimentan a cada uno de los depósitos. La decisión sobre la apertura de estas válvulas se toma teniendo como única información los valores alcanzados por los niveles en cada uno de los depósitos, en el instante de tiempo considerado. En la Figura 46 este se representa con ayuda de un observador que teniendo como única información el conocimiento de los niveles en el resto de los depósitos determina la apertura de la válvula correspondiente. Aunque en la Figura 7 solo aparece el observador en una de las válvulas, debe considerarse que hay uno en cada una de ellas. De acuerdo con lo anterior, está claro que el valor tomado por la variable de flujo en cada instante depende exclusivamente de los valores alcanzados por los niveles en dicho instante; de forma análoga, los valores alcanzados por los niveles dependen de los valores tomados por las variables de flujo que alimentan a dichos niveles.

El símil hidrodinámico logra una forma intuitiva, apropiada para una mentalidad que busque imágenes físicas, de representar un sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden. En consecuencia, se ve de inmediato que al hacer ciertas simplificaciones en la Figura 7 no se hace sino representar, de forma análoga, un sistema de ecuaciones diferenciales, tales como las siguientes:

$$\frac{d(X_1)}{dt} = -F_1 - F_2 \quad (\text{Ecuación 1})$$

$$\frac{d(X_2)}{dt} = -F_4 \quad (\text{Ecuación 2})$$

$$\frac{d(X_3)}{dt} = -F_2 - F_3 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Siendo

$$F_i = f(X_1, X_2, X_3) \quad i = 1, 2, 3 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Según Aracil y Gordillo (1997: 59-60):

Estas funciones pueden ser lineales o no lineales. La determinación del valor tomado por unas variables de flujo, por ejemplo  $F_1$ , a partir de los estados  $X_1, X_2, X_3$ , puede que sea conveniente hacerla en distintas etapas, requiriéndose por ello el establecimiento de unas variables auxiliares; por ejemplo, la función  $f_1$  puede descomponerse en tres etapas, empleando dos variables auxiliares  $A_1, A_2$  teniendo:

$$A_1 = \varphi_1(X_1, X_2) \quad (\text{Ecuación 5})$$

$$A_2 = \varphi_2(X_1, X_3) \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$F_1 = \varphi_3(A_2) \quad (\text{Ecuación 7})$$

En efecto

$$F_1 = \varphi_3[\varphi_2(A_1, X_3)] \quad (\text{Ecuación 8})$$

$$= \varphi_3[\varphi_2[\varphi_1(X_1, X_2), X_3]] \quad (\text{Ecuación 9})$$

$$= f_1(X_1, X_2, X_3) \quad (\text{Ecuación 10})$$

Es decir, las variables auxiliares representan etapas intermedias en la determinación de los flujos a partir de los estados y, en último extremo, pueden ser eliminadas.

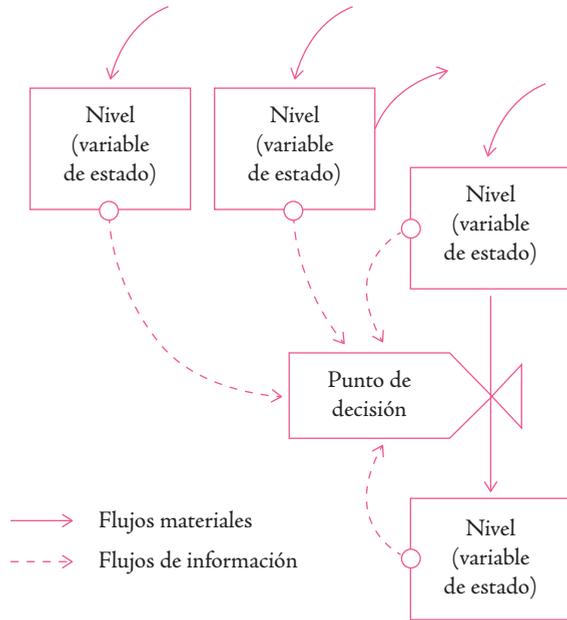
El símil hidrodinámico de la Figura 7 se puede completar con la inclusión de variables exógenas. Estas suministran información adicional y exterior que debe considerarse para decidir el valor que toman las variables de flujo  $F$ . Es decir, llamando a una variable exógena la Ecuación 4 se convertiría en:

$$F_i = f_1(X_1, X_2, X_3, E)$$

En el símil hidrodinámico se pone claramente de manifiesto que se pueden concebir dos tipos esenciales de variables: los estados y los flujos, y una clase secundaria, las variables auxiliares. Al usar esta analogía en

Figura 8.

### Conexión entre las variables de nivel (de estado) y los puntos de decisión (variables de flujo)



Tomado de *Dinámica de Sistemas* por Aracil y Gordillo, 1997: 60.

Dinámica de Sistemas, las variables que aparecen en un modelo se clasifican en variables de estado, variables de flujo y variables auxiliares. De esta manera, se consigue dar una forma intuitiva al proceso de construir un modelo que, en último extremo, no va a ser sino un sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden.

La Figura 8 presenta un diagrama que enseña, de forma gráfica las ideas que se acaban de exponer.

En el diagrama Se emplean los símbolos que se muestran en la Figura 8 y que se explicarán posteriormente. Es necesario indicar que estos símbolos son los que inicialmente propuso Forrester, pero en la actualidad no son empleados de forma universal; estos diagramas se dibujan con cierta libertad al escoger los símbolos. En cualquier caso, el significado de

Figura 9.

## Símbolos utilizados originalmente en los Diagramas de Forrester

	<b>Nube:</b> representa una fuente o un pozo; puede interpretarse como un estado que no tiene interés y es prácticamente inagotable.
	<b>Estado:</b> representa una acumulación de un flujo.
	<b>Flujo:</b> variación de un estado; representa un cambio en el estado del sistema
	<b>Canal de material:</b> canal de transmisión de una magnitud física que se conserva.
	<b>Canal de información:</b> canal de transmisión de una cierta información, que no es necesario que se conserve.
	<b>Variable auxiliar:</b> una cantidad con un cierto significado físico en el mundo real y con un tiempo de respuesta instantáneo.
	<b>Constante:</b> un elemento del modelo que no cambia de valor.
	<b>Retraso:</b> un elemento que simula retrasos en la transmisión de información material.
	<b>Variable exógena:</b> variable cuya evolución es independiente de las del resto del sistema. Representa una acción del medio sobre el sistema.

Tomado de *Dinámica de Sistemas* por Aracil y Gordillo 1997: 62.

la Figura 8 es claro a primera vista, se observa cómo las variaciones de un estado son el resultado de una decisión tomada a partir de información que proviene del resto de los estados. En lo que sigue se estudiará de forma sistemática y a fondo este proceso; para ello se discuten con detalle las variables de estado de flujo y las auxiliares, así como las interconexiones que se establecen entre ellas.

En la Figura 9 se encuentran los símbolos utilizados inicialmente en los Diagramas de Forrester.

Para Aracil y Gordillo (1997:69):

Las variables de estado o niveles constituyen aquel conjunto de variables cuya evolución es significativa para el estudio del sistema. Los estados representan magnitudes que acumulan los resultados

de acciones tomadas en el pasado. Esta función de acumulación puede asimilarse a la del nivel alcanzado por un líquido en un depósito; de ahí proviene la denominación de nivel, siguiendo el símil hidrodinámico.

La elección de los elementos que se representan por variables de estado en un modelo determinado, depende del problema específico que se esté considerando. En la elección de estas variables desempeña un papel primordial la experiencia del diseñador del modelo. Una característica común a todos los estados es que cambian lentamente en respuesta a las variaciones de otras variables.

En los Diagramas de Forrester los niveles se representan por medio de rectángulos.

A cada estado  $X$  se le puede asociar un flujo de entrada  $F_e$  y uno de salida  $F_s$  de modo que la ecuación que representa su evolución es la siguiente:

$$X(t) = X(0) + \int_0^T (F_e - F_s) dt$$

O lo que es lo mismo

$$\frac{dX}{dt} = F_e - F_s$$

Esta ecuación se puede escribir de forma aproximada utilizando el Método de Euler de Integración Numérica:

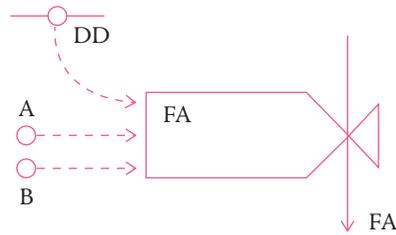
$$X(t + \Delta t) = x(t) [F_e(t) - F_s(t)]$$

Esta forma última de escribir la ecuación de un nivel es la que generalmente se emplea en Dinámica de Sistemas.

Las variables de flujo determinan las variaciones en los niveles del sistema. Las variables de flujo caracterizan las acciones que se toman en el sistema, las cuales quedan acumuladas en los correspondientes niveles. Las variables de flujo determinan cómo se convierte la información disponible en una acción o actuación (Aracil y Gordillo, 1997: 62).

Figura 10.

### Representación de un flujo de un Diagrama de Forrester



Tomado de *Dinámica de Sistemas* por Aracil y Gordillo, 1997: 63.

Debido a su naturaleza se trata de variables que no son medibles en sí, sino por los efectos que producen en los niveles con los que se están relacionando. Se representan por medio de los símbolos que se indican en la Figura 9.

Estos símbolos están inspirados en el símil hidrodinámico, según el cual las variables de flujo se pueden asociar a válvulas que regulan los caudales que alimentan determinados depósitos, cuyos niveles materializan el estado del sistema.

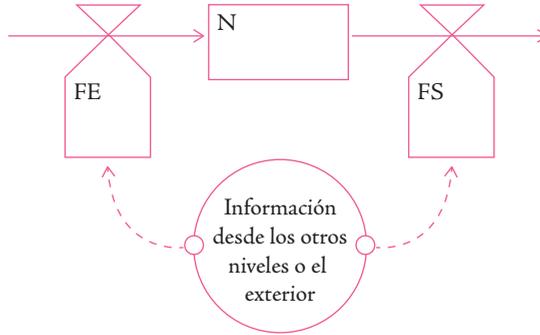
A las variables de flujo se asocian ecuaciones que definen el comportamiento del sistema. El bloque representativo de un flujo admite, como señal de entrada, la información proveniente de los niveles o de las variables auxiliares del sistema y suministra como salida el flujo que alimenta a un nivel. Por ejemplo, en la Figura 10 se tiene el bloque que representa un flujo al que se puede asociar una ecuación de la forma:

$$FA(t) = \frac{B(t) * A(t)}{DD}$$

Siendo  $A(t)$  y  $B(t)$  dos variables de nivel o auxiliares, las ecuaciones asociadas a una variable de flujo reciben la denominación de Ecuaciones de Flujo o Funciones de Decisión.

Figura 11.

**Conexión de un nivel N a los flujos de entrada (FE) y a los flujos de salida (FS)**



Tomado de *Dinámica de Sistemas* por Aracil y Gordillo, 1997: 63.

La Ecuación de Flujo representa la función desarrollada por el observador del símil hidrodinámico de la Figura 10. Es decir, con la ayuda de la Ecuación de Flujo el observador calcula en cada instante la apertura de la válvula, o sea el flujo; de ahí la denominación de función de decisión.

En todo nivel se asocia al menos una variable de flujo, lo que gráficamente se puede representar utilizando algunos de los símbolos de la Figura 10.

En la Figura 11 se muestra gráficamente la conexión de un nivel N a los flujos de entrada FE y a los flujos de salida FS de un sistema.

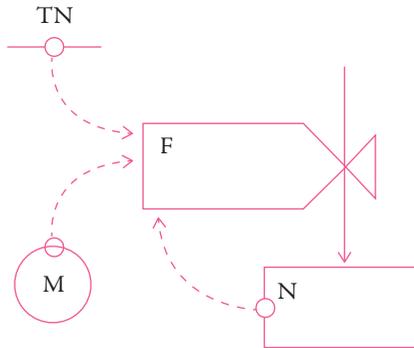
Una forma que toma muy frecuentemente la ecuación de flujo es la que se representa en la Figura 11, la ecuación de flujo correspondiente es la siguiente:

$$F(t) = TN * M(t) * N(t)$$

En donde TN es el flujo normal y M es lo que se denomina un multiplicador del flujo normal. Si  $M(t) = 1$  se tiene una situación neutral en la que  $F(t) = TN * N(t)$ , es decir, el flujo es una fracción constante y normal

Figura 12.

**Representación en un Diagrama de Forrester de un flujo F cuyo valor viene dado por una tasa normal TN afectada por un multiplicador M**



Tomado de *Dinámica de Sistemas* por Aracil y Gordillo, 1997: 63.

del nivel. Por ejemplo, el flujo de nacimientos es igual a la tasa normal de nacimientos multiplicada por el nivel de la población.

El multiplicador  $M(t)$  refleja el efecto de otros factores sobre la variable de nivel en cuestión. El multiplicador tiene la forma:

$$M(t) = M_1[V_1(t)] * M_2[V_2(t)] \dots M_k[V_k(t)]$$

En la Figura 12 se representa un Diagrama de Forrester de un flujo donde el valor viene dado por una tasa normal TN afectada por un multiplicador M.

En donde cada factor  $M_i[V_i(t)]$  es una función no lineal de una variable  $V_i$  la cual puede ser un nivel o una variable auxiliar. Los multiplicadores  $M_i$  son tales que para considerar lo normal de la variable  $V_i$  toman valor 1 en la Figura 12 en la cual se tienen dos formas típicas que toman los multiplicadores  $M_i$ .

Las decisiones que aparecen en una Ecuación de Flujo pueden ser abiertas, si implican la intervención de un agente externo al sistema, o implícitas si están completamente determinadas por las variables internas al sistema, es decir, por los niveles.

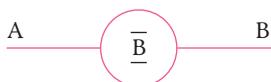
Las variables de flujo tienen como entradas, exclusivamente, niveles y variables auxiliares. Es decir, dos variables de flujo no pueden conectarse entre sí. Siguiendo el símil hidrodinámico es fácil concebir cómo la decisión respecto a la apertura de la válvula, que alimenta a un cierto nivel, se toma exclusivamente en función de los valores de los otros niveles; y cómo una variable de nivel no puede influir directamente en otra variable de nivel, sino a través del flujo que proporciona la primera (Aracil y Gordillo, 1997: 64).

La evolución del sistema en el tiempo comporta variaciones en los distintos niveles. Estas variaciones se deben no solo a la acción de factores externos (variaciones exógenas), sino -y sobre todo- a decisiones en un sentido amplio tomadas en el interior del sistema, que se interpretan con la ayuda de las funciones de decisión asociadas a las variables de flujo. Esto significa que el sistema genera su propio comportamiento y existen límites para el mismo.

Las variables auxiliares representan pasos o etapas en los que se descompone el cálculo de una variable de flujo a partir de los valores tomados por los estados. Se representan por medio de círculos como los que aparecen en la Figura 12.

Las variables auxiliares unen los canales de información entre las variables de estado y las de flujo; en realidad, son parte de las variables de flujo. Sin embargo, se distinguen de ellas en la medida en que tengan un significado real por sí mismas o sencillamente porque hacen más fácil la comprensión de las Ecuaciones de Flujo.

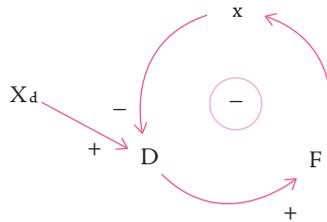
Las variables auxiliares se pueden emplear para representar las no-linealidades que aparecen en el sistema.



Si las variables  $A$  y  $B$  están ligadas por una expresión de la forma  $B=f(A)$  en donde  $f(A)$  es una función no lineal, entonces se utiliza el sím-

Figura 13.

## Elementos básicos de un bucle de retroalimentación negativa elemental



Tomado de *Dinámica de Sistemas* por Aracil y Gordillo, 1997: 29.

bolo como el empleado para las variables auxiliares. Es habitual que estas funciones no lineales se den mediante tablas de puntos, de modo que la función se completa por interpolación entre ellos. Por eso es frecuente referirse a estas funciones con el nombre de Tablas.

### *Bucle de retroalimentación negativa*

En la Figura 13 se muestra un bucle de retroalimentación negativa elemental.

Los elementos básicos de este bucle son:

- El estado del sistema X.
- La acción o Flujo F.
- La discrepancia D.
- El objetivo o estado deseado XD.

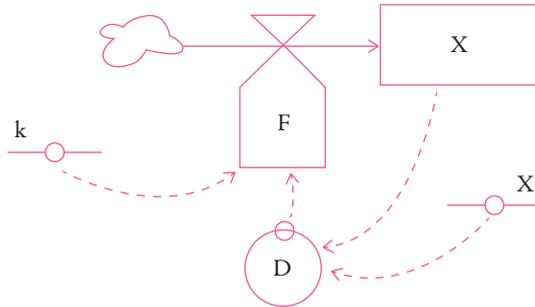
Con el fin de introducir una hipótesis dinámica en el sistema se supone que el estado representa la acumulación de acciones pasadas.

Se asume, además, que la relación entre el estado X y la acción F viene dada por una ecuación de la forma

$$\frac{dx}{dt} = F \quad (\text{Ecuación 11})$$

Figura 14:

### Diagrama de Forrester de un sistema elemental de retroalimentación negativa



Tomado de *Dinámica de Sistemas* por Aracil y Gordillo, 1997: 65.

Por lo tanto, como el estado es la acumulación de acciones pasadas se puede escribir:

$$x = \int_0^t F dt$$

Los restantes elementos de los bucles vienen dados por las ecuaciones:

$$F = k \cdot D$$
$$D = x_d - x$$

Al sustituir la ecuación (12) en (11) e integrando la ecuación se obtiene:

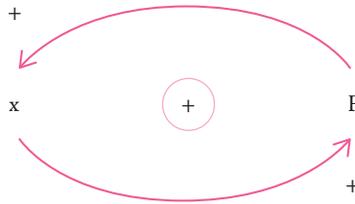
$$x(t) = x_d + (x(0) - x_d) \cdot e^{-kt}$$

Que representa la evolución temporal de la variable de estado. En el Diagrama de Forrester esta retroalimentación negativa viene dada por el grafo que se presenta en la Figura 14.

El bucle de retroalimentación negativa permite ensayar con diferentes parámetros de  $(x_0, x_d, k)$ .

Figura 15.

## Elementos básicos de un bucle de retroalimentación positiva elemental



Tomado de *Dinámica de Sistemas* por Aracil y Gordillo, 1997: 33.

### *Bucle de retroalimentación positiva*

El comportamiento que resulta de un bucle de esta naturaleza consiste en acelerar el crecimiento o el declive. Análogamente, como en el caso del bucle de retroalimentación negativa, es posible tener una formulación matemática del bucle de retroalimentación positiva en su caso más elemental. Los elementos básicos de esta formulación son:

- El estado del sistema X, Y.
- La acción o Flujo F.

La Figura 15 corresponde a la representación gráfica de un bucle de retroalimentación positiva elemental.

Se procede de forma análoga al caso de un bucle de retroalimentación negativa y se adopta la hipótesis de una relación entre el estado y la acción de la forma:

$$\frac{dx}{dt} = F \quad (\text{Ecuación 13})$$

Es decir:

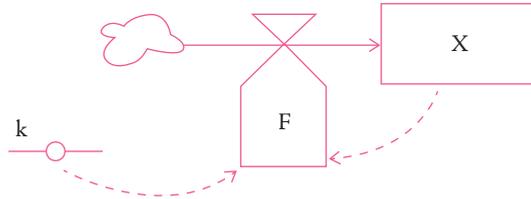
$$x = \int_0^t F dt$$

Se asume que la acción es proporcional al estado:

$$F = k \cdot x \quad (\text{Ecuación 14})$$

Figura 16:

### Diagrama de Forrester de un sistema elemental de retroalimentación positiva



Tomado de *Dinámica de Sistemas* por Aracil y Gordillo, 1997: 64.

Y sustituyendo la Ecuación 14 en la Ecuación 13 e integrando se obtiene:

$$x(t) = x(0) \cdot e^{kt}$$

Que representa la evolución temporal de la variable de estado.

En la Figura 16 se muestra el Diagrama de Forrester de un sistema elemental de retroalimentación positiva.

Una ligera variación de este modelo aplicado en los sistemas logísticos es suponer que, además de incrementarse un inventario con la producción, al mismo tiempo se reduce debido a los pedidos tramitados. Sea  $m$  el número de unidades por unidad de tiempo de pedidos facturados. Entonces el modelo vendrá dado por:

$$x(t) = x(0) \cdot e^{kt} - m; \quad x(0) = x_0$$

Esta ecuación diferencial puede ser resuelta haciendo uso del método de variables separadas. Se demuestra que la solución es:

$$x(t) = \frac{m + (kx_0 - m) e^{kt}}{k}$$

# **CAPÍTULO VI**

Prueba de validación del Modelo

Al evaluar el Modelo de Dinámica de Sistemas es importante considerar la diferencia entre los conceptos de verificación y los de validación. La verificación se enfoca en la coherencia interna del modelo. “Se comprueba la implementación de las instrucciones de simulación que va a ser ejecutada en un computador, es decir, si se ha construido correctamente el modelo” (Morlán, 2010: 76).

Adicionalmente, Morlán (2010: 77) afirma que:

La validación consiste en cotejar la adecuación entre el comportamiento del modelo simulado y los requerimientos previstos por los usuarios finales. En otras palabras, comparar la ejecución del modelo programado con lo esperado, es decir, si se ha construido el modelo correcto. No existe un método universal para validar los modelos de simulación dinámica porque cada modelo se valida con respecto a sus objetivos, por lo que no se puede afirmar que un modelo válido para un contexto deba serlo necesariamente para otros.

Además, aunque en teoría un modelo puede ser válido o no, probar esto en la práctica es una cuestión muy diferente.

En este sentido Forrester, 1961, (citado en Morlán, 2010: 77) opina que:

La validación o el grado de significación de un modelo debería ser juzgada por su conveniencia en relación a un determinado propósito. Un modelo es lógico y defendible, si consigue lo que se espera de él, (...) la validación como un concepto abstracto, divorciado de su propósito, no tiene un significado útil.

Un modelo es una simplificación de la realidad diseñado para responder a cierto objetivo. No se puede afirmar que es verdadero o falso; lo máximo que se puede decir de él es que es lo suficientemente bueno para cumplir su propósito.

La validación es un concepto que llega a ser circunstancial porque para una misma realidad pueden existir diferentes modelos y porque es en vano tratar de establecer que un modelo es útil sin especificar para qué

propósito va a ser usado. Sterman, 2000, (citado en Morlán, 2010: 77) “llegando al paroxismo sostiene y argumenta que, de hecho, la validación y la verificación de modelos es imposible”. Por esta razón se aborda más como un arte que como una ciencia.

## Jerarquización de la validación del Modelo

Con el fin de comprobar la adecuación de un Modelo Dinámico al propósito para el cual ha sido desarrollado, autores como Forrester, Senge, Barlas y Coyle han definido algunos criterios que deben usarse en la validación. Esta evolución se puede condensar en el año de 1961 cuando Forrester publica su libro *Industrial Dynamics* (citado en Morlán, 2010: 78) y subraya que:

La defensa de un modelo debe basarse en la defensa de sus detalles. El comportamiento de los gráficos de las variables seleccionadas no es garantía de validez dado que puede existir una gran variedad de componentes inválidos (ecuaciones) que aparentemente muestren el mismo comportamiento del sistema. Para ello, incide en que las ecuaciones deben ser dimensionalmente consistentes y que todas las constantes en un modelo deben estar claramente definidas y sus dimensiones indicadas).

De igual forma, Forrester, 1961, (citado en Morlán, 2010: 78) afirma que el comportamiento de un modelo debe ser comprobado cuidadosamente, ya que:

Los defectos serios del modelo normalmente se manifestarán a través de algún fallo del modelo al querer reproducir lo que se espera del sistema real. Además, se muestra intransigente cuando afirma que es posible realizar mejoras solo si (el modelo) representa el sistema real, no porque solucione el problema como tal.

Forrester y Senge, 1992, (citados en Morlán, 2010: 78) proponen pruebas objetivas de validez.

Hacen hincapié en que un modelo es construido para un propósito y su validez está determinada fundamentalmente por el grado en que se cumple ese propósito. Ponen especial énfasis en los límites del modelo, reconociendo que un modelo es una simplificación y que el límite entre lo que se ha incluido y lo que no es un determinante significativo de la validez del modelo. En consecuencia, proponen una serie de pruebas de la estructura del modelo, del comportamiento y de las implicaciones de la política.

Barlas, 1996, (citado en Morlán, 2010: 78) desarrolla la siguiente idea:

La validación en dinámica del sistema se basa en un enfoque relativo en lugar de absoluto, aunque ello no excluye el uso de pruebas formales. Apoya la opinión de Forrester de que la defensa de un modelo se base en la defensa de sus detalles.

Adicionalmente, Barlas, 1996, (citado en Morlán, 2010: 79):

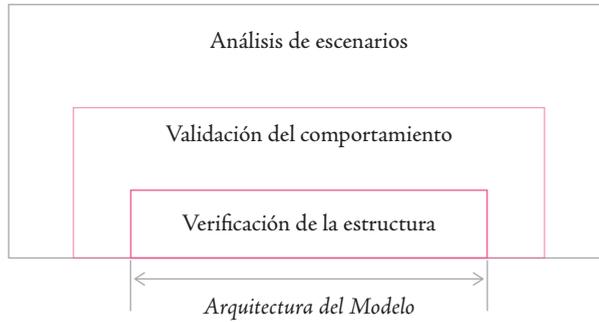
Analiza las limitaciones del uso de pruebas estadísticas sobre las salidas de un modelo de Dinámica de Sistemas y los datos del mundo real. Afirma que las pruebas deberían centrarse en la validación de los patrones de comportamiento del modelo, más que en comprobar la coincidencia entre los datos reales y los generados por el modelo, ya que, como había señalado Sterman, una reproducción del comportamiento del sistema, dato por dato, es prácticamente imposible, aun cuando el modelo sea estructuralmente adecuado.

También Coyle, 1997, (citado en Morlán, 2010: 79):

Es quien asocia la validez de un modelo a que esté bien adaptado a su propósito y correctamente construido. Su filosofía principal es que el modelo debe hacer las mismas cosas que el sistema real y por las mismas razones. Él insiste en la coherencia dimensional y pro-

Figura 17.

## Jerarquía de validación del Modelo



Tomado de *Modelo de Dinámica de Sistemas para la implantación de Tecnologías de la Información en la Gestión Estratégica Universitaria* por Morlán, 2010: 80.

pone las reglas para ello. Subraya la necesidad de la correspondencia entre el modelo y el problema, y que todas las constantes deben definirse adecuadamente y que sus dimensiones deben ser indicadas, como había propuesto Forrester.

El conjunto de métodos y enfoques de validación se resume en la jerarquía de evaluación y análisis de la Figura 17.

Una vez creada la confianza en la arquitectura del modelo, se puede utilizar para ensayar las distintas políticas y analizar sus implicaciones. Con el objeto de aumentar la confianza en el modelo como instrumento para la toma de decisiones, una buena práctica es analizar diferentes escenarios que puedan añadir valor a la significación y al alcance del modelo.

### *Validación de la estructura*

Este es un proceso que se puede constatar aplicando las facilidades Check Model y Units Check de Vensim® sobre las ecuaciones del modelo integrado.

## *Validación de escenarios*

---

Este apartado se muestra en los Capítulos siguientes, en los cuales se desarrollan casos prácticos en los sectores estudiados.

## *Validación de expertos*

---

En este último proceso de validación se utilizó la técnica del Juicio de Expertos, método de validación útil para corroborar la fiabilidad de una investigación que, de acuerdo con Escobar-Pérez y Cuervo-Martínez (2008: 29), se define como: “una opinión informada de personas con trayectoria en el tema, que son reconocidas por otros como expertos cualificados y que pueden dar información, evidencia, juicios y valores”.

# **CAPÍTULO VII**

Softwares de Simulación

El objetivo de este capítulo es conocer los dos softwares que se usaron en este libro para modelar en DS. Estos son Vensim y Powersim, los cuales se utilizaron para desarrollar los casos de estudio que se muestran en los siguientes capítulos.

La DS representa matemáticamente los modelos mentales y es una fase posterior al desarrollo de dichos modelos mentales. Las principales aplicaciones de software para la Dinámica de Sistemas existentes en la actualidad (Vensim, Powersim Studio o iThink/STELLA) “simulan el correspondiente modelo matemático por medio de métodos numéricos computacionales facilitando el análisis de su comportamiento e incertidumbre a través de una interfaz gráfica” (Morlán, 2010, p. 56).

Vensim es un lenguaje de Simulación Continua, lo que significa que computa la evolución de un número de variables continuas de estado, dependientes unas de otras; estos cálculos los realiza en forma continua durante todo el tiempo de simulación.

El software Powersim tiene las mismas facilidades de edición que Vensim y también permite construir el modelo tanto en forma gráfica como en forma de texto.

## Definición y conceptos básicos Vensim

Vensim es un lenguaje de Simulación Continua, lo que significa que computa la evolución de un número de variables continuas de estado, dependientes unas de otras; estos cálculos los realiza en forma continua durante todo el tiempo de simulación.

Para describir en qué consiste un modelo de Vensim se expone aquí, por ejemplo, el de un almacén de ventas al detal. Una ecuación podría describir los cambios de nivel del inventario, los cuales se efectúan durante períodos cortos, dependiendo de las diferencias de las tasas de llegada de las entregas de los proveedores y de las tasas de los embarques a los clientes.

Un modelo de Vensim es -en síntesis- una colección de ecuaciones algebraicas, convertidas en simples y entendibles comandos de programación, por medio de los cuales se representa cómo trabaja el sistema.

### *Estructura y funcionamiento*

---

Las ecuaciones y variables computadas por el modelo se clasifican en diferentes tipos, de los cuales los más importantes son: *Niveles*, *Tasas* y *Auxiliares*. Las acumulaciones, como por ejemplo los inventarios, son clasificadas como *Niveles*. Los flujos que drenan o llenan a un nivel determinado son llamados *Tasas*. Las variables que no son ni acumulaciones (*Niveles*) ni flujos (*Tasas*), pero suministran cálculos intermedios se designan como *Auxiliares*, por ejemplo, el Inventario Deseado o el Inventario de Seguridad, etc.

Un número determinado de estos tres tipos de ecuaciones, escrito en forma algebraica simple y en cualquier orden, constituye el cuerpo de un modelo realizado en Vensim. Las ecuaciones se complementan con constantes, Tablas de Instrucciones de Salida y Especificaciones de operación del modelo.

Estos componentes en el modelo de un sistema están relacionados tal como se muestra en el anterior Diagrama de bloques.

A pesar de que Vensim se describe como el lenguaje de Simulación Continua, este y cualquier otro lenguaje Continuo implementado en una computadora digital avanza en el tiempo a pasos discretos.

### *Delta de Tiempo (DT)*

---

En el proceso de simulación, las Variables de Nivel son las primeras en ser computadas en cada paso de tiempo (DT). Ellas son los valores iniciales de cada nuevo DT; las Tasas y los Auxiliares son computados después de los niveles en su DT, para lo cual se usan las otras variables ya calculadas. Esto significa que a fin de comenzar un proceso de simulación

Figura 18.

## Tablas de instrucciones de salida y especificaciones de operación del modelo



Elaboración propia de los Autores.

es necesario tener valores iniciales para los Niveles del Sistema. Se sugiere la posibilidad de reordenar las ecuaciones de tal manera que no se requiera el uso de variables antes de ser calculadas.

El Vensim ejecuta por su cuenta este ordenamiento, siempre que le es posible; de lo contrario reporta un mensaje de error que dice «Ecuaciones Simultáneas».

Al tener todos los valores computados para el DT actual, el Vensim se mueve hasta el próximo instante, procesando todas las variables del modelo que se hallen envueltas en este momento (DT).

El Vensim incluye subíndices de tiempo para cada variable, con el propósito de recordar al analista exactamente cómo es que funciona el lenguaje, avanzando por pasos (DT) durante el tiempo de simulación.

El tiempo actual para el cual se han realizado todos los cálculos se designa como K; el tiempo previo al actual para el cual se realizaron todos los cálculos en el anterior DT se designa como J y el próximo tiempo en el cual se realizarán todos los cálculos en DT por venir se designa como L.

## *Definición y conceptos básicos Powersim*

---

Powersim Software es un programa que tiene herramientas de simulación que cubren todas las necesidades para construir simulaciones, ejecutar análisis en profundidad o distribuir soluciones. El conjunto de productos de Powersim se clasifica en los siguientes cuatro grupos.

- Studio Developer Tools permite a los programadores incluir simulaciones en aplicaciones de software diseñadas a medida y distribuir simulaciones o aplicaciones de software a medida.

Las herramientas de desarrollo se pueden utilizar para crear y ofrecer soluciones basadas en web o aplicaciones integradas. Con estos productos puede crear interfaces de simulador personalizadas para modelos creados en Studio Premium, abriéndose a la funcionalidad de presentación y conectividad de datos externos más allá de lo que es posible en las herramientas de usuario final Powersim Studio Executive y Cockpit.

- Powersim Software tiene herramientas para el usuario final que le permiten ejecutar análisis en profundidad basados en simulaciones creadas en nuestra herramienta de modelado Powersim Studio Premium. Los usuarios finales tendrán acceso a toda la información que el equipo de modelistas ha elegido compartir a través de Simulator Presentations.

SDK es el software que le permite crear interfaces en internet o aplicaciones de escritorio para modelos Powersim, de esta manera puede conectar sus modelos con cualquier base de datos corporativa. Powersim Studio SDK permite crear simulaciones con sofisticadas pantallas. El Powersim SDK contiene una versión “*run-time*” del motor del simulador que permite pegar directamente la simulación en su aplicación. El SDK documenta todos las interfaces COM que son necesarias para controlar la simulación. A través de estas interfaces se pueden abrir modelos, configurar y guardar valores, de la misma forma que se corren las simulaciones en Powersim Studio. Si prefiere trabajar en Visual Basic u otra herra-

mienta de desarrollo que soporte ActiveX, se pueden tomar las ventajas de Powersim Engine Control incluidas en Powersim Studio SDK. Esto ofrece aproximadamente el mismo grado de flexibilidad del desarrollo de interfaces COM con la ventaja que es más fácil de implementar. Powersim Studio SDK soporta la totalidad de las características de los modelos desarrollados por Powersim Studio Enterprise. El Studio SDK ofrece un camino conveniente para distribuir simulaciones para que las personas experimenten la dinámica de los sistemas.

Powersim Studio SDK también permite conectar los modelos Powersim con cualquier base de datos empresarial. Usando la interface SDK DCOM con sus modelos Powersim, puede enviar y recibir valores de bases de datos, asegurando que sus modelos de simulación estén siempre correctos.

# **CAPÍTULO VIII**

Casos prácticos

## Revisión de la función de planificación en Colombia

Este estudio de caso es una aplicación del modelo de gestión de planificación del Estado Colombiano y asimismo es el estudio de caso para ilustrar cada etapa individual de la SSM.

### *Análisis del Modelo de Planificación por Proyectos de Colombia*

---

La actividad de Planeación Nacional en Colombia es ejecutada por el Departamento Nacional de Planeación (DNP), unidad administrativa que pertenece a la rama ejecutiva del poder público y depende directamente de la Presidencia de la República. Dicha entidad, eminentemente técnica, tiene como misión impulsar la implantación de una visión estratégica del país en los ámbitos social, económico y ambiental; complementariamente diseña, orienta y evalúa las políticas públicas colombianas, el manejo y asignación de la inversión pública y la concreción de las mismas en planes, programas y proyectos de gobierno.

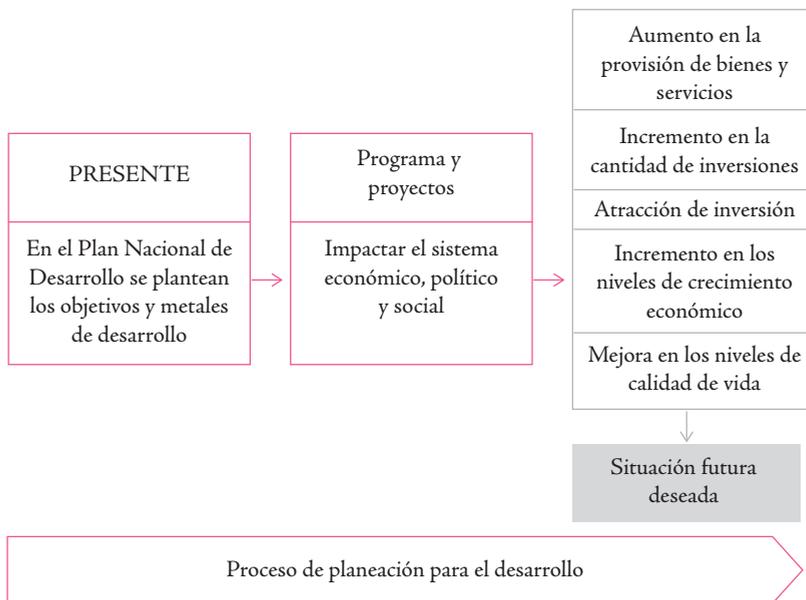
Para ilustrar lo anterior se representa el proceso de planificación en Colombia en la Figura 19; se muestran los tres Documentos fundamentales de este proceso: Plan Nacional de Desarrollo, Programas y Proyectos, Ejecución y Control:

Para darle institucionalidad a este proceso de planificación, el Estado colombiano asigna a los entes gubernamentales funciones específicas en los diferentes niveles de planificación; estas se muestran en la Figura 20.

El DNP, como se explicó al inicio de este capítulo, es el encargado de la asignación de la inversión pública y la concreción de los planes, programas y proyectos del gobierno colombiano. El Ministerio de Hacienda y Crédito Público (MHCP) define, formula y ejecuta la política económica del país, así como los planes, programas y proyectos relacionados con esta.

Figura 19.

## Proceso de Planificación para el Desarrollo



Tomado de *Planificación y Gestión Presupuestal*. Sistema de Planificación. DNP, 2014; párrafo 58.

Para tener una visión integral del macroproceso de planificación estratégica de inversiones en portafolios de proyectos del Estado colombiano, se muestra en la Figura 21 la lógica de articulación de la visión práctica de la Planificación estratégica de Proyectos en Colombia.

El ejercicio de planificación está definido en Colombia desde la Constitución Política de 1991, lo que lo hace más fuerte y estable. En esta Constitución Política se establecen las estructuras y órganos de planificación encargados de liderar el proceso. Este cuerpo legal se representa en la Figura 22.

Para explicar este sistema se presenta la Tabla 2, que expone los documentos entregables asociados con el Sistema de Planificación Estratégica Nacional de Colombia, los proyectos y programas en correspondencia con el Plan Nacional de Desarrollo y los Planes Territoriales.

Figura 20.

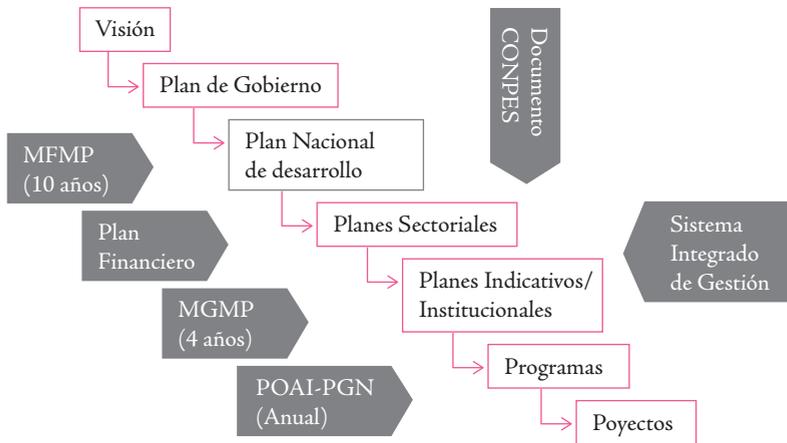
## Relaciones Institucionales para la Planificación



Tomado de *Planificación y Gestión Presupuestal. Sistema de Planificación*. DNP, 2014: párrafo 65.

Figura 21.

## Lógica de articulación de la Visión a la Práctica: de lo macro a lo micro



Tomado de *Planificación y Gestión Presupuestal. Sistema de Planificación*. DNP, 2014: párrafo 80.

Figura 22.

## Constitución Política de Colombia de 1991



Tomado de *Planificación y Gestión Presupuestal. Sistema de Planificación*. DNP, 2014: párrafo 76.

Tabla 2.

## Legalidad e instrumentos de planificación en Colombia

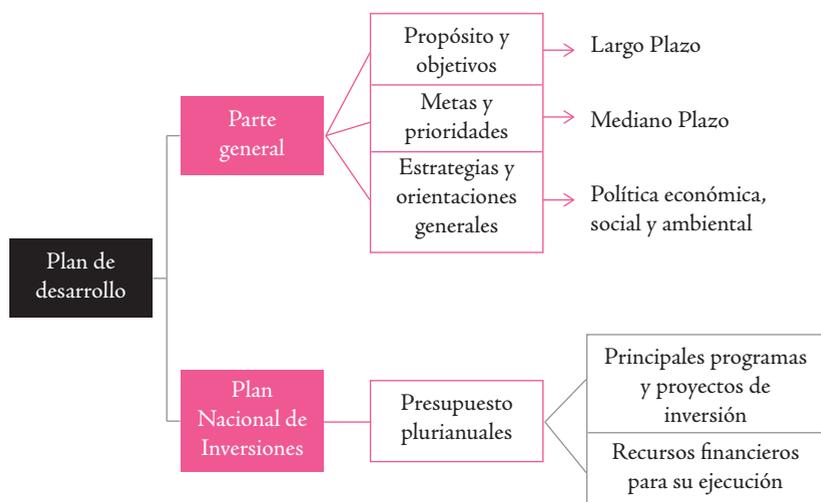
Constitución Política Nacional de 1991	Ley 152 de 1994 - Ley del Plan de Desarrollo
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecimiento de la Ley Orgánica del PDN y de la Procuraduría General de la Nación (PGN) arts. 151 y 342.</li> <li>• Establecimiento de Planes de Desarrollo a Nivel Nacional y territorial art. 339.</li> <li>• Mecanismos de gestión y evaluación de resultados arts. 343 y 344.</li> <li>• Dirección de la Economía a cargo del Estado art. 334.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Complementariedad entre los Planes de Desarrollo y el Banco de Proyectos art. 3.</li> <li>• Banco de Proyectos como instrumento de Planeación. art. 27.</li> <li>• Establecimiento del Banco de Programas y Proyectos a nivel territorial art. 49.</li> </ul>

Tomado de la Tesis Doctoral *Modelo Basado en Ecuaciones de Interrelación Dinámica para Pronóstico de Resultados de Planificación-Inversión y Ejecución de Proyectos Industriales* por Carmelina Cadenas Anaya, 2019: 212.

En el artículo 346 de la Constitución Política de Colombia de 1991 se informa que el Plan Nacional de Desarrollo (PND) es fuente de gastos y que el gobierno formulará anualmente el presupuesto de rentas y la Ley de Apropriaciones que deberá corresponder al PND. Este PND se estructura según la Ley Orgánica del Plan de Desarrollo: Ley 152 de 1994; En la Figura 23 se expresa gráficamente el proceso del PND.

Figura 23.

## LeY Orgánica del Plan de Desarrollo: Ley 152 de 1994



Tomado de *Planificación y Gestión Presupuestal. Sistema de Planificación*. DNP, 2014: párrafo 95.

En la Tabla 3 se describen las estructuras del PND nombradas en la Figura 23.

Tabla 3.

### Estructura del Plan de Desarrollo

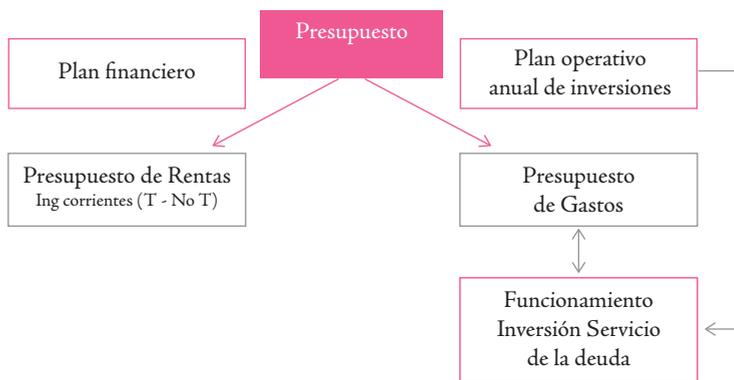
Parte General del Plan	Plan de Inversiones
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Objetivos nacionales y sectoriales de la acción estatal a mediano plazo y largo plazo.</li> <li>• Metas nacionales y sectoriales de la acción estatal a mediano y largo plazo.</li> <li>• Estrategias y políticas en materia de economía social y ambiental.</li> <li>• Señalamiento de las formas, medios e instrumentos de vinculación y armonización.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proyección de recursos financieros disponibles para la ejecución y su armonización con los planes de gasto público.</li> <li>• Descripción de planes y subprogramas, con indicación de sus objetivos, las metas y los proyectos prioritarios de inversión.</li> <li>• Presupuestos plurianuales.</li> </ul>

Construido con datos de *Planificación y Gestión Presupuestal. Sistema de Planificación*. DNP, 2014: párrafo 70.

Otra definición importante del proceso de planificación en Colombia es el presupuesto, que aparece como la expresión cuantitativa de la política fiscal en sus relaciones intertemporales (es decir, que son independientes del paso del tiempo o de los límites temporales) con los indicadores fundamentales macroeconómicos, que constituyen el instrumento a través del cual se materializa la acción del Estado y se ejecuta el Plan Nacional de Desarrollo. El Sistema Presupuestal está constituido por el Plan Financiero, el Presupuesto Anual de la Nación y el Plan Operativo Anual de Inversiones; en la Figura 24 se esquematizan las partes integrantes del Presupuesto General de la Nación.

Figura 24.

**Presupuesto General de la Nación. Decreto 111 de 1996**



Tomado de *Planificación y Gestión Presupuestal. Sistema de Planificación*. DNP, 2014; párrafo 98.

En el presupuesto de gastos o Ley de Apropriaciones se definen las inversiones como aquellas erogaciones que permiten incrementar la capacidad de producción y la productividad en el campo de la infraestructura física, económica y social; estas se contemplan en el Plan Operativo Anual de Inversiones (POAI), que es parte integral del PGN y materializa lo establecido en el Presupuesto Plurianual de Inversiones.

El POAI está conformado por los proyectos de inversión clasificados por sectores, órganos y programas y es elaborado por el DNP en coordinación con el Ministerio de Hacienda y Crédito Público, con base en el Plan Financiero; el POAI debe guardar correspondencia con el Plan Nacional de Inversiones.

Los Documentos del Consejo Nacional de Política Económica y Social (CONPES) son instrumentos técnicos de coordinación y planeación por medio de los cuales el gobierno traza líneas de la política económica y social. La elaboración de estos Documentos es coordinada por el Departamento Nacional de Planeación (DNP) y en ellos se realiza el análisis cualitativo y cuantitativo sobre una problemática determinada y se formulan acciones para contribuir a su solución. Los Documentos CONPES definen objetivos de políticas, enmarcados en el PND y articulan a las entidades en lo concerniente a las intervenciones necesarias para lograrlos.

El Banco Nacional de Programas y Proyectos (BPIN) es un instrumento para la planeación que registra los programas y proyectos de inversión pública viables, previamente evaluados social, técnica, ambiental y económicamente, susceptibles de ser financiados con recursos del Presupuesto General de la Nación.

En la observación se pudo constatar que la Gestión de Planificación y Presupuesto, al igual que las Gerencias de Proyectos formulan sus proyectos y definen sus presupuestos de forma similar, debido a que estas son empresas que se rigen por las mismas normas y leyes para la elaboración y ejecución de su presupuesto.

Las referencias anteriormente señaladas sirven de base para el análisis con el propósito de delinear, en la siguiente parte, la Definición Raíz necesaria para el inicio del desarrollo del Modelo Conceptual.

## Definición Raíz (DR)

A partir del análisis realizado en cada documento metodológico correspondiente a las tres empresas estudiadas, se elaboró la Tabla 4 que da respuesta a preguntas de PQR y que sirvieron de base observacional para la elaboración de la Definición Raíz.

Tabla 4.

### Fórmula PQR para el proceso de formulación presupuestaria de portafolio de proyectos del Estado Colombiano

P ¿Qué?	Q ¿Cómo?	R ¿Por qué?
<ul style="list-style-type: none"> <li>Identificación del capítulo proyecto con la visión estratégica de la empresa para asegurar su alineación con los objetivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resumiendo y englobando una serie de reglas y prácticas de gerencia que permitan a los involucrados del proyecto conducirse exitosamente a través de todas las fases, desde su visualización hasta la entrega de las instalaciones a las unidades solicitantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resultados de negocio más rápidos.</li> <li>Una mejor determinación de los recursos necesarios para aquellos proyectos prioritarios.</li> <li>Un mejor uso de los fondos y otros recursos de la organización.</li> <li>Una adecuada apropiación de los procesos y resultados obtenidos por parte de las personas y unidades involucradas.</li> <li>Ventajas competitivas sostenibles.</li> <li>La satisfacción de los usuarios, clientes e involucrados.</li> <li>La disposición de información precisa.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Gestionar el portafolio de proyectos que proporcione un posicionamiento cuantitativo de la industria en comparación con la competencia (con el promedio y con los mejores).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Que se establezcan las mejores prácticas para normalizar la ejecución de proyectos y contribuir a optimizar las metas de calidad, tiempo y costo de los proyectos, y su alineación con el plan de negocios.</li> </ul>	<p>Para analizar el riesgo involucrado y decidir comprometer los recursos necesarios, a fin de materializar la idea, maximizando las posibilidades de éxito.</p>

Tomado de la Tesis Doctoral *Modelo Basado en Ecuaciones de Interrelación Dinámica para Pronóstico de Resultados de Planificación-Inversión y Ejecución de Proyectos Industriales* por Carmelina Cadenas Anaya, 2019: 148.

El proceso de construcción de la Definición Raíz se inició con la exploración de documentos oficiales sobre metodologías vigentes observadas en el DNP y las concepciones de los individuos que mantuvieron alguna relación con los procesos de toma de decisiones en los niveles estratégicos (equipos de planificación) de la Gerencia de Proyectos, para lo cual se entrevistaron. La Definición Raíz construida es la siguiente:

Definición Raíz: la Oficina Estratégica de Gerencia de Proyectos está encargada de la recepción y revisión de proyectos estratégicos y la Oficina de Gerencia de Proyectos, del Sector industrial, está encargada de solicitar y ejecutar los recursos asignados a los grupos de proyectos.

Estas actividades deben ser realizadas por actores que garanticen que los proyectos seleccionados para un portafolio -en el año vigente- tengan un impacto positivo en el valor del negocio, en términos de la producción y la productividad.

Una vez construida la definición, fue verificada mediante el análisis CATWOE (iniciales de los términos en inglés: *customers, actors, transformation process, world view, owner, environmental constraints*), el cual consiste en observar si están presentes estos seis factores, que deben ser explícitos en toda Definición Raíz.

El análisis de la definición antes descrita se muestra a continuación:

- ♦ P: sector productivo (industrias).
- ♦ A (actores): Oficinas de Gerencia de Portafolio y de Proyectos.
- ♦ T (proceso de transformación) entradas: proyectos producto de solicitudes estratégicas del sector. Salidas: proyectos autorizados, proyectos cerrados y proyectos diferidos.
- ♦ C (consumidores): operaciones, producción y unidades funcionales.
- ♦ R: recursos financieros, humanos, físicos y tecnológicos.
- ♦ W: mejora en la producción y la productividad (agregar valor al negocio) y satisfacción de todos los *stakeholders* (interesados).

## Construcción del Modelo Conceptual

---

Partiendo de la Definición Raíz se construye el modelo que representa las relaciones causales; esta construcción se sustenta en los verbos de acción presentes en la Definición Raíz, los cuales se transformaron en ejes temáticos, con el fin de definir las actividades «mínimas necesarias» implícitas en la definición.

Como aplicaciones de la Dinámica de Sistemas, en los Sectores agroindustriales, se muestran a continuación modelos en las cadenas de suministro madera-muebles, leche-quesos blandos y Gerencia de Portafolios de Proyectos del Sector avícola.

### Cadena de suministro (CS) madera – muebles

El Estado Bolívar ubicado al sur de Venezuela se caracteriza por tener un alto potencial de madera debido a sus 3 millones de hectáreas, aproximadamente, de bosques naturales para el desarrollo forestal. Una parte importante de este potencial se ubica en el Municipio Piar y está siendo explotado por concesionarios madereros como unidades de manejo forestal que procesan sus productos en plantas instaladas mayoritariamente en la ciudad de Upata, la cual también cuenta, aun siendo pequeña, con múltiples carpinterías.

El principal mercado de dichas carpinterías se concentra en el mismo Estado con ventas mayoritariamente a clientes finales y en menor proporción, un 10 % aproximadamente, a distribuidores y tiendas. Sus compras de materia prima (más del 80 %) las realizan directamente a los aserraderos y campesinos de la zona.

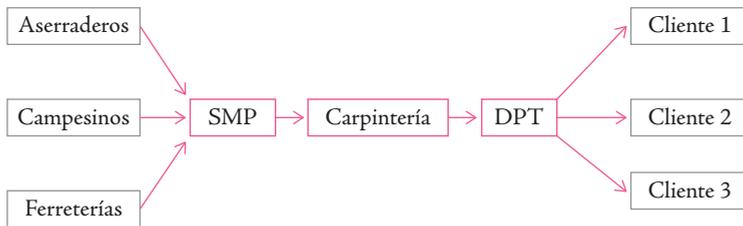
## *Estructura de la cadena de suministro madera – muebles*

Una cadena de suministro genérica sirve de referencia para diseñar la cadena de suministro madera - muebles que se muestra en la Figura 25, de la cual se tienen valores iniciales por la información recopilada en las carpinterías de la zona de Upata, Estado Bolívar, Venezuela.

Para optimizar la cadena se cuantificaron los tiempos de entrega de materia prima y las distancias existentes entre los suplidores y carpinterías, y entre estas y los clientes finales.

Figura 25.

### **Cadena de suministro madera - muebles**



Tomado de la Tesis Doctoral *Desarrollo de un modelo de simulación para ensayar Políticas Operacionales en la Cadena de Suministro de las pymes Transformadoras* por Wilfredo Guaita, 2008: 118.

## *Modelo Causal de la cadena de suministro madera – muebles*

La Figura 26 muestra las relaciones causales o de influencia propias del Suplidor de Materia Prima (SMP) en el que se indica la demanda prevista y su relación con el pedido deseado y el inventario de materia prima deseado.



entre el estándar de almacenamiento, especifica la capacidad de almacenamiento. Este nivel de capacidad de almacenamiento da como resultado la capacidad de almacenamiento ajustada, que luego de una demora se traduce en la capacidad de almacenamiento actual; contra este valor se confronta el pedido, es decir, si el pedido es inferior a la capacidad actual de almacenaje se acepta el pedido, pero si resulta superior se pide lo que indica la capacidad actual.

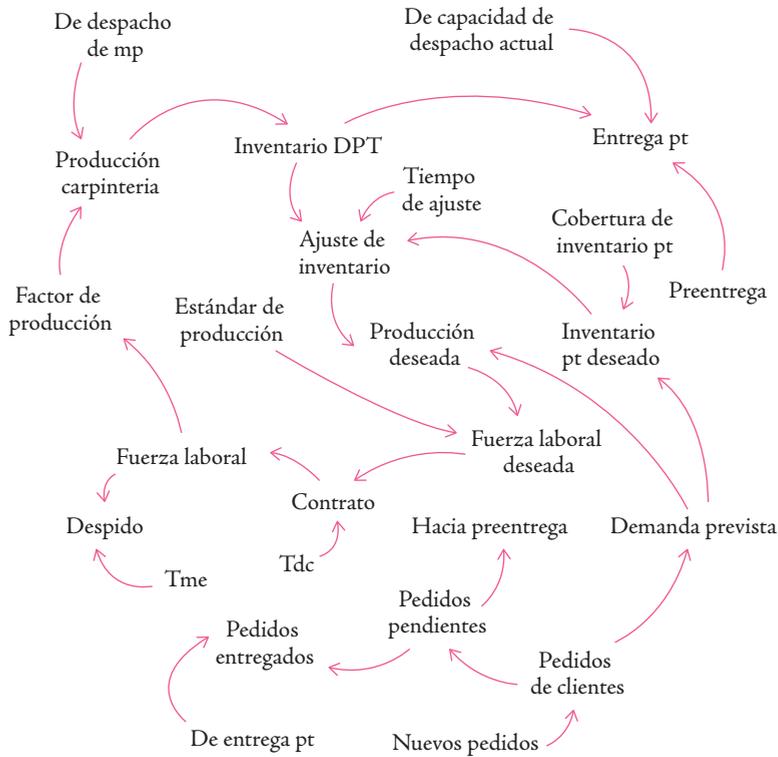
La Figura 2 especifica las relaciones entre producción en la carpintería y almacenamiento en el distribuidor de productos terminados. Se agregan las relaciones con fuerza laboral y la incidencia de los pedidos de clientes.

La demanda prevista impulsa la producción deseada y el inventario deseado que hay que ajustar contra el inventario real en un lapso establecido para adaptarlo a la demanda. La producción deseada, una vez que el inventario está ajustado, da la pauta para determinar la mano de obra requerida, que dividida entre el estándar de producción, indica la cantidad de fuerza laboral que debe ser contratada.

Al igual que se hizo en el SMP hay que observar la capacidad de entrega para verificar la cantidad que se va a despachar. Aquí se introduce el término preentrega. Si este es menor que el inventario real se entrega la cantidad de pedido preentregado, si es mayor se entrega lo existente en el inventario. Seguidamente, si lo existente en el inventario resulta menor que la capacidad de despacho del pedido se entrega lo del inventario, pero si es mayor se entrega lo que la capacidad indique.

Figura 27.

## Carpintería y distribución de productos terminados

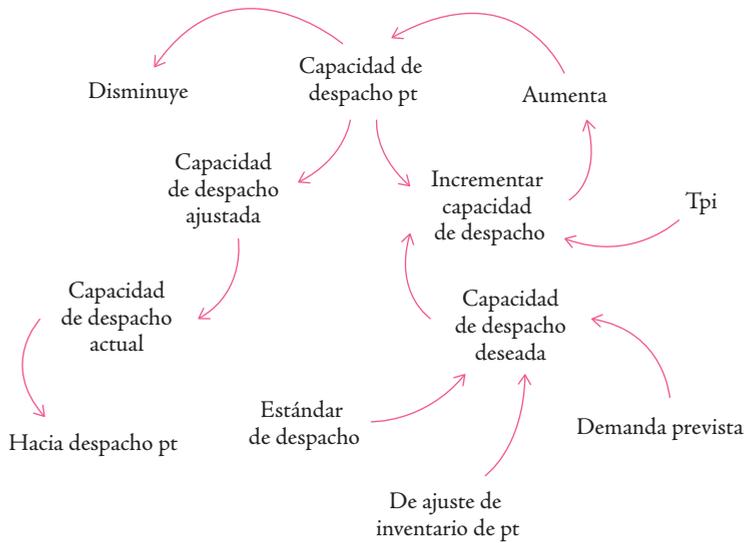


Tomado de la Tesis Doctoral *Desarrollo de un modelo de simulación para ensayar Políticas Operacionales en la Cadena de Suministro de las pymes Transformadoras* por Wilfredo Guaita, desarrollado en Vensim, 2008: 71.

La Figura 28 señala las relaciones inherentes al nivel de capacidad del DPT, donde la demanda prevista se relaciona con la entrega deseada, la cual dividida entre el estándar determina la capacidad de despacho de productos terminados que, luego de ajustado en un período de tiempo, determina la capacidad de despacho actual.

Figura 28.

## Capacidad de despacho en DPT



Tomado de la Tesis Doctoral *Desarrollo de un modelo de simulación para ensayar Políticas Operacionales en la Cadena de Suministro de las pymes Transformadoras* por Wilfredo Guaita, desarrollado en Vensim, 2008: 72.

Las relaciones causales o de influencia entre la CL, la Carpintería y el DPT mostradas en las Figuras 26, 27 y 28 se expresan en el Modelo Informático de la Figura 29, que sirve de base para ensayar las políticas operacionales que correspondan y que son explicadas ensayo por ensayo.

## *Modelo Informático de la cadena de suministro madera – muebles*

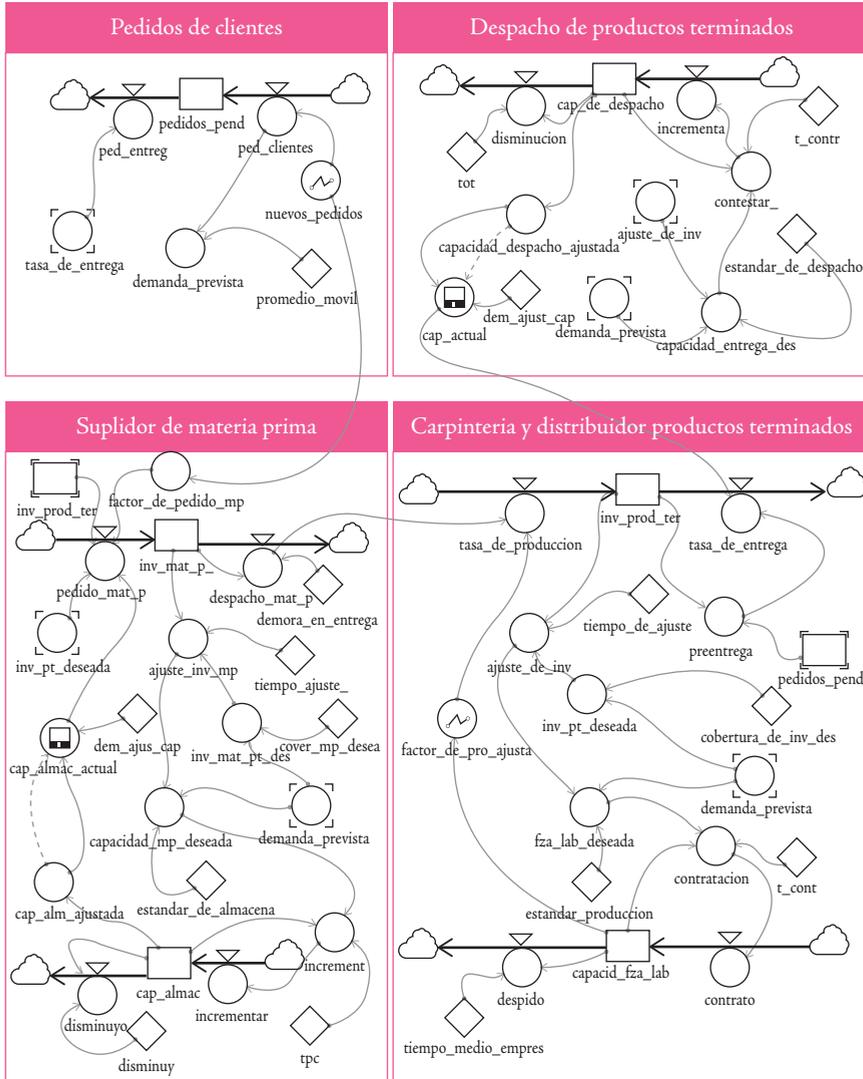
La Figura 28 muestra el modelo para ensayar las políticas operacionales más utilizadas y señaladas por los fabricantes de muebles en el instrumento de recolección de datos utilizado.

Desde luego, hay muchas variantes y combinaciones de políticas en la administración de la cadena de suministro, pero por razones de espacio

se muestran las que pueden ser más útiles para reducir la incertidumbre en la toma de decisiones del gerente de la cadena de suministro.

Figura 29.

### Modelo Informático de la cadena de suministro madera - muebles



Tomado de la Tesis Doctoral *Desarrollo de un modelo de simulación para ensayar Políticas Operacionales en la Cadena de Suministro de las pymes Transformadoras* por Wilfredo Guaita, Desarrollado en Powersim, 2008: 95.

## *Resultado y discusión de los Ensayos de la cadena de suministro madera – muebles*

---

Los resultados de seis ensayos en la cadena de suministro madera - muebles se presentan en esta sección con el supuesto de que en el Ensayo 1, que sirve de base, se mantiene constante el nivel de pedidos a lo largo del lapso de simulación y se fijan los valores del Protocolo de Ensayo que contempla: parámetros de decisión, volúmenes del sistema, tasas de flujo y políticas operacionales. Con este Ensayo 1 se fija la primera referencia de comportamiento. En los Ensayos 2, 3, 4 y 5 se incrementa la demanda siguiendo funciones conocidas y ajustando políticas operacionales, y en el Ensayo 6 se prueba con una disminución de demanda de manera acelerada. Estos ensayos permitirán observar el nivel de pedidos pendientes de la cadena.

### *Ensayo 1. Pedidos constantes de clientes*

---

En este Ensayo de simulación se comprobarán los efectos en la cadena de suministro madera - muebles, cuando los pedidos de clientes son constantes (15 unidades por semana) a lo largo de la simulación.

Parámetros de decisión:

1. Longitud del intervalo de tiempo = 1 semana.
2. Capacidad inicial fija en SMP (50 unidades por semana) con ajustes por variación de demanda.
3. Capacidad inicial fija en DPT (30 unidades por semana) con ajustes por variación de demanda.
4. Demora en entrega de materia prima = 4 semanas.
5. Factor para calcular promedio móvil = 10 semanas.
6. Factor de pedido = 15 unidades por semana.
7. Factor de cobertura inventario de productos terminados deseado = 4 segundos.

8. Estándar de almacenamiento de materia prima en SMP = 50 u/s.
9. Estándar de despacho de productos terminados en DPT = 30 u/s.
10. Estándar de producción en carpintería 5 u/h/s.
11. Ratio de materiales en carpintería: 0.80 unidad de producto terminado por unidad de materia prima.
12. Tiempo de la simulación: 52 segundos.

Volúmenes en la cadena:

1. Nivel inicial de pedidos pendientes: 0 m<sup>3</sup>.
2. Nivel inicial de inventario de productos terminados en DPT: 25 u.
3. Nivel inicial de inventario materia prima en SMP: 50 u.
4. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Almacenamiento Materia Prima: 0 u.
5. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Despacho Productos Terminados: 0 u.
6. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de fuerza laboral: 10 h.

Tasa de flujo:

1. Pedidos de clientes: 15 u de pedido, constante a lo largo del período de simulación.

Políticas operacionales:

1. Fuerza laboral variable: incrementa o disminuye en atención a la demanda.
2. Inventario de productos terminados con una cobertura de 4 semanas.

3. Pedidos fijos superiores a las ventas en un tercio como seguridad y ajustado por variación entre inventario de productos terminados deseado e inventario real.
4. Capacidad inicial de almacenamiento de materia prima y de despacho de productos terminados = 50 y 30 unidades respectivamente.
5. Estándar de almacenamiento de materia prima = 50 u/s.
6. Estándar de despacho de productos terminados = 30 u/s.
7. Estándar de producción: 5 u/h/s.
8. Estándar de material = 0.80 ratio de utilización de madera ajustado por fuerza laboral.
9. Demora en el despacho de materia prima = 4 semanas.

### *Resultados del Ensayo 1*

Las Figuras 31, 32 y 33 muestran los resultados de 52 iteraciones realizadas en el simulador. La variable externa que se mantiene sin cambios es la de los pedidos de clientes a razón de 15 u por semana y los pedidos entregados se igualan a esta tasa rápidamente en la semana 3, la tasa de producción oscila alrededor de la tasa de pedidos de clientes superándola en la semana 4 a una tasa de 20 unidades de producción, pero luego la oscilación alrededor de pedidos clientes se atenúa en la semana 15 (ver Figura 30). El pedido de materia prima también se iguala a la tasa de pedidos, cayendo desde 50 unidades hasta 20 en las 10 primeras semanas y así se mantiene hasta el final de la simulación.

Este comportamiento de igualación hacia la tasa de pedidos sin oscilaciones muy apreciables hace suponer un sistema estable, pero que va a acumular algo de materia prima, dada la política de inventario presente; como se observa en la Figura 3, el nivel de inventario de materia prima se mantiene por encima del nivel de inventario de productos terminados como debe ser, dado el estándar de materiales asumido.

El inventario de productos terminados deseado se ubica en 60 unidades (15 unidades/semana x 4 semanas de cobertura), y alrededor de este nivel se ubica el inventario de productos terminados acercándose en una trayectoria tipo función logística en la cual prácticamente se igualan, lo que ocurre en la semana 25.

Figura 30.

### Tasas

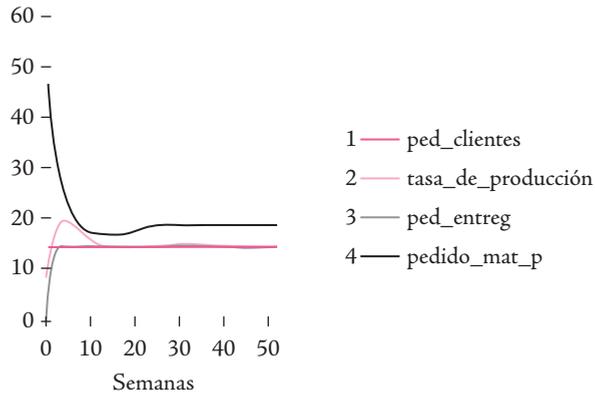
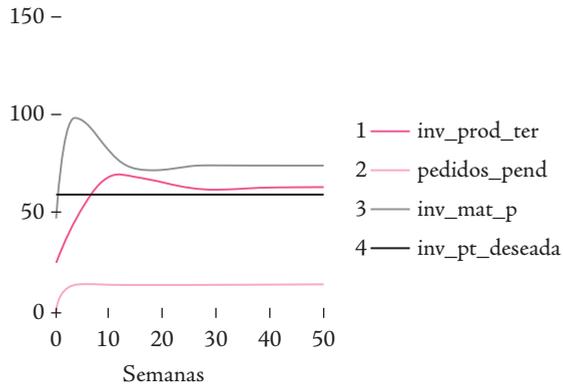


Figura 31.

### Niveles



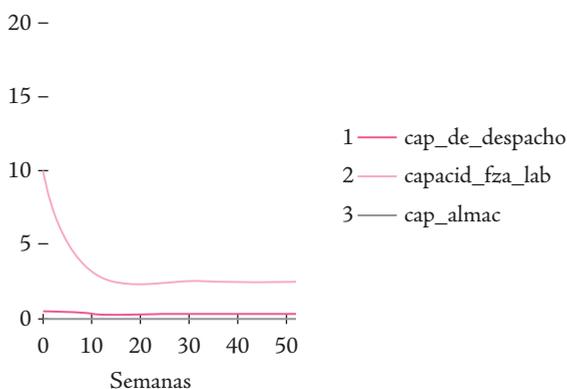
Elaboración propia de los Autores.

Los pedidos de clientes se entregan satisfactoriamente a una tasa de 15 por semana, ya que hay inventario de productos terminados suficiente para no crear retrasos en el pedido. El nivel de inventario de productos terminados se incrementa y estabiliza en 64 unidades por semana.

El nivel de fuerza laboral que se inicia con 10 personas baja hasta 3 al final de la simulación, cantidad suficiente para cumplir con los pedidos, dado que 3 personas, multiplicadas por el estándar de producción de 5 unidades/hombre/semana da un total de 15 unidades por semana (ver Figura 32). La capacidad de almacenamiento de materia prima se ajusta a 0.2, valor que multiplicado por el estándar de almacenamiento se traduce en 10 unidades por semana, aspecto que señala la no necesidad de incrementar la capacidad de almacenamiento adicional dado el estándar en uso. En este caso, tal como se señaló en el Protocolo, la capacidad de almacenamiento actual inicial es de 50 unidades por semana, suficiente para cubrir la demanda con holgura.

Figura 32.

### Niveles de Capacidad



Elaboración propia de los Autores.

De igual manera se comporta la capacidad de despacho que se ajusta a 0.4 para totalizar 12 unidades por semana, que es el producto de mul-

tiplicar el nuevo nivel por el estándar de despacho, condición que no es necesaria dada la capacidad de despacho inicial de 30 unidades.

**Conclusión de este Ensayo:** la política de mantener la capacidad inicial fija para inventario de materia prima y de productos terminados en 50 y 30 unidades respectivamente es más que suficiente para cubrir la demanda, dado que el inventario de productos terminados al final de la simulación es de 64 unidades por semana y los inventarios de pedidos de clientes de 15. Es decir, la cobertura de inventario de seguridad de 4 semanas también parece excesiva.

La política de capacidad relativa a la variación de la fuerza laboral puede producir despidos de la cadena y ser fuente de conflictos; una opción válida sería ajustar el estándar de producción.

Finalmente, la política de inventarios relativa a la cobertura para previsión como inventario de seguridad puede ajustarse de 4 a 2 semanas y reducir el factor de pedidos de 15 a 10 unidades, con el propósito de reducir el inventario de productos terminados.

### *Ensayo 2. Pedidos constantes de clientes con ajuste en política de inventario*

---

El Ensayo 2 mantiene los pedidos de clientes constantes en 15 unidades por semana, pero se ajusta el factor de pedido de 15 a 10 unidades (un tercio menos que la demanda de pedidos). Esta es una variación en la política de inventarios en cuanto al volumen de pedido semanal que procura inducir la baja del inventario de productos terminados, que en el Ensayo 2 fue cuatro veces superior al nivel de pedidos de clientes.

Parámetros de decisión:

1. Longitud del intervalo de tiempo = 1 semana.
2. Capacidad inicial fija en SMP (50 unidades por semana) con ajustes por variación de demanda.

3. Capacidad inicial fija en DPT (30 unidades por semana) con ajustes por variación de demanda.
4. Demora en la entrega materia prima = 4 semanas.
5. Factor para calcular promedio móvil = 10 semanas.
6. Factor de pedido = 10 unidades por semana.
7. Factor cobertura inventario de productos terminados deseado = 4 segundos.
8. Estándar de almacenamiento de materia prima en SMP = 50 u/s.
9. Estándar de despacho de productos terminados en DPT = 30 u/s.
10. Estándar de producción en carpintería 5 u/h/s.
11. Ratio de materiales en carpintería: 0.80 unidad de producto terminado por unidad de materia prima.
12. Tiempo de la simulación: 52 segundos.

#### Volúmenes en la cadena:

1. Nivel inicial de pedidos pendientes: 0 u.
2. Nivel inicial de inventario de productos terminados en DPT: 25 u.
3. Nivel inicial de inventario materia prima en SMP: 50 u.
4. Nivel inicial para ajuste de Capacidad. de Almacenamiento Materia Prima: 0 u.
5. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Despacho Productos Terminados: 0 u.
6. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de fuerza laboral: 10 h.

#### Tasa de flujo:

1. Pedidos de clientes: 15 u de pedido constante a lo largo del período de simulación.

Políticas operacionales:

1. Fuerza laboral variable se incrementa o disminuye en atención a la demanda.
2. Inventario de productos terminados con una cobertura de 4 semanas (inventario de seguridad).
3. Pedido fijo: 10 unidades, un tercio menos que la demanda, pero ajustado por variación entre inventario de producto terminado deseado e inventario real.
4. Capacidad de almacenamiento de materia prima y capacidad de despacho de productos terminados = 50 y 30 respectivamente.
5. Estándar de almacenamiento de materia prima = 50 u/s.
6. Estándar de despacho de productos terminados = 30 u/s.
7. Estándar de producción: 5 M3/h/s.
8. Estándar de material = 0.80 ratio de utilización de madera ajustado por fuerza laboral.
9. Demora en el despacho de materia prima = 4 semanas.

### *Resultados del Ensayo 2*

Las Figuras 33, 34 y 35 muestran los resultados de 52 iteraciones realizadas en el simulador. La variable externa que se mantiene sin cambios es la de pedidos de clientes a razón de 15 unidades por semana y los pedidos entregados se igualan a esta tasa rápidamente en la semana 3. La tasa de producción se iguala a la tasa de pedidos de clientes en la semana 6 y así se mantiene hasta el final de la simulación (ver Figura 34). El pedido de materia prima se incrementa hasta un nivel de 25 unidades en las primeras 3 semanas y luego baja hasta un nivel de 18 por semana y así se mantiene hasta el final de la simulación.

El nivel de inventario de materia prima sube desde 50 hasta 75 unidades y se mantiene más o menos constante por encima del nivel de inventario de productos terminados. El inventario de productos termina-

dos deseado se ubica en 60 unidades (15 unidades/semana x 4 semanas de cobertura). El inventario de productos terminados oscila suavemente y se mantiene en 32, siempre por debajo del inventario de productos terminados deseado (ver Figura 34).

Figura 33.

### Tasas

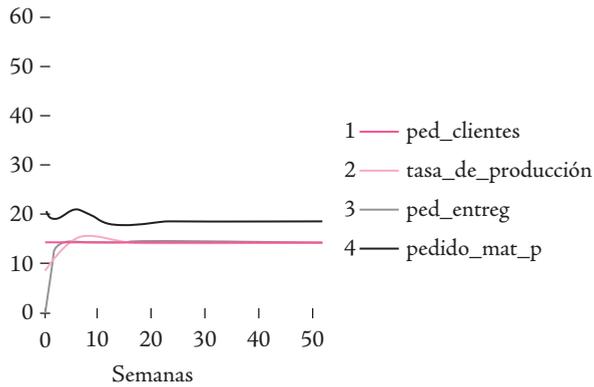
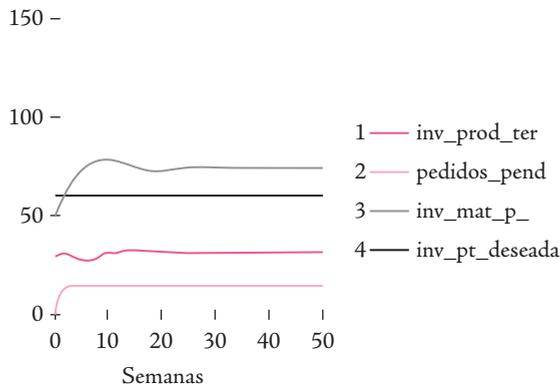


Figura 34.

### Niveles



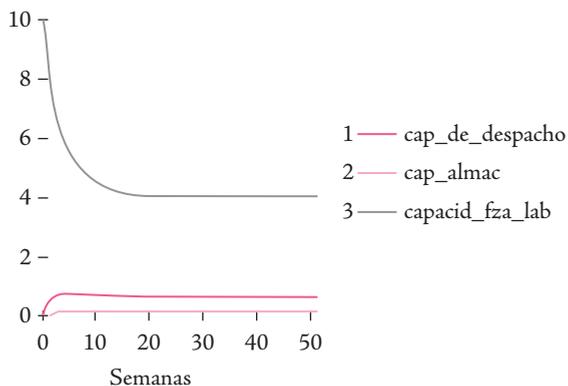
Elaboración propia de los Autores.

Los pedidos de clientes se entregan satisfactoriamente a una tasa de 15 por semana y así se mantiene durante todo el período de simulación, con holgura suficiente porque se tiene un inventario de 32 unidades contra 15 entregadas cada semana.

El nivel de fuerza laboral que se inicia con 10 personas baja a 4 aproximadamente hasta el final de la simulación, cantidad suficiente para cumplir con los pedidos, dado que cinco personas multiplicadas por el estándar de producción de 5 unidades/hombre/semana da un total de 20 unidades por semana (ver Figura 35). La capacidad de almacenamiento se ubica en 0.2, valor que multiplicado por el estándar de almacenamiento se traduce en 10 unidades por semana, lo cual señala la no necesidad de hacer ajustes en la capacidad de almacenamiento, dado que la capacidad de almacenamiento actual es fija en 50 unidades por semana.

Figura 35.

### Niveles Capacidad.



Elaboración propia de los Autores.

De igual manera se comporta la capacidad de despacho que se ubica en 0.70 para totalizar 21 unidades por semana, producto de multiplicar el nuevo nivel por el estándar de despacho.

Como conclusión de este Ensayo, las políticas de mantener la capacidad fija inicial para inventario de materia prima y de productos terminados en 50 y 30 unidades respectivamente, conservando constante la demanda, todavía es superior a lo necesario.

En el Ensayo 2 se genera un inventario de productos terminados de 32 unidades por semana, inferior a las 64 unidades del Ensayo anterior, y superior a la tasa de pedido de clientes que es de 15 unidades por semana. También se puede decir que la cobertura de inventario de cuatro semanas sigue siendo suficiente para cumplir con los pedidos. Por otro lado, la variación acelerada de la fuerza de trabajo hacia la baja puede producir conflictos entre los trabajadores.

Como conclusión del Ensayo 2, la disminución del factor de pedidos de 15 a 10 unidades por semana trajo consigo una disminución del nivel de inventario de productos terminados de 64 hasta 32 unidades, sin afectar la entrega de pedidos al cliente, y a menor costo por inventario de productos terminados.

### *Ensayo 3. Pedidos constantes de clientes con doble ajuste en política de inventario*

---

En este Ensayo 3 todavía se mantienen los pedidos constantes de clientes en 15 unidades por semana, pero haciendo un doble ajuste: primero modificando el factor de pedido de 15 a 10 unidades por semana (Ensayo 2) y reduciendo el factor de cobertura de inventario de 4 a 2 semanas; esta es una variación de la política de inventario en cantidad de pedidos e inventario de seguridad, que procuran inducir aún más hacia la baja el nivel de inventario de productos terminados de la Cadena de Simulación de Madera – Muebles (CSMM). Se ha observado en los dos experimentos anteriores que el volumen de inventario de productos terminados en la cadena fue hasta 4 y 2 veces superior a la demanda semanal de pedidos, respectivamente; desde luego esta política de ajuste muy acentuada pue-

de generar inexistencias en productos terminados si no se controlan los niveles adecuadamente.

Parámetros de decisión:

1. Longitud del intervalo de tiempo = 1 semana.
2. Capacidad inicial fija en SMP (50 unidades por semana) con ajustes por variación de demanda.
3. Capacidad inicial fija en DPT (30 unidades por semana) con ajustes por variación de demanda.
4. Demora en entrega de materia prima = 4 semanas.
5. Factor para calcular promedio móvil = 10 semanas.
6. Factor de pedido = 10 unidades por semana.
7. Factor cobertura inventario de productos terminados deseado = 2 segundos.
8. Estándar de almacenamiento de materia prima en SMP = 50 u/s.
9. Estándar de despacho de productos terminados en DPT = 30 u/s.
10. Estándar de producción en carpintería 5 u/h/s.
11. Ratio de materiales en carpintería: 0.80 unidad de producto terminado por unidad de materia prima.
12. Tiempo de la simulación: 52 segundos.

Volúmenes en la cadena:

1. Nivel inicial de pedidos pendientes: 0 u.
2. Nivel inicial de inventario de productos terminados en DPT: 25 u.
3. Nivel inicial de inventario materia prima en SMP: 50 u.
4. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Almacenamiento Materia Prima: 0 u.

5. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Despacho Productos Terminados: 0 u.
6. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de fuerza laboral: 10 h.

Tasa de flujo:

1. Pedidos de clientes: 15 u de pedido constante a lo largo del período de simulación.

Políticas operacionales:

1. Fuerza laboral variable se incrementa o disminuye en atención a la demanda.
2. Inventario de productos terminados con cobertura de 2 semanas.
3. Pedido fijo (un tercio menor que pedidos de clientes) pero ajustado por variación entre inventario de producto terminado deseado e inventario real.
4. Capacidad de almacenamiento de materia prima y capacidad de despacho de productos terminados = 50 y 30 respectivamente.
5. Estándar de almacenamiento de materia prima = 50 u/s.
6. Estándar de despacho de productos terminados = 30 u/s.
7. Estándar de producción: 5 u/h/s
8. Estándar de materiales = 0.80 ratio de utilización. de madera ajustado por fuerza laboral.
9. Demora en el despacho de materia prima = 4 semanas.

### *Resultados del Ensayo 3*

Las Figuras 36, 37 y 38 presentan los resultados de 52 iteraciones realizadas en el simulador. La variable externa que se mantiene sin cambios es los pedidos de clientes a razón de 15 u por semana, pero el factor de pedidos es menor en 5 unidades. Los pedidos entregados se igualan a esta tasa rápidamente en la semana 3, pero entre la semana 3 y la 6 lo entregado es

inferior a lo solicitado. A partir de la semana 6 estas dos tasas se igualan. La tasa de producción se iguala a la tasa de pedidos de clientes en la semana 3 y así se mantiene hasta el final de la simulación (ver Figura 36). El pedido de materia prima se incrementa hasta un nivel de 25 unidades en las primeras 3 semanas y luego baja hasta un nivel de 20 por semana, y así se mantiene hasta el final de la simulación.

El nivel de inventario de materia prima sube hasta 75 unidades y se mantiene más o menos constante por encima del nivel de inventario de productos terminados. El inventario de productos terminados deseado se ubica en 30 unidades (15 unidades/semana x 2 semanas de cobertura) la mitad de lo presentado en el Ensayo 1, el inventario de productos terminados oscila suavemente entre 25 y 15 unidades, pero siempre por debajo del inventario de productos terminados deseados (ver Figura 37).

Figura 36:

### Tasas

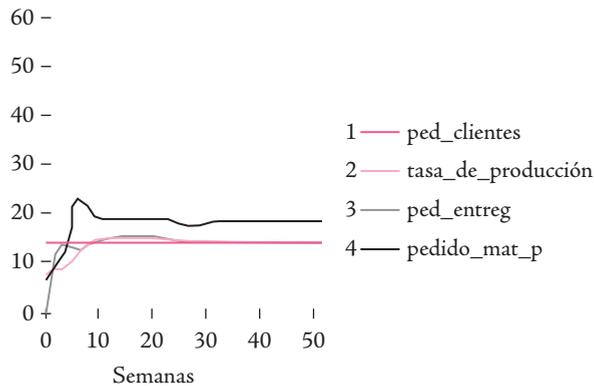
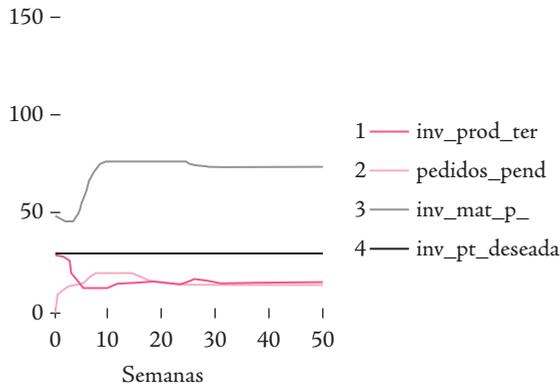


Figura 37:

## Niveles



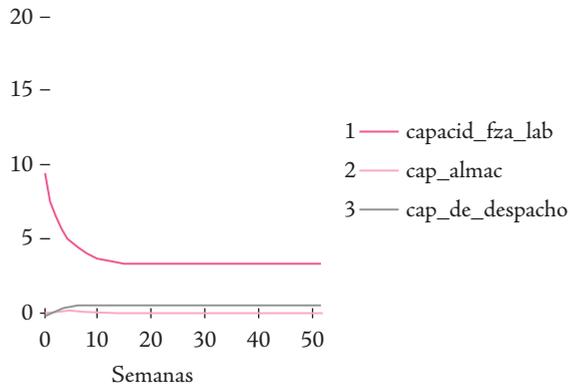
Elaboración propia de los Autores.

Los pedidos de clientes se entregan satisfactoriamente a una tasa de 15 por semana, pero a partir de la semana 7 y hasta la 20 se generan retrasos en la entrega de pedidos, dado que en ese lapso no hay inventario de productos terminados suficiente.

El nivel de fuerza laboral que se inicia con 10 personas baja hasta 4 al final de la simulación, cantidad suficiente para cumplir con los pedidos, dado que 4 personas, multiplicadas por el estándar de producción de 5 unidades/hombre/semana da un total de 20 unidades por semana (ver Figura 14). La capacidad de almacenamiento se ajusta 0.2, valor que multiplicado por el estándar de almacenamiento se traduce en 10 unidades por semana, aspecto que señala la no necesidad de hacer ajustes en capacidad de almacenamiento, dado que la capacidad de almacenamiento actual fija es constante en 50 unidades por semana.

Figura 38.

### Niveles Capacidad



Elaboración propia de los Autores.

De igual manera se comporta la capacidad de despacho que se ubica en 0.7 para totalizar 21 unidades por semana, lo que es el producto de multiplicar el nuevo nivel por el estándar de despacho.

**Conclusión de este Ensayo:** las políticas de capacidad para los inventarios de materia prima y de productos terminados en 50 y 30 unidades respectivamente son suficientes para este nivel de pedidos. En este nivel de pedidos se genera inventario de productos terminados de 16 unidades por semana, muy inferior a las 62 unidades de los experimentos anteriores, pero muy cerca de la tasa de pedido de clientes de 15 por semana; es decir, la cobertura de inventario de seguridad de 2 semanas es suficiente para cumplir con los pedidos, pero genera escasez entre las semanas 5 y 22; para superarla es necesario reducir la demora del despacho de materia prima de 4 a 1 semana.

#### *Ensayo 4. Pedidos en crecimiento tipo escalón*

En este ensayo los pedidos se incrementan en una función tipo escalón de un paso, de 15 a 30 unidades por semana en la semana 10. El factor

de pedido se ajusta a la demanda y se mantiene el factor de cobertura de inventario de 4 semanas. Con este ensayo se pretende observar el comportamiento de la cadena ante un incremento de la demanda del 100 % en 10 semanas.

Parámetros de decisión:

1. Longitud del intervalo de tiempo = 1 semana.
2. Capacidad inicial fija en SMP (50 unidades por semana) con ajustes por variación de demanda.
3. Capacidad inicial fija en DPT (30 unidades por semana) con ajustes por variación de demanda.
4. Demora en entrega de materia prima = 4 semanas.
5. Factor para calcular promedio móvil = 10 semanas.
6. Factor de pedido = función escalón de un paso de 15 a 30 en 10 segundos.
7. Factor cobertura inventario de productos terminados deseado = 4 segundos.
8. Estándar de almacenamiento de materia prima en SMP = 50 u/s.
9. Estándar de despacho de productos terminados en DPT = 30 u/s.
10. Estándar de producción en carpintería 5 u/h/s.
11. Ratio de materiales en carpintería: 0.80 unidad de producto terminado por unidad de materia prima.
12. Tiempo de la simulación: 52 segundos.

Volúmenes en la cadena:

1. Nivel inicial de pedidos pendientes: 0 u.
2. Nivel inicial de inventario de productos terminados en DPT: 25 u.
3. Nivel inicial de inventario de materia prima en SMP: 50 u.

4. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Almacenamiento materia prima: 0 u.
5. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Despacho productos terminados: 0 u.
6. Nivel inicial de Capacidad de fuerza laboral: 10 h.

Tasa de flujo:

1. Pedidos de clientes: 15 u con incremento de 15 en la semana 10.

Políticas operacionales:

1. Fuerza laboral variable: se incrementa o disminuye en función de la demanda.
2. Inventario de productos terminados con una cobertura de 4 semanas.
3. Pedido función escalón, pero ajustado por variación entre inventario de productos terminados deseado e inventario real.
4. Capacidad de almacenamiento de materia prima y capacidad de despacho de productos terminados = 50 y 30 respectivamente.
5. Estándar de almacenamiento de materia prima = 50 u/s.
6. Estándar de despacho de productos terminados = 30 u/s.
7. Estándar de producción: 5 u/h/s.
8. Estándar de materiales = 0.80 ratio de utilización. de madera ajustado por fuerza laboral
9. Demora en el despacho de materia prima = 4 semanas.

## *Resultados del Ensayo 4*

En este ensayo la variable externa de pedidos de clientes cambia desde 15 hasta 30 unidades de pedido en la semana 10 y así se mantiene constante hasta el final de la simulación. Este cambio se realiza utilizando la función escalón de un paso. Se observa en la Figura 39 que los pedidos entregados se igualan a los pedidos de clientes de forma acelerada en la semana 5 y luego en la semana 15 se igualan a 30 unidades. Es decir, 5 semanas después del cambio en el nivel de pedidos; eso no quiere decir que se entra en incumplimiento porque existe un inventario inicial de productos terminados que permite hacer la entrega que corresponda.

La tasa de producción se iguala a la tasa de pedidos de clientes en la semana 2, después de oscilar con intensidad por el cambio en de tasa se nivela con pedidos de clientes y pedidos entregados a partir de la semana 40. El pedido de materia prima después de bajar desde 50 unidades hasta 18 en 10 semanas se incrementa nuevamente hasta 48 unidades en la semana 15, cuando siente el impacto del cambio en el nivel de pedidos y luego se estabiliza en 37 unidades.

El nivel de inventario de materia prima oscila en ascenso y sube hasta 150 unidades en la semana 10, luego se estabiliza en 140 unidades a partir de la semana 30, muy por encima del inventario de productos terminados. El inventario de productos terminados deseado sube por efecto de la función escalón, desde 50 unidades hasta 168 unidades en la semana 18, y se estabiliza alrededor de las 150 unidades después de la semana 34 ubicándose muy por encima del inventario de productos terminados y del nivel de pedidos pendientes. Se observa en la Figura 39 que con esta política se puede cumplir oportunamente con los clientes de madera.

Figura 39.

### Tasas

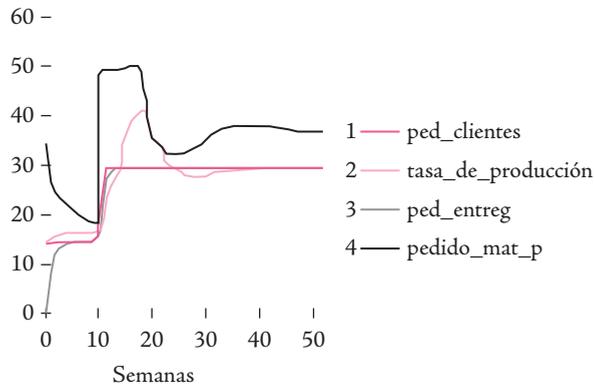
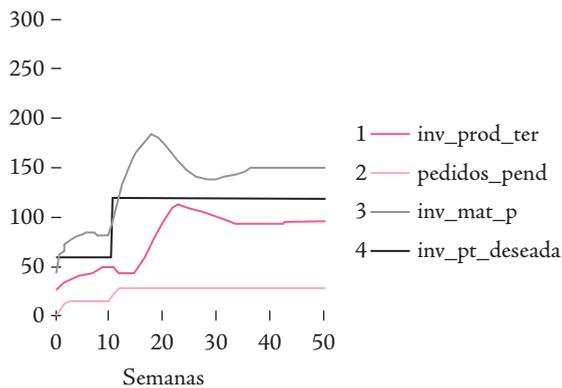


Figura 40.

### Niveles



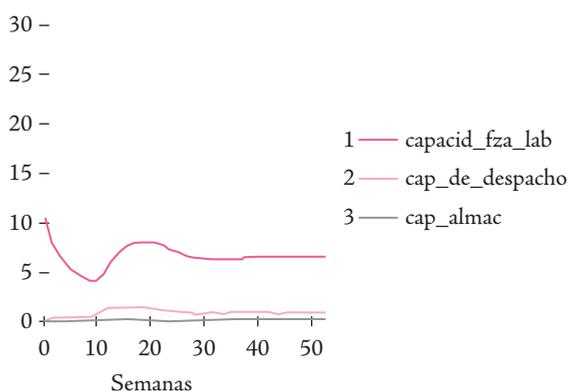
Elaboración propia de los Autores.

Los pedidos de clientes se entregan satisfactoriamente a una tasa de 15 por semana hasta la semana 10 y luego a una tasa de 30 desde la semana 30 en adelante hasta el final del ensayo. Entre las semanas 10 y 20 se observa un cambio como consecuencia del incremento en el nivel de pedidos.

La capacidad de fuerza laboral se muestra en la Figura 49 e inicia con 10 personas, baja hasta 4 en la semana 8 y luego, a partir de la semana 10, se estabiliza en 7 hasta el final de la simulación. Es una cantidad suficiente para cumplir con los pedidos antes dado que 7 personas por el estándar de producción de 5 unidades/hombre/semana totaliza 35 unidades por semana (ver Figura 63). La capacidad de ajuste de almacenamiento se ubica en 0.4, valor que multiplicado por el estándar de almacenamiento se traduce en 21 unidades por semana. Este comportamiento muestra la no necesidad de hacer ajustes en la capacidad de almacenamiento dado que la capacidad de almacenamiento actual es constante en 50 unidades por semana.

Figura 41.

### Niveles de Capacidad



Elaboración propia de los Autores.

De igual manera, el comportamiento de la capacidad de despacho se ubica en 1.4 para totalizar 42 unidades por semana que es el producto de multiplicar el nuevo nivel por el estándar de despacho.

**Conclusión de este Ensayo:** las políticas de capacidad inicial fijas para los inventarios de materia prima y de productos terminados de 50 y 30 unidades respectivamente son suficientes para cubrir el cambio en

el flujo de pedidos de clientes. Para esta tasa de pedidos, 15 y 30 en la semana 10, se genera al final de la simulación un inventario de productos terminados de 63 unidades por semana, más del doble de lo solicitado (30 unidades por semana después de la semana 10).

A lo largo del período de simulación de 52 semanas el inventario de productos terminados fue siempre superior al de pedidos pendientes. Es decir, la cobertura de inventario de seguridad de cuatro semanas para el inventario deseado y un factor de pedido igual a la demanda son políticas más que suficientes para cumplir con los pedidos de los clientes. Desde luego existe un inventario de productos terminados que incrementa los costos de inventario.

### *Ensayo 5. Pedidos en crecimiento tipo logística*

---

En este ensayo 5 los pedidos se incrementarán bajo la función logística, desde 15 unidades en la semana 0 hasta 40 unidades en la semana 25. Se ajusta el factor de pedido a la demanda semanal, se disminuye el factor de cobertura de inventario de productos terminados deseado a 2 semanas y la demora en el despacho de materia prima se incrementa de 4 a 8 semanas. Con este experimento se observará el comportamiento de la cadena de madera - muebles ante un incremento de la demanda del 400 % en 10 semanas.

Parámetros de decisión:

1. Longitud del intervalo de tiempo = 1 semana.
2. Capacidad inicial fija en SMP (50 unidades por semana) con ajustes por variación de demanda.
3. Capacidad inicial fija en DPT (30 unidades por semana) con ajustes por variación de demanda.
4. Demora en entrega de materia prima = 8 semanas.
5. Factor para calcular promedio móvil = 10 semanas.

6. Factor de pedido variable función logística.
7. Factor cobertura inventario de productos terminados deseado = 2 segundos.
8. Estándar de almacenamiento de materia prima en SMP = 50 u/s.
9. Estándar de despacho de productos terminados en DPT = 30 u/s.
10. Estándar de producción en carpintería 5 u/h/s.
11. Ratio de materiales en carpintería: 0.80 unidad de producto terminado por unidad de materia prima.
12. Tiempo de la simulación: 52 segundos.

Volúmenes en la cadena:

1. Nivel inicial de pedidos pendientes: 0 u.
2. Nivel inicial de inventario de productos terminados en DPT: 25 u.
3. Nivel inicial de inventario de materia prima en SMP: 50 u.
4. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Almacenamiento Materia prima: 0 u.
5. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Despacho de productos terminados: 0 u.
6. Nivel inicial de Capacidad de fuerza laboral: 10 h.

Tasa de flujo:

1. Pedidos de clientes: 15 u con incremento tipo función logística hasta 40 unidades en la semana 25.

Políticas operacionales:

1. Fuerza laboral variable: se incrementa o disminuye en función de la demanda.
2. Inventario de productos terminados con cobertura de 2 semanas.

3. Pedido variable y ajustado por la diferencia entre inventario de producto terminado deseado e inventario real.
4. Capacidad de almacenamiento de materia prima actual y capacidad de despacho de productos terminados = 50 y 30 respectivamente.
5. Estándar de almacenamiento de materia prima = 50 u/s.
6. Estándar de despacho de productos terminados = 30 u/s.
7. Estándar de producción: 5 u/h/s.
8. Estándar de materiales = 0.80 ratio de utilización .de madera ajustado por fuerza laboral
9. Demora en el despacho de materia prima = 4 semanas.

### *Resultados del Ensayo 5*

En el ensayo 5 la variable externa de pedidos de clientes cambia desde 15 hasta 40 unidades en la semana 25 y así se mantiene constante hasta el final de la simulación. Este cambio se realiza utilizando la función logística. Se observa en la Figura 42 que el número de pedidos de los clientes es superior al número de pedidos entregados hasta la semana 5, luego hasta la semana 18 esta relación se invierte, pero el nivel de pendientes sigue creciendo; es decir, que la cadena entra en incumplimiento desde el principio de la simulación.

La tasa de producción es ligeramente superior a los pedidos entregados hasta la semana 36, punto en el cual se invierte esta relación. El pedido de materia prima tiene fuertes oscilaciones entre 50 y 30 unidades, y no logra estabilizarse a lo largo del período de simulación (ver Figura 43). Esta variación del pedido de materia prima y la demora en la entrega que se ajusta de 4 a 8 semanas hace acumular el nivel de inventario de manera importante desde 0 como valor inicial hasta 370 unidades en la semana 28, muy por encima del inventario de productos terminados cuyo máximo nivel 111 ocurre en la semana 36.

Figura 42.

### Tasas

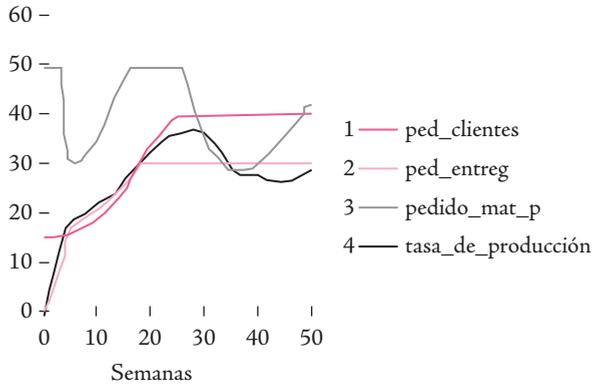
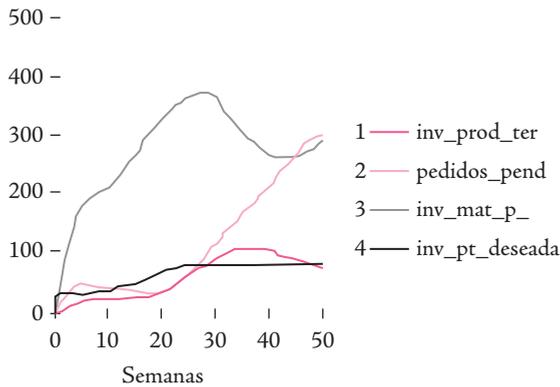


Figura 43.

### Niveles



Elaboración propia de los Autores.

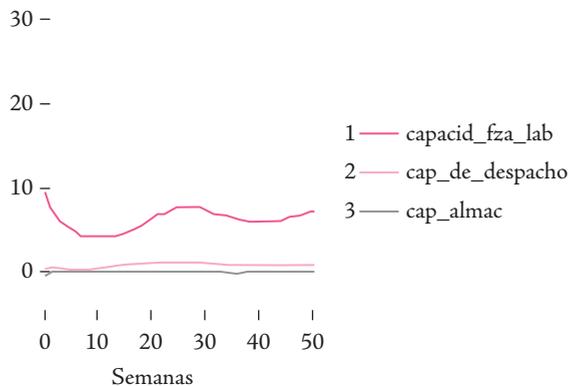
El inventario de productos terminados deseado sube por efecto de la función logística, desde 30 hasta 80 unidades a partir de la semana 25 y desciende por debajo del inventario de productos terminados y del nivel de pedidos pendientes a partir de la semana 26. Se observa en la Figura 42 que con estas políticas no se puede cumplir oportunamente con los clientes.

Los pedidos de clientes no se entregan satisfactoriamente, de allí la acumulación semanal de pendientes. La capacidad de fuerza laboral mostrada en la Figura 44 que comienza con 10 personas oscila entre 4 y 7 hasta el final de la simulación, que es una cantidad suficiente para cumplir con los pedidos durante las primeras semanas y antes de que los pedidos se estabilicen en 40 unidades a partir de la semana 25, dado que 7 personas por el estándar de producción de 5 unidades/hombre/semana totalizan 35 unidades por semana (ver Figura 43).

La capacidad de almacenamiento adicional para agregar a la capacidad fija de 50 unidades es de 0.22, valor que multiplicado por el estándar de almacenamiento se traduce en 11 unidades por semana, lo que señala la no necesidad de hacer ajustes en capacidad de almacenamiento porque se incrementa más la capacidad. En este caso, tal como se señaló en el protocolo, la capacidad de almacenamiento actual es constante en 50 unidades por semana y más que suficiente para una tasa de 40 a partir de la semana 25.

Figura 44.

### Niveles de Capacidad



Elaboración propia de los Autores.

De igual manera se comporta la capacidad de despacho que señala 1.39 de capacidad adicional para totalizar 40 unidades por semana, lo cual es el resultado de multiplicar el nivel por el estándar de despacho.

**Conclusión de este Ensayo:** la política de capacidad fija de 50 unidades para el inventario de materia prima es suficiente, pero no así la de productos terminados de 30 unidades, la cual debe ser ajustada hasta 40 unidades, con el fin de reducir el nivel de pedidos pendientes y lograr el equilibrio entre lo solicitado y lo entregado; ante este nivel de pedidos (15 y 40 unidades en la semana 25) se genera un alto inventario de materia prima y un bajo inventario de productos terminados.

A lo largo del período de simulación de 52 semanas, siempre el nivel de pedidos pendientes fue superior al inventario de productos terminados y con mayor intensidad hacia el final de la simulación. Es decir, la cobertura de inventario de seguridad de dos semanas para el inventario deseado y un factor de pedido variable no hace una cadena rápida en entrega de pedidos; debe en consecuencia aumentarse la capacidad de despacho de materia prima hasta 40.

### *Ensayo 6. Pedidos en declinación acelerada*

---

En este ensayo de simulación se comprobarán los efectos en la cadena de una disminución acelerada de pedidos de clientes, desde 15 hasta 0 en 10 semanas. Se ajusta el factor de pedido a la demanda semanal y el factor de cobertura de inventario de productos terminados deseado es de 2 semanas.

Parámetros de decisión:

1. Longitud del intervalo de tiempo = 1 semana.
2. Capacidad inicial fija en SMP (50 unidades por semana) con ajustes por variación de demanda.

3. Capacidad inicial fija en DPT (30 unidades por semana) con ajustes por variación de demanda.
4. Demora en entrega de materia prima = 4 semanas.
5. Factor para calcular promedio móvil = 10 semanas.
6. Factor de pedido variable en función de la demanda.
7. Factor cobertura inventario de productos terminados deseado = 2 segundos.
8. Estándar de almacenamiento de materia prima en SMP = 50 u/s.
9. Estándar de despacho de productos terminados en DPT = 30 u/s.
10. Estándar de producción en carpintería 5 u/h/s.
11. Ratio de materiales en carpintería: 0.80 unidad de producto terminado por unidad de materia prima.
12. Tiempo de la simulación: 52 segundos.

#### Volúmenes en la cadena:

1. Nivel inicial de pedidos pendientes: 0 u.
2. Nivel inicial de inventario de productos terminados en DPT: 25 u.
3. Nivel inicial de inventario de materia prima en SMP: 50 u.
4. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Almacenamiento de materia prima: 0 u.
5. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Despacho de productos terminados: 0 u.
6. Nivel inicial de Capacidad de fuerza laboral: 10 h.

#### Tasa de flujo:

1. Pedidos de clientes: 15 u con decrecimiento hasta 0 unidades en la semana 10.

Políticas operacionales:

1. Fuerza laboral variable: se incrementa o disminuye en función de la demanda.
2. Inventario de productos terminados con una cobertura de 2 semanas.
3. Pedido variable y ajustado por la diferencia entre inventario de producto terminado deseado e inventario real.
4. Capacidad de almacenamiento de materia prima actual y capacidad de despacho de productos terminados = 50 y 30 respectivamente.
5. Estándar de almacenamiento de materia prima = 50 u/s.
6. Estándar de despacho de productos terminados = 30 u/s.
7. Estándar de producción: 5 u/h/s.
8. Estándar de materiales = 0.80 ratio de utilización de madera ajustado por fuerza laboral
9. Demora en el despacho de materia prima = 4 semanas.

### *Resultados del Ensayo 6*

En este ensayo la variable externa de pedidos de los clientes cambia desde 15 hasta 0 unidades de pedido en la semana 10 y así se mantiene constante hasta el final de la simulación. Se observa en la Figura 45 que los pedidos de los clientes y los pedidos entregados tienen el mismo comportamiento, es decir, descienden desde 20 hasta 0 en la semana 10. La tasa de producción comienza a subir por el efecto de la materia prima inicial y de los pedidos iniciales, pero luego disminuye hasta cero.

El pedido de materia prima es el último en declinar; primero sube hasta 43 unidades en la semana 2 y luego a partir de la 10 cae a 0 unidades (ver Figura 46). El nivel de inventario de la materia prima sube hasta 116 unidades en la semana 3 a pesar de que los pedidos de los clientes y el inventario de productos terminados deseado están en disminución.

Figura 45.

### Tasas

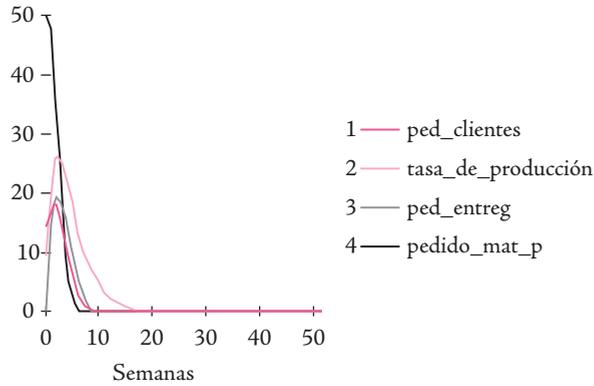
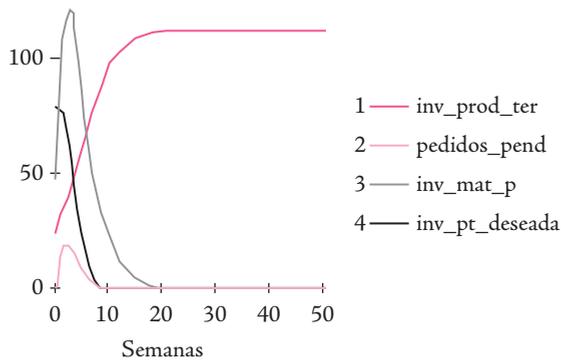


Figura 46.

### Niveles



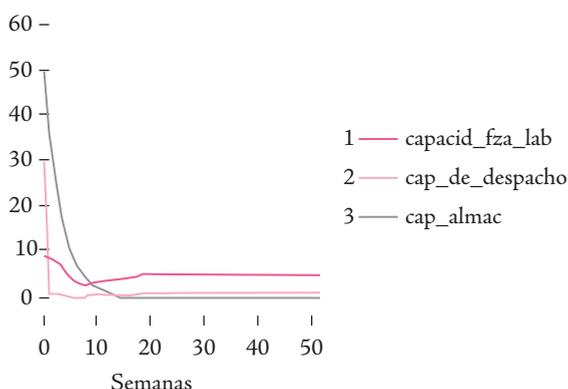
Elaboración propia de los Autores.

El nivel de inventario de productos terminados sube porque no hay pedidos o están en descenso. La capacidad de fuerza laboral mostrada en la Figura 47 que se inicia con 10 personas y llega a 5 hasta el final de la simulación es más que suficiente para cubrir pedidos en declinación (5 unidades/hombre/semana por 5 totaliza 25 unidades por semana) (ver Figura 46).

La capacidad de almacenamiento para ajustar la capacidad fija de 50 unidades tiene un valor de 0, característica que indica la no necesidad de hacer ajustes en esta capacidad. En este caso, tal como se señaló en el protocolo inicial, la capacidad de almacenamiento actual es fija en 50 unidades por semana, la cual es más que suficiente para una tasa de 15 en descenso hasta 0 en la semana 10.

Figura 47.

### Niveles de Capacidad



Elaboración propia de los Autores.

De igual manera se comporta la capacidad de despacho que señala 0.9 de capacidad adicional para totalizar 27 unidades por semana, lo cual es el resultado de multiplicar el nivel por el estándar de despacho.

Una conclusión de este Ensayo es que la política de capacidad fija para el inventario de materia prima de 50 unidades es excesiva, al igual que la de productos terminados de 30 unidades, dado que los pedidos están en declinación desde 15 hasta 0 en 10 semanas.

A lo largo del período de simulación de 52 semanas, siempre el nivel de productos terminados fue superior al de los pedidos pendientes. Es decir, la cobertura de inventario de seguridad de dos semanas para el inventario no se justifica en pedidos en declive.

Finalmente, otra conclusión es que se debe limitar la capacidad de almacenamiento y despacho o aumentar la demora en el procesamiento de la materia prima para evitar incrementos innecesarios en el inventario de productos terminados.

Como segunda aplicación de la Dinámica de Sistemas se desarrolla el Modelo de la cadena de suministro de leche - quesos blandos.

## Cadena de suministro leche - quesos blandos

El Sector leche - quesos blandos es, dentro de las pymes, una de las áreas emblemáticas de la Región Guayana (Venezuela) por su tradicional queso guayanés; sus fabricantes buscan una denominación de origen para garantizar calidad y poder competir en mercados nacionales e internacionales.

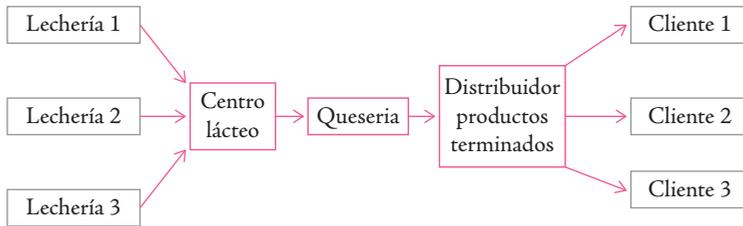
Este sector lo integran 35 queserías que -en conjunto- producen 7.500 kilogramos de queso por día; son pequeñas unidades de producción que adquieren su materia prima en fincas o lecherías de la zona y venden sus productos a distribuidores y clientes en general.

### Estructura de la cadena de suministro leche – quesos blandos

La Figura 48 muestra un esquema general de la cadena de suministro leche-quesos blandas.

Figura 48.

### Cadena de suministro leche - quesos blandos



Tomado de la Tesis Doctoral *Desarrollo de un modelo de simulación para ensayar Políticas Operacionales en la Cadena de Suministro de las pymes Transformadoras* por Wilfredo Guaita, 2008: 157.

Esta cadena incorpora, como suplidor de materia prima, un centro lácteo que recoge la producción lechera de las fincas y un distribuidor de productos terminados que los entrega a los clientes, minoristas o detallistas. En conclusión, está compuesta por tres fincas productoras de leche, un centro lácteo, una quesería, un distribuidor de productos terminados y tres Clientes (3/1/1/1/3).

### *Modelo Causal o de Influencia de la cadena de suministro leche – quesos blandos*

La Figura 49 muestra las relaciones causales o de influencia propias del Centro Lácteo; señala la demanda prevista y su relación con el pedido y con el inventario de materia prima deseados.

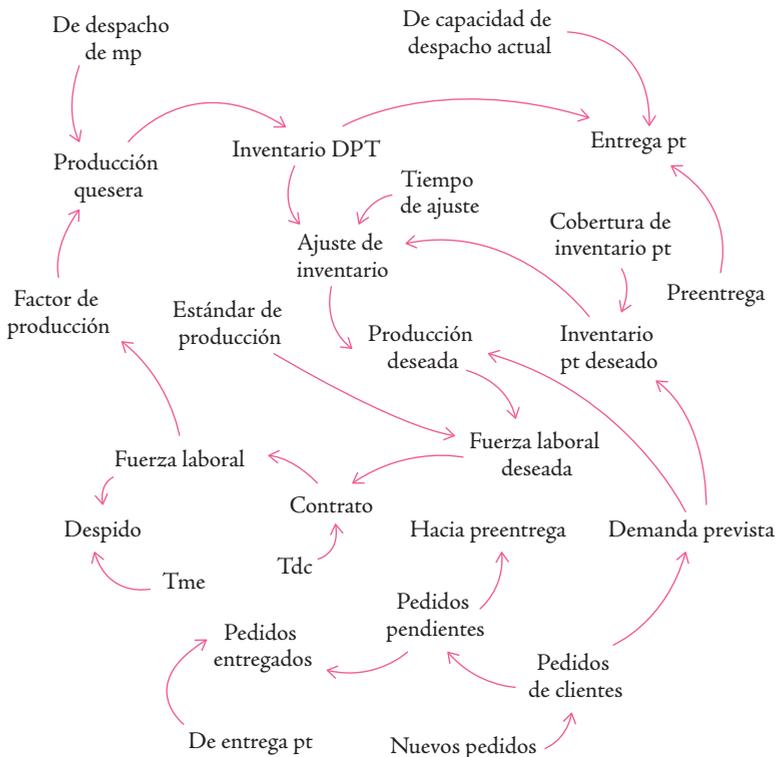


-con capacidad fija inferior a lo necesario para almacenar el pedido deseado- obliga a pedir lo que permite esta capacidad fija; en cambio, si resulta superior se solicita el pedido deseado.

El despacho a la quesería señala la relación con la producción que se muestra en la Figura 49 en la cual la materia prima multiplicada por el ratio de materiales da como resultado la cantidad que se va a producir. En la Figura 49 se especifican además las relaciones entre la producción en la quesería y el almacenamiento en el Distribuidor de productos terminados, y se suma la incidencia de los pedidos de clientes en la fuerza laboral.

Figura 50.

### Quesería y DPT



Tomado de la Tesis Doctoral *Desarrollo de un modelo de simulación para ensayar Políticas Operacionales en la Cadena de Suministro de las pymes Transformadoras* por Wilfredo Guaita, Desarrollado en Vensim, 2008: 171.

La demanda prevista impulsa la producción y el inventario deseados, que hay que calcular en función del inventario real en un lapso de ajuste. La producción deseada más el inventario ajustado determinan la mano de obra deseada, la cual dividida entre el estándar de producción indica la cantidad de fuerza laboral que debe ser contratada.

El nuevo nivel de fuerza laboral resulta en la producción normalizada de la quesería; al término de la fabricación los productos van al almacén de productos terminados del Distribuidor (DPT), quien entrega al cliente.

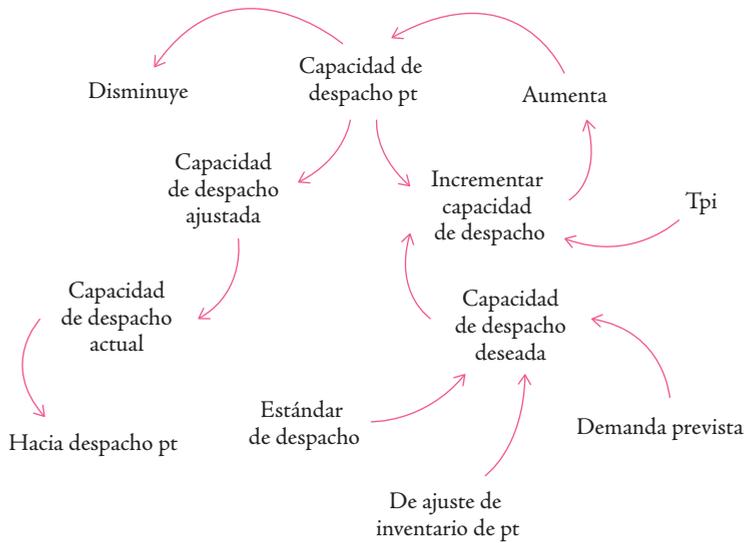
Al igual que se hizo en el SMP, hay que observar la capacidad de despacho para verificar la cantidad que se va a remitir; aquí se introduce el término preentrega. Si esta preentrega es menor que el inventario real se entrega la cantidad solicitada por el cliente, si es mayor se entrega solo lo existente en el inventario. Seguidamente, si para lo existente en el inventario la capacidad de despacho es suficiente se entrega el pedido, pero si es insuficiente solo se entrega lo que la capacidad de despacho permite.

La Figura 51 señala las relaciones inherentes al nivel de capacidad del DPT, donde la demanda prevista se relaciona con la capacidad de despacho deseada, la cual dividida entre el estándar determina la capacidad para ese nivel de pedidos. Por otro lado, el estándar multiplicado por el nivel de capacidad de despacho actual en el DPT determina el ajuste de capacidad de despacho y define la capacidad actual.

En principio, existe una capacidad de despacho fija cuyo cambio no es instantáneo debido al ajuste; hay una demora, bien sea para buscar más capacidad de despacho o para disminuirla. El cálculo inicial con capacidad fija inferior a lo necesario para despachar el pedido deseado obliga a pedir lo que permite esta capacidad fija; en cambio, si resulta superior se pide el pedido deseado; es decir, se tienen las mismas limitaciones presentadas en el SMP.

Figura 51.

## Capacidad de despacho en DPT



Tomado de la Tesis Doctoral *Desarrollo de un modelo de simulación para ensayar Políticas Operacionales en la Cadena de Suministro de las pymes Transformadoras* por Wilfredo Guaita, Desarrollado en Vensim, 2008: 172.

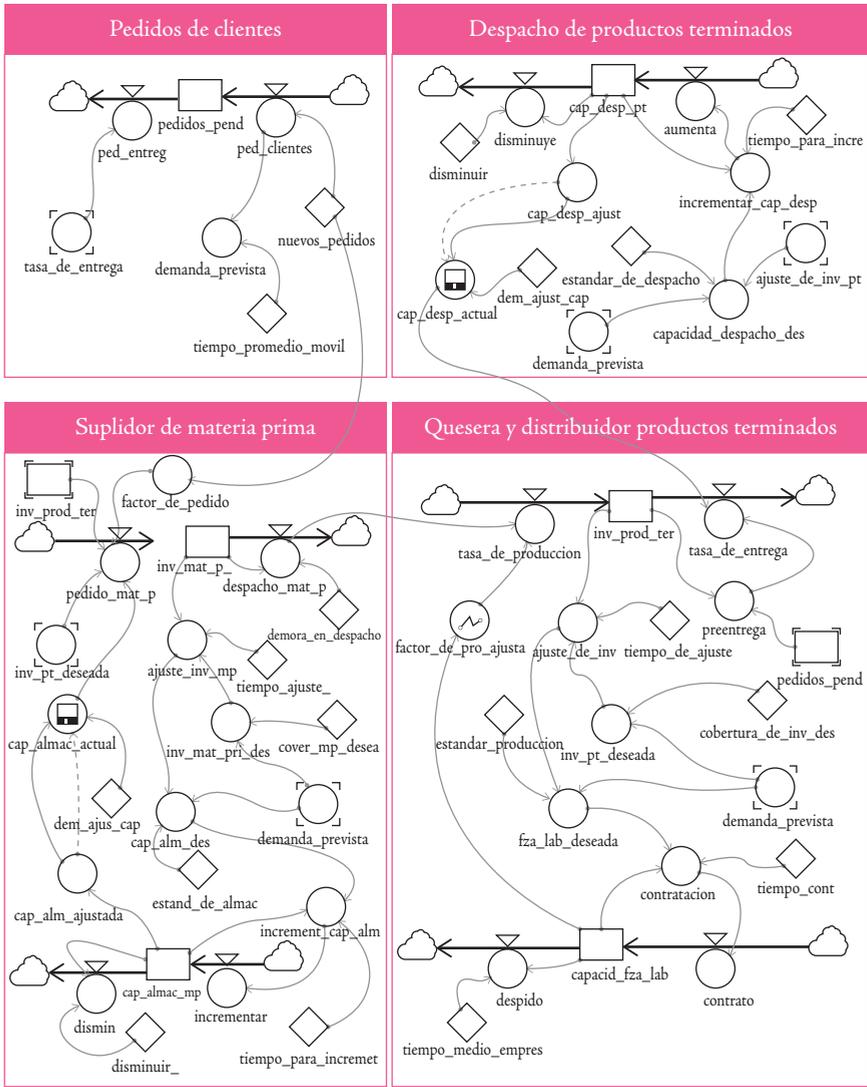
Las relaciones causales o de influencia entre la CL, la quesería y el DPT mostradas en las Figuras 49, 50, 51 se expresan en el Modelo Informático de la Figura 52. Este modelo sirve de base para ensayar las políticas operacionales que correspondan.

### *Modelo Informático en la cadena de suministro leche-quesos blandas*

La Figura 52 muestra el modelo para ensayar las políticas operacionales

Figura 52.

## Modelo Informático de la cadena de suministro leche - quesos blandos



Tomado de la Tesis Doctoral *Desarrollo de un modelo de simulación para ensayar Políticas Operacionales en la Cadena de Suministro de las pymes Transformadoras* por Wilfredo Guaita, Desarrollado en Powersim, 2008: 174.

## *Resultado y discusión de los ensayos en la cadena de suministro leche - quesos blandos*

---

Los resultados de cinco ensayos en la cadena de suministro leche-quesos blandos son expuestos en esta sección, donde en el Ensayo 1, que sirve de base, se mantiene constante el nivel de pedidos a lo largo del lapso de simulación y se fijan los valores del protocolo de ensayo que contempla: Parámetros de Decisión, Volúmenes del Sistema, Tasas de Flujo y Políticas Operacionales. Con esta primera corrida se determina la primera referencia de comportamiento. En los Ensayos 2, 3 y 4 se hacen incrementos en la demanda siguiendo funciones conocidas y ajustando políticas operacionales, y en el 5 se prueba con una disminución de demanda de manera acelerada.

### *Ensayo 1. Pedidos constantes de clientes*

---

En este ensayo de simulación se comprueban los efectos en la cadena cuando los pedidos de clientes son constantes a lo largo de la simulación.

Parámetros de decisión:

1. Longitud del intervalo de tiempo = 1 día.
2. Capacidad inicial fija en SMP (3000 unidades por día) con ajustes por variación de demanda.
3. Capacidad inicial fija en DPT (600 unidades por día) con ajustes por variación de demanda.
4. Fuerza laboral variable.
5. Demora en entrega de leche = 1 d.
6. Factor para calcular promedio móvil = 5 d.
7. Factor de pedido = 100 kg/d.
8. Factor de cobertura inventario de productos terminados deseado = 1 d.

9. Estándar de almacenamiento de materia prima en CL = 3000 L/d.
10. Estándar de despacho de productos terminados en DPT = 600 kg/d.
11. Estándar de producción en quesería = 7 kg/h/d.
12. Ratio de materiales en quesería = 0.20 kg de queso por 1 kg de leche.
13. Tiempo de la simulación: 90 días.

#### Volúmenes en la cadena:

1. Nivel inicial de pedidos pendientes: 0 m<sup>3</sup>.
2. Nivel inicial de inventario de productos terminados en DPT: 200 kg.
3. Nivel inicial de inventario de materia prima en CL: 1000 L.
4. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Almacenamiento de materia prima: 3000 L.
5. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Despacho de productos terminados: 600 kg.
6. Nivel inicial para ajuste de capacidad de fuerza laboral: 15 h.

#### Tasa de flujo:

1. Pedidos de clientes: 100 kg de queso constante.

#### Políticas operacionales:

1. Fuerza laboral variable: se incrementa o disminuye en función de la demanda.
2. Capacidad variable en CL y DPT en función de la demanda, pero con demora de 90 días para el ajuste de capacidad.
3. Tener inventario de productos terminados con una cobertura de 1 día.

4. Pedido constante en función de la demanda, pero ajustado por variación entre inventario de producto terminado deseado e inventario real.
5. Capacidad de almacenamiento de materia prima = 3000 L.
6. Capacidad de despacho = 600 kg.
7. Estándar de almacenamiento de materia prima = 3000 L/d.
8. Estándar de despacho de productos terminados = 600 kg/d.
9. Estándar de producción: 7 kg/h/d.
10. Ratio de materiales = 0.20 unidades de pt por unidad de mp ajustado por variación de fuerza laboral.
11. Demora en el despacho de leche = 1 d.

### *Resultados del Ensayo 1*

Los resultados de 30 iteraciones realizadas en el simulador se muestran en las Figuras 53, 54 y 55. La variable externa que se mantiene sin cambios a todo lo largo del período de simulación es la de pedidos de clientes a razón de 100 kilogramos por día, observándose en la Figura 53 que los pedidos entregados se igualan a esta tasa en el día 7, para después mantenerse por debajo de la tasa de pedidos en cerca de 11 unidades, lo que significa una acumulación de pedidos pendientes. La tasa de producción descende desde 400 kilogramos por día para acoplarse a la tasa de pedidos alrededor del día 11 con oscilaciones moderadas, y la tasa de pedidos de materia prima que comienza con 200 litros en el día 1 sube hasta 281 el día 11 y concluye alrededor de 250 litros, siempre por encima del resto de las tasas.

Este comportamiento de igualación hacia la tasa de pedidos sin oscilaciones muy apreciables es típico de sistemas estables, pero puede acumular niveles de pedidos pendientes que le hagan perder clientes en el mediano plazo; como se observa en la Figura 54; el nivel de pedidos pendientes se ubica al final de la simulación en 344 kilogramos, el ni-

vel de inventario de materia prima se mantiene por encima del nivel de inventario de productos terminados (90 kilogramos) y el inventario de productos terminados deseado se ubica en 200 kilogramos.

Figura 53.

### Tasas

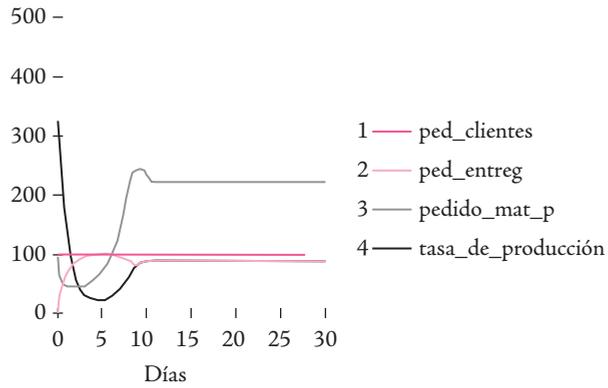
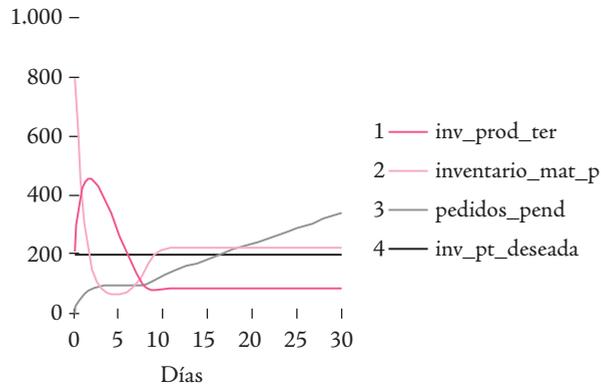


Figura 54.

### Niveles



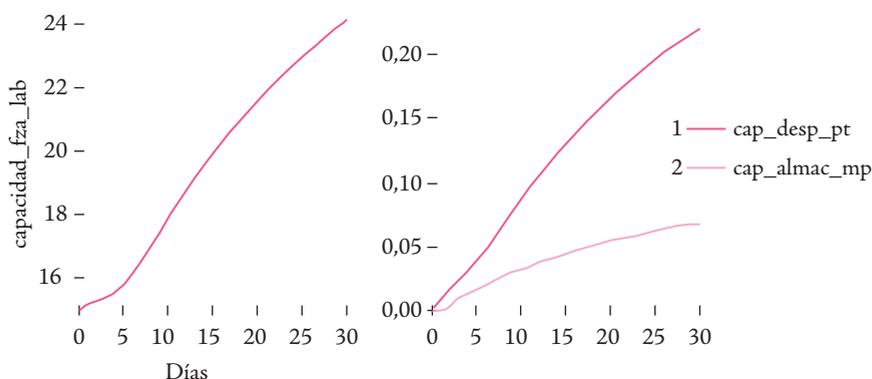
Elaboración propia de los Autores.

Se observa que con estos niveles los pedidos de clientes no se entregan satisfactoriamente a una tasa de 100 kilogramos por día, ya que no hay suficiente inventario de productos terminados.

El nivel de fuerza laboral (ver Figura 55) que se inicia con 15 personas sube hasta 24 al final de la simulación, cantidad necesaria para incrementar el nivel de entrega, pero todavía insuficiente después del día 15. La capacidad de almacenamiento y de despacho sube, condición que muestra la necesidad de ajuste de capacidad en exceso para este nivel de pedidos.

Figura 55.

### Niveles de Capacidad



Elaboración propia de los Autores.

**Conclusión de este Ensayo:** la política de mantener capacidades variables en los inventarios de materia prima y de despacho de productos terminados indica que no existe un exceso de capacidad para un nivel de pedidos de 100 kilogramos por despacho (k/p/d) y que es necesario contratar más personas para tratar de cumplir con los pedidos de los clientes, considerando que después de la semana 15 la cadena entra en incumplimiento.

Finalmente, la política de inventarios relativa a la cobertura para previsión como inventario de seguridad puede ajustarse de 1 a 2 días, con el objeto de procurar reducir los pendientes de los clientes.

### *Ensayo 2. Pedido constante de clientes con ajuste en política de inventario*

---

Este ensayo mantiene los pedidos de clientes constantes en 100 k/p/d, pero se ajusta la cobertura de inventario de productos terminados en un día adicional con el objeto de reducir el nivel de pedidos pendientes.

Parámetros de decisión:

1. Longitud del intervalo de tiempo = 1 día.
2. Capacidad inicial fija en SMP (3000 unidades por día) con ajustes por variación de demanda.
3. Capacidad inicial fija en DPT (600 unidades por día) con ajustes por variación de demanda.
4. Fuerza laboral variable.
5. Demora en la entrega de leche = 1 d.
6. Factor para calcular promedio móvil = 5 d.
7. Factor de pedido = 100 kg/d.
8. Factor de cobertura inventario de productos terminados deseado = 2 d.
9. Estándar de almacenamiento de materia prima en CL = 3000 L/d.
10. Estándar de despacho de productos terminados en DPT = 600 kg/d.
11. Estándar de producción en la quesería = 7 kg/h/d.
12. Ratio de materiales en la quesería = 0.20 kg de queso por 1 kg de leche.
13. Tiempo de la simulación: 90 días.

Volúmenes en la cadena:

1. Nivel inicial de pedidos pendientes:  $0 \text{ m}^3$ .
2. Nivel inicial de inventario de productos terminados en DPT: 200 kg.
3. Nivel inicial de inventario de materia prima en CL: 1000 L.
4. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Almacenamiento de materia prima: 3000 L.
5. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Despacho de productos terminados: 600 kg.
6. Nivel inicial para ajuste de capacidad de fuerza laboral: 15 h.

Tasa de flujo:

1. Pedidos de clientes: 100 kg de queso constante.

Políticas operacionales:

1. Fuerza laboral variable: aumenta o disminuye en función de la demanda.
2. Capacidad variable en CL y DPT de acuerdo con la demanda, pero con demora de 90 días para el ajuste de capacidad.
3. Tener inventario de productos terminados con una cobertura de 1 día.
4. Pedido de materia prima constante según la demanda, pero ajustado por variación entre inventario de producto terminado deseado e inventario real.
5. Capacidad de almacenamiento de materia prima = 3000 L.
6. Capacidad de despacho = 600 kg.
7. Estándar de almacenamiento de materia prima = 3000 L/d.
8. Estándar de despacho de productos terminados = 600 kg/d.
9. Estándar de producción: 7 kg/h/d.

10. Ratio de materiales = 0.20 unidades de producto terminado por unidades de materia prima ajustado por variación de fuerza laboral.
11. Demora en el despacho de leche = 1 d

### *Resultados del Ensayo 2*

En las Figuras 56, 57 y 58 se muestran los resultados de 30 iteraciones; la variable externa que se mantiene sin cambios es la de pedidos de clientes a razón de 100 k/p/d, igual que en el ensayo número 1 y en este caso, los pedidos entregados se igualan a esta tasa rápidamente. Es decir, lo solicitado es entregado, por lo tanto, no se deben acumular pendientes con este ajuste de política. Desde luego, la tasa de producción se iguala a la tasa de pedidos de clientes, pero a los 10 días sube y así se mantiene hasta el final de la simulación (ver Figura 56). El pedido de materia prima se incrementa desde 223 litros hasta 250 con relación al primer ensayo; luego de oscilar así se mantiene desde el día 10 hasta el final de la simulación.

El nivel de inventario de materia prima (ver Figura 57) baja desde 1000, como valor inicial, hasta 250 y por encima del nivel del inventario de productos terminados a partir del día 8. El inventario de productos terminados deseado se ubica en 400 kilogramos por semana (k/p/s) debido al ajuste en la cobertura y el inventario de productos terminados se inicia con 200 kilogramos; luego, oscila y se mantiene en 160 a partir del día 10 y por encima de los pedidos pendientes (ver Figuras 56 y 57).

Figura 56.

### Tasas

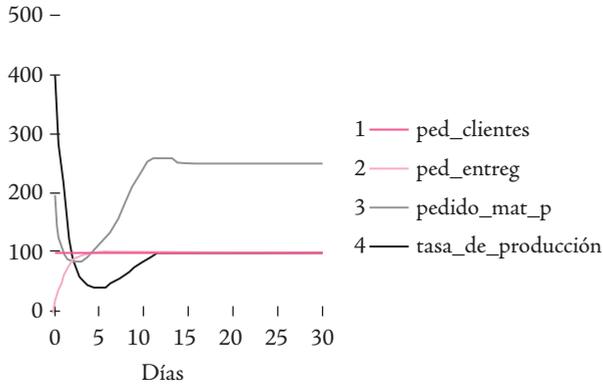
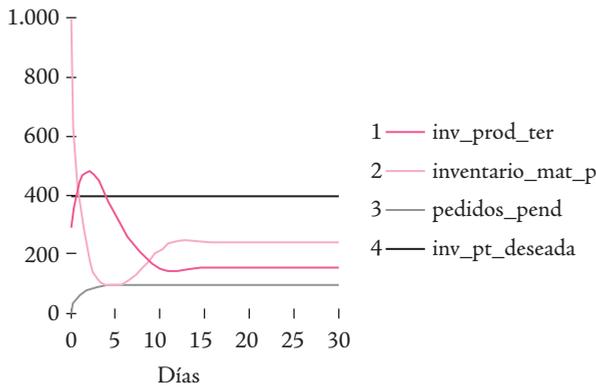


Figura 57.

### Niveles



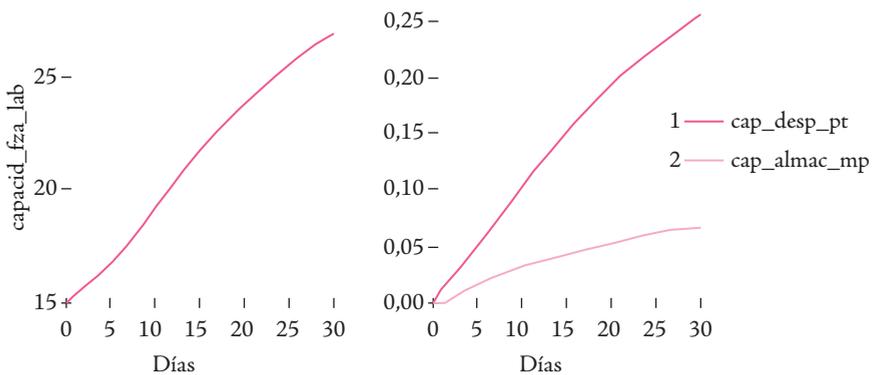
Elaboración propia de los Autores.

Los pedidos de clientes se entregan satisfactoriamente a una tasa de 100 por día y así se mantiene durante todo el período de simulación, con holgura suficiente porque conserva un inventario de 160 unidades contra 100 entregadas cada día.

El nivel de fuerza laboral que comienza con 15 personas sube a 27 hasta el final de la simulación, dado el ajuste de la cobertura (ver Figuras 57 y 58). Las capacidades de almacenamiento y despacho se mueven hacia el alza en cantidades moderadas.

Figura 58.

### Niveles de Capacidad



Elaboración propia de los Autores.

**Conclusión de este Ensayo:** las políticas para mantener el inventario deseado de productos terminados de 1 día a 2 genera como resultado reducir el nivel de pendientes y mantenerlo bajo control. En este ensayo se genera un inventario de producto terminado de 160 kg/p/d que es superior a las 89 unidades dadas en el experimento anterior y superior a la tasa de pedido de clientes que es de 100 kg/p/d; es decir, la cobertura de inventario de 2 días es suficiente para cumplir con los pedidos.

### Ensayo 3. Pedidos en crecimiento tipo escalón

En este ensayo los pedidos se incrementan en una función tipo escalón de un paso, desde 100 hasta 300 unidades por día en 15 días. Se mantiene un factor de pedido y el factor de cobertura de inventario de 2 días. Con

este ensayo se pretende observar el comportamiento de la cadena ante un incremento de la demanda del 200 % en 15 días.

Parámetros de decisión:

1. Longitud del intervalo de tiempo = 1 día.
2. Capacidad inicial fija en SMP (3000 unidades por día) con ajustes por variación de demanda.
3. Capacidad inicial fija en DPT (600 unidades por día) con ajustes por variación de demanda.
4. Fuerza laboral variable.
5. Demora entrega de leche = 1 d.
6. Factor para calcular promedio móvil = 5 d.
7. Factor de pedido = 100 kg/d y 300 kg/d crecimiento en escalón de un paso en 15 días.
8. Factor de cobertura inventario de productos terminado deseado = 2 d
9. Estándar de almacenamiento de materia prima en CL = 3000 L/d
10. Estándar de despacho de productos terminados en DPT = 600 kg/d
11. Estándar de producción en quesería = 7 kg/h/d
12. Ratio de materiales en quesería = 0.20 K de queso por 1 kg de leche.
13. Tiempo de la simulación: 90 días.

Volúmenes en la cadena:

1. Nivel inicial de pedidos pendientes: 0 m<sup>3</sup>.
2. Nivel inicial de inventario de productos terminados en DPT: 200 K.
3. Nivel inicial de inventario de materia prima en CL: 1000 L.

4. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Almacenamiento de materia prima: 3000 L.
5. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Despacho de productos terminados: 600 kg.
6. Nivel inicial para ajuste de capacidad de fuerza laboral: 15 h.

Tasa de flujo:

1. Pedidos de clientes: 100 kg de queso hasta el día 15, luego sube hasta 300 kg y así se mantiene hasta el final de la simulación.

Políticas operacionales:

1. Fuerza laboral variable: se incrementa o disminuye según la demanda.
2. Capacidad variable en CL y DPT de acuerdo con la demanda, pero con demora de 90 días para el ajuste de capacidad.
3. Tener inventario de productos terminados con una cobertura de 1 día.
4. Pedido de materia prima conforme a la demanda, pero ajustado por variación entre inventario de producto terminado deseado e inventario real.
5. Capacidad de almacenamiento de materia prima = 3000 L.
6. Capacidad de despacho = 600 kg.
7. Estándar de almacenamiento de materia prima = 3000 L/d.
8. Estándar de despacho de productos terminados = 600 kg/d.
9. Estándar de producción: 7 kg/h/d.
10. Ratio de materiales = 0.20 unidades de producto terminado por unidad de materia prima ajustado por variación de fuerza laboral.
11. Demora en el despacho de leche = 1 d.

### *Resultados del Ensayo 3*

En este ensayo la variable externa de pedidos de clientes cambia desde 100 hasta 300 unidades de pedido en el día 15 y se mantiene constante hasta el final de la simulación. Este cambio se realiza utilizando la función escalón de un paso. Se observa en la Figura 59 que los pedidos entregados se igualan a pedidos de clientes en 100 kilogramos de productos despachados de forma acelerada en el día 1 y luego en la semana 15 se igualan a 300 kg/p/d; es decir, en el día 15 después del cambio en el nivel de pedidos. La cadena responde bien al cambio de pedidos. La tasa de producción también se iguala a la tasa de pedidos de clientes en el día 10 y en el día 25, después de oscilar con intensidad por el cambio en esta. El pedido de materia prima se incrementa desde el día 2 y luego se vuelve a incrementar en el día 15 cuando siente el impacto del cambio en el nivel de pedidos (ver Figura 60).

El nivel de inventario de materia prima oscila en ascenso y se mantiene por encima del nivel de inventario de pedidos pendientes concluyendo en 750 L. El inventario de productos terminados deseado sube por efecto de la función escalón desde 200 unidades hasta 1200 kg/p/d y se mantiene por encima del inventario de pedidos pendientes, y el inventario de productos terminados oscila fuertemente. Se observa en la Figura 60 que con esta política se puede cumplir con los clientes de manera oportuna, incluso con el incremento brusco de la demanda.

Figura 59.

### Tasas

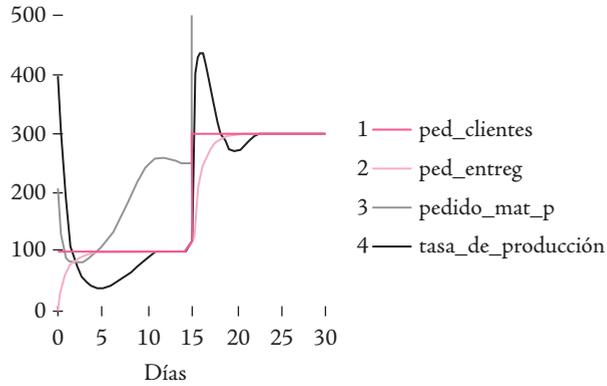
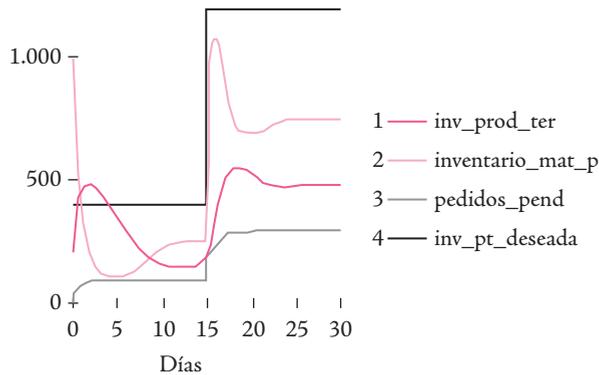


Figura 60.

### Niveles

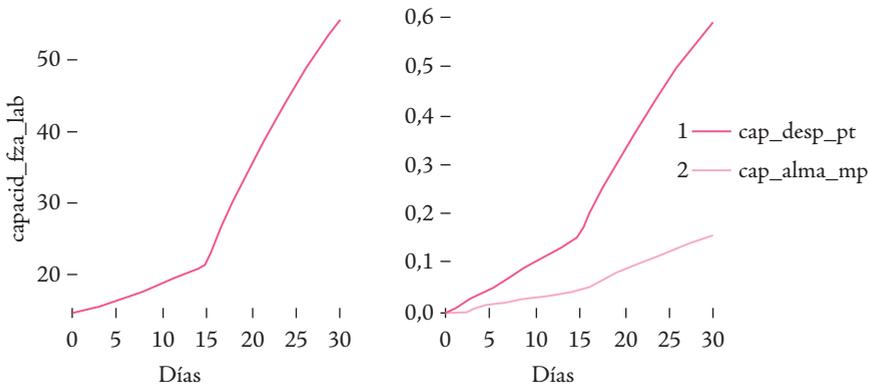


Elaboración propia de los autores.

Los pedidos de clientes se entregan satisfactoriamente a una tasa de 100 kg/p/d hasta el día 15 y luego a una tasa de 300 hasta el final de la corrida, este cambio es consecuencia del incremento en el nivel de pedidos. La capacidad de fuerza laboral que se muestra en la Figura 61 se inicia con 15 personas y sube hasta 55. Las capacidades de almacenamiento y de despacho se incrementan en sus niveles iniciales.

Figura 61.

## Niveles de Capacidad



Elaboración propia de los Autores.

**Conclusión de este Ensayo:** las políticas de capacidad variable, tanto en despacho como en materia prima, al igual que la fuerza laboral permiten cumplir con los pedidos de los clientes, siempre y cuando se mantenga la cobertura de inventarios de productos terminados en 2 días; en caso contrario, si la cobertura baja a 1 día, a partir del día 7 los pendientes comienzan a subir aceleradamente.

### *Ensayo 4. Pedidos en crecimiento tipo logística*

En este ensayo los pedidos se incrementarán con una forma de la función tipo logística desde 100 en el día 0 hasta 600 unidades por día en el día 15. Se ajusta el factor de pedido a la demanda diaria y el factor de cobertura de inventario de productos terminados deseado se mantiene en 2 días. Las capacidades en despacho y materia prima se reducen a 200 kilogramos y 1.000 kilogramos respectivamente. Con este ensayo se pretende observar el comportamiento de la cadena ante un incremento de la demanda del 500 % en 15 días.

Parámetros de decisión:

1. Longitud del intervalo de tiempo = 1 día.
2. Capacidad inicial fija en SMP (3000 unidades por día) con ajustes por variación de demanda.
3. Capacidad inicial fija en DPT (600 unidades por día) con ajustes por variación de demanda.
4. Fuerza laboral variable.
5. Demora en entrega de leche = 1 d.
6. Factor para calcular promedio móvil = 5 d.
7. Factor de pedido = 100 a 600 kg/d crecimiento tipo logístico en 15 días.
8. Factor de cobertura inventario de productos terminados deseado = 2 d.
9. Estándar de almacenamiento de materia prima en CL = 1000 L/d.
10. Estándar de despacho de productos terminados en DPT = 200 kg/d.
11. Estándar de producción en quesería = 7 u/h/d.
12. Ratio de materiales en quesería = 0.20 kg de queso por 1 kg de leche.
13. Tiempo de la simulación: 90 días.

Volúmenes en la cadena:

1. Nivel inicial de pedidos pendientes: 0 m<sup>3</sup>.
2. Nivel inicial de inventario de productos terminados en DPT: 200 kg.
3. Nivel inicial de inventario materia prima en CL: 1000 L.
4. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Almacenamiento de materia prima: 3000 L.
5. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Despacho de productos terminados: 600 kg.

6. Nivel inicial para ajuste de capacidad de fuerza laboral: 15 h.

Tasa de flujo:

1. Pedidos de clientes: función tipo logística desde 100 kg hasta 600 kg de queso y así se mantiene hasta el final de la simulación.

Políticas operacionales:

1. Fuerza laboral variable: aumenta o disminuye de acuerdo con la demanda
2. Capacidad inicial variable en CL y DPT según la demanda, pero con demora de 90 días para el ajuste de capacidad.
3. Tener inventario de productos terminados con una cobertura de 1 día.
4. Pedido de materia prima en función de la demanda, pero ajustado por variación entre inventario de producto terminado deseado e inventario real.
5. Capacidad de almacenamiento de materia prima = 3000 L.
6. Capacidad de despacho = 600 kg.
7. Estándar de almacenamiento de materia prima = 1000 L/d.
8. Estándar de despacho de productos terminados = 200 kg/d.
9. Estándar de producción: 7 kg/h/d.
10. Ratio de materiales = 0.20 unidades de pt por unidad de mp ajustado por variación de fuerza laboral.
11. Demora en el despacho de leche = 1 d.

### *Resultados del Ensayo 4*

La tasa de pedidos de clientes se incrementa desde 100 hasta 600 unidades de pedido por día en un lapso de 15 días siguiendo una trayectoria tipo logística que se mantiene constante hasta el final de la simulación (ver Figura 62). Con este nivel de pedidos incrementados se genera un

pendiente de 18 000 unidades al final del período simulado (ver Figura 63); es decir, que la cadena entra en incumplimiento desde el día 15 aproximadamente. La tasa de producción oscila y se iguala con la tasa de pedidos entregados a partir del día 30, y ambas tasas se mantienen por debajo de la línea de pedidos de clientes que permanece constante en 600 unidades. El pedido de materia prima se incrementa de manera acelerada y en menos de diez días sube hasta 1000 unidades de materia prima y concluye alrededor de las 500 unidades.

El nivel de materia prima se mantiene hasta el día 17 por encima del nivel de pedidos pendientes; luego por efecto de la función logística, este último comienza a subir aceleradamente hasta concluir en 18 000 unidades, mientras que el inventario de productos terminados concluye en alrededor de las 2.800 unidades (ver Figura 63). Se observa así que con esta política no se puede cumplir oportunamente con los clientes.

Figura 62.

### Tasas

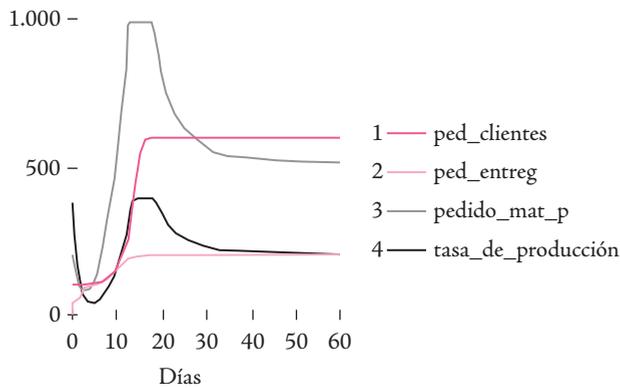
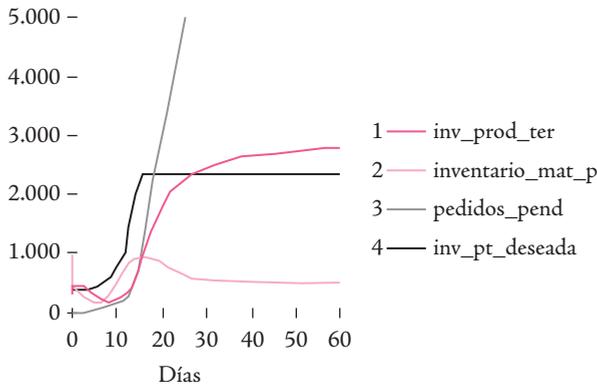


Figura 63.

### Niveles

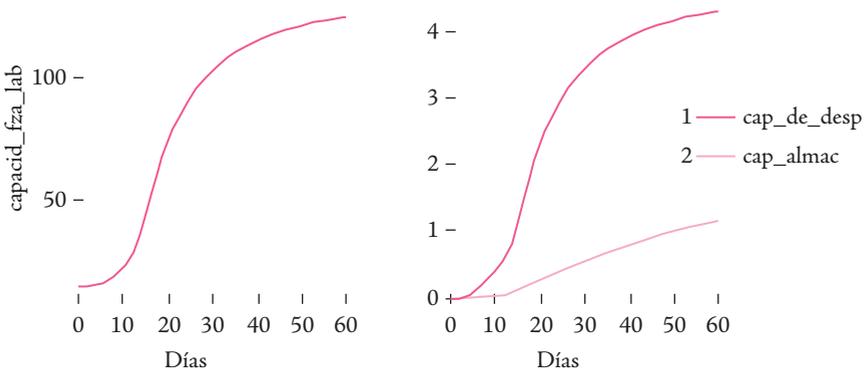


Elaboración propia de los autores.

Los pedidos de clientes no se entregan satisfactoriamente, lo cual conlleva la acumulación diaria de pendientes. La capacidad de fuerza laboral mostrada en la Figura 64, que inicia con 15 personas y concluye con 166 al final de la simulación, y la capacidad de almacenamiento y despacho se incrementan desde valores iniciales, lo que hace suponer -en principio- la necesidad de ajuste en estas variables.

Figura 64.

### Niveles de Capacidad



Elaboración propia de los Autores.

**Conclusión de este Ensayo:** las políticas de capacidad de despacho variable y la cobertura de dos días de productos terminados no parece suficiente para reducir los pendientes por debajo de la línea de inventario de productos terminados.

A lo largo del período de simulación de 60 días, el nivel de pedidos pendientes fue superior al inventario de productos terminados a partir del día 17 y con mayor intensidad hacia el final de la simulación; es decir, la cobertura de inventario de seguridad de 2 días en productos terminados y la demora en la variación de la capacidad de despacho no hace una cadena rápida en la entrega de pedidos. En cambio, un incremento en la capacidad de despacho y un ajuste del estándar de despacho permite que el nivel de pedidos se sitúe por debajo de la línea del inventario de productos terminados (ver Figura 65).

Figura 65.

### Tasas

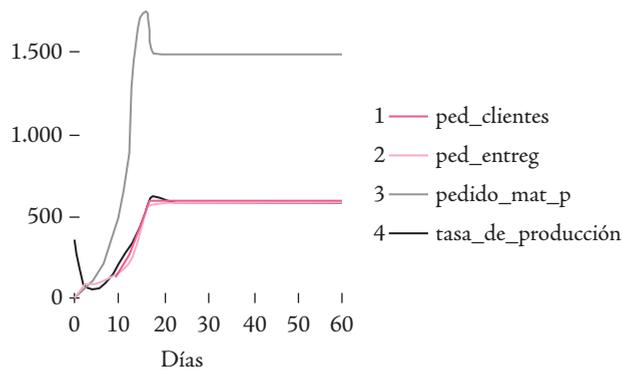
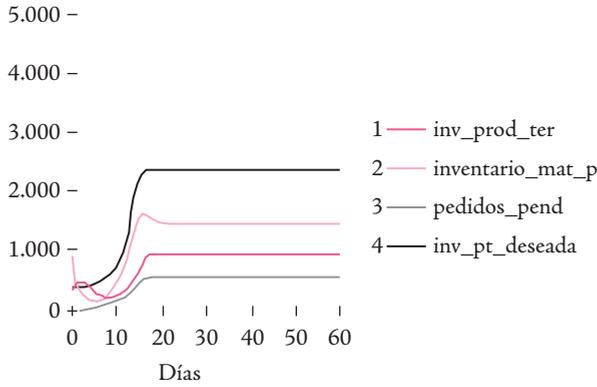


Figura 66.

### Niveles

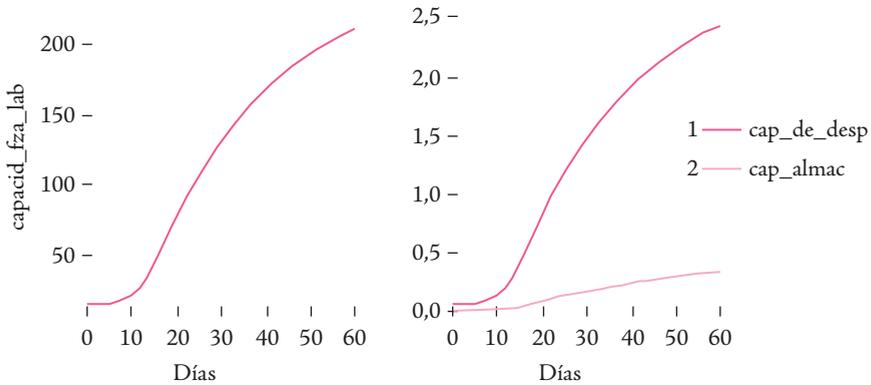


Elaboración propia de los Autores.

También se puede observar en la Figura 67 que la capacidad de despacho se incrementa, al igual que la capacidad de almacenamiento de materia prima, para poder cumplir con los pedidos.

Figura 67.

### Niveles de Capacidad



Elaboración propia de los Autores.

## *Ensayo 5. Pedidos en declinación acelerada*

---

En este ensayo de simulación se comprobarán los efectos en la cadena de una disminución acelerada de pedidos de los clientes desde 100 hasta 0 en 15 días. Se ajusta el factor de pedido a la demanda semanal y el factor de cobertura de inventario de productos terminados deseado se mantiene en 2 días.

Parámetros de decisión:

1. Longitud del intervalo de tiempo = 1 día.
2. Capacidad inicial fija en SMP (3000 unidades por día) con ajustes por variación de demanda.
3. Capacidad inicial fija en DPT (600 unidades por día) con ajustes por variación de demanda.
4. Fuerza laboral variable.
5. Demora en entrega de leche = 1 d.
6. Factor para calcular promedio móvil = 5 d.
7. Factor de pedido = 100 hasta 0 K/d, es decir, decrecimiento 0 en 15 días.
8. Factor de cobertura inventario de productos terminados. deseado = 2 d.
9. Estándar de almacenamiento de materia prima en CL = 3000 L/d.
10. Estándar de despacho de productos terminados en DPT = 600 kg/d.
11. Estándar de producción en quesería = 7 kg/h/d.
12. Ratio de materiales en quesería = 0.20 kg de queso por 1 kg de leche.
13. Tiempo de la simulación: 90 días

Volúmenes en la cadena:

1. Nivel inicial de pedidos pendientes: 0 m<sup>3</sup>.
2. Nivel inicial de inventario de productos terminados en DPT: 200 kg.
3. Nivel inicial de inventario de materia prima en CL: 1000 L.
4. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Almacenamiento de materia prima: 3000 L.
5. Nivel inicial para ajuste de Capacidad de Despacho de productos terminados: 600 kg.
6. Nivel inicial para ajuste de capacidad de fuerza laboral: 15 h.

Tasa de flujo:

1. Pedidos de clientes: en decrecimiento desde 100 kg hasta 0 kg de queso en 15 días y así se mantiene hasta el final de la simulación.

Políticas operacionales:

1. Fuerza laboral variable: se incrementa o disminuye en función de la demanda.
2. Capacidad variable en CL y DPT en función de la demanda, pero con demora de 90 días para el ajuste de capacidad.
3. Tener inventario de productos terminados con una cobertura de 1 día.
4. Pedido de materia prima en función de la demanda, pero ajustado por variación entre inventario de producto terminado deseado e inventario real.
5. Capacidad de almacenamiento de materia prima = 3000 L.
6. Capacidad de despacho = 600 kg
7. Estándar de almacenamiento de materia prima = 3000 L/d.
8. Estándar de despacho de productos terminados = 600 kg/d.
9. Estándar de producción: 7 kg/h/d.

10. Ratio de materiales = 0.20 unidades de pt por unidad de mp ajustado por variación de fuerza laboral.
11. Demora en el despacho de leche = 1 d.

### Resultados del Ensayo 5

En este ensayo la variable externa de pedidos de clientes cambia desde 100 hasta 0 unidades de pedido en el día 15 y así se mantiene constante hasta el final de la simulación. Se observa en la Figura 68 que los pedidos de clientes y los pedidos entregados tienen el mismo comportamiento, es decir, declinan desde 100 hasta 0 en el día 15. La tasa de producción comienza a subir por el efecto de la materia prima inicial y de los pedidos iniciales, pero luego disminuye hasta 0; el pedido de materia prima es el último en declinar (ver Figura 69).

El nivel de inventario de la materia prima baja desde su valor inicial de 600 unidades; el nivel de pedidos pendientes cae hasta 0 y el inventario de productos terminados deseado también disminuye.

Figura 68.

#### Tasas

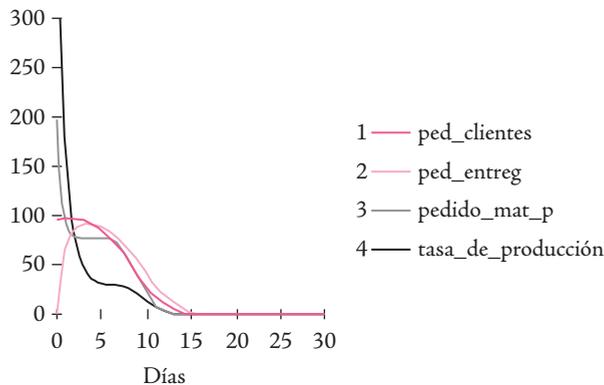
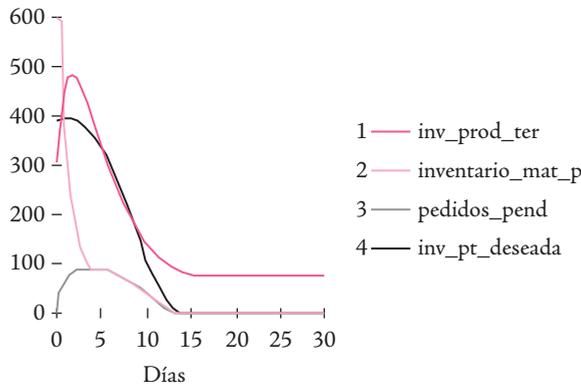


Figura 69.

## Niveles



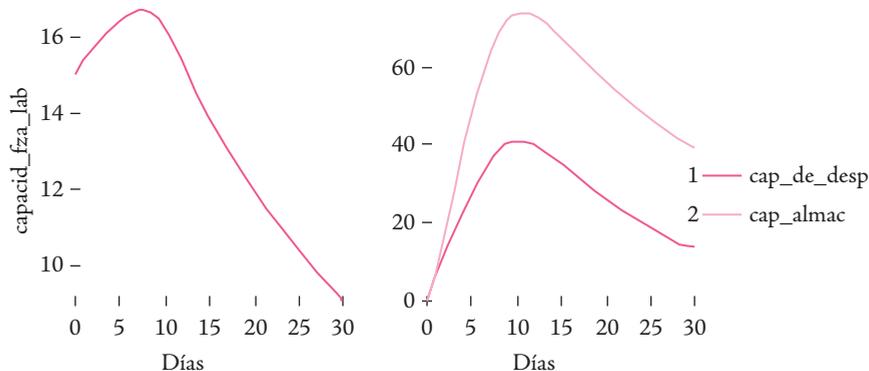
Elaboración propia de los Autores.

El nivel de inventario de productos terminados al principio sube porque no hay pedidos o están declinando, o por el nivel de materia prima acumulado, y luego se estabiliza en 100 unidades hasta el final de la simulación (ver Figura 69).

La capacidad de fuerza laboral que se muestra en la Figura 70 se inicia con 15 personas y disminuye a 0 hasta el final de la simulación. Las variaciones de capacidad de almacenamiento adicional para agregar a las capacidades fijas declinan, lo cual señala la no necesidad de hacer ajustes ni en capacidad de almacenamiento ni en despacho.

Figura 70.

### Niveles de Capacidad



Elaboración propia de los Autores.

**Conclusión de este Ensayo:** las políticas de capacidad fija para inventario de materia prima y de despacho son excesivas para este comportamiento de demanda.

A lo largo del período de simulación de 30 días siempre el nivel de productos terminados fue superior al de pedidos pendientes. Es decir, la cobertura del inventario de seguridad de 2 días para el inventario de productos terminados no se justifica en pedidos en declinación (pedidos que están próximos a vencerse).

## Sistema Pedido – Producción – Entrega

Las pequeñas y medianas empresas (pymes) se han convertido en uno de los motores principales para el crecimiento de la inversión, del empleo y para el desarrollo de la competitividad de un sector industrial, de una región o de un país. Esta realidad la confirman múltiples estudios y experiencias en distintos países (Linares, 1996). En el caso de América Latina, las pymes representan, en promedio, un 90% del conglomerado de las empresas, emplean alrededor del 70% de la mano de obra y con-

tribuyen con un porcentaje que fluctúa entre el 20% y el 30% del PIB; en Venezuela aportan un 13% del PIB y emplean, conjuntamente con las microempresas 1.300.000 personas aproximadamente, o sea el 55% de la población económicamente activa (Francés, 2001: 53).

Sin embargo, en Venezuela el cierre de pequeñas o medianas empresas ha sido notorio en los últimos años; de un total de 11.640 en año 1998, han sobrevivido 4.903, las cuales trabajan actualmente entre un 50 % y un 60 % en promedio de su capacidad instalada; si bien hay que admitir un crecimiento desde el año 2004 de un 30% en el uso de la capacidad de transformación, este crecimiento muestra síntomas de estancamiento.

Dicho estancamiento en el crecimiento o cierre de empresas tiene múltiples causas, entre ellas: bajo desarrollo gerencial y limitaciones en la formulación de planes de producción y estrategias competitivas; atomización, diversificación excesiva de la producción y escasa especialización; obsolescencia de equipos y gran dependencia de insumos, maquinarias y tecnología importada; falta de información relacionada con procesos técnicos y pocas relaciones con centros de investigación de universidades, y carencia de mecanismos financieros apropiados, ágiles, suficientes y oportunos (Jurisch y Centeno, 2002: 30).

Por ello, el objetivo del presente Estudio es modelar políticas operacionales tipo proceso, capacidad o inventario simulando escenarios expansivos o restrictivos del comportamiento de la demanda, que impacten a la organización, específicamente en el nivel de entrega de pedidos a los clientes (Schroeder et al., 2005: 254) lo que incide significativamente en la competitividad del Sector Metalmecánico.

Se propone aquí simular en una base al tiempo, políticas que sean consecuencia de estrategias operacionales en empresas del sector antes señalado, lo que facilita la planificación de la producción (Hopeman, 1993: 37) y sirve de entrenamiento a la gerencia de la pyme transformadora.

La información a partir de la cual se desarrolla esta Investigación fue reunida mediante unas entrevistas estructuradas a gerentes de empresas metalmeccánicas radicadas en la ciudad de Guayana, Venezuela, utilizadas como referencia para hacer el modelo de lineamientos de la Dinámica de Sistemas (Martín, 2003: 35).

Los resultados de dichas entrevistas, hechas a 10 representantes de las 26 empresas registradas como metalmeccánicas en la Asociación de Industriales Metalúrgicos y de Minería de Guayana (AIMM) permitieron realizar, en primer lugar, el Modelo esquemático del Proceso de un Taller Metalmeccánico denominado en este Estudio como *Pedido-Producción-Entrega* (PPE) y en segundo lugar y como paso previo al Modelo Informático, llevar a cabo el Modelo conceptual de relaciones causales.

De inmediato se presenta la descripción del Proceso PPE y del Modelo de Relaciones Causales; posteriormente, utilizando el Modelo Informático, se simulan o ensayan 4 posibles escenarios que van desde una pérdida acelerada de clientes hasta la modificación de la capacidad de recibo de materia prima y finalmente las conclusiones del caso objeto de estudio.

### *Modelo Esquemático del Proceso Pedido – Producción – Entrega*

---

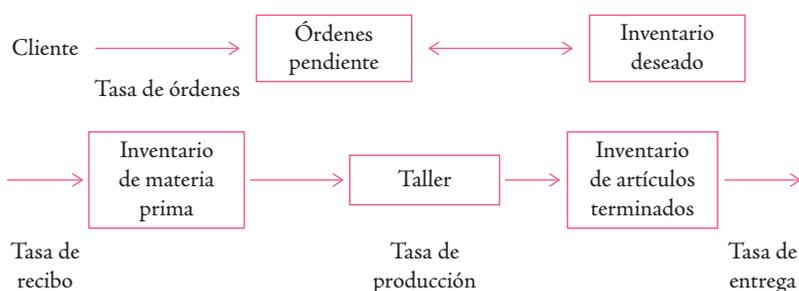
Antes de dar comienzo al diseño del Modelo Informático necesario para simular el proceso, es preciso especificar el Modelo del PPE que se muestra en la Figura 71 y pretende ser una representación del sistema real. En este caso se seleccionaron 10 talleres y a partir de entrevistas estructuradas a sus dueños o gerentes se establecieron las etapas y los tiempos necesarios en cada paso para suplir el pedido de los clientes.

Este esquema es muy común para talleres que trabajan por pedido o mantienen un nivel de inventario de productos terminados que les permite suplir a sus clientes. Desde luego, los sistemas de producción

de este tipo también hacen uso de otras funciones empresariales como mercadeo, personal, contabilidad o finanzas, aspectos que pueden ir agregándose hasta completar la totalidad de la empresa. Por ahora, se trabaja con Inventario de Materia Prima, Taller de Transformación y Embarque, observando cómo reaccionan estos niveles ante los cambios en las órdenes de los clientes y los cambios en la capacidad de almacenamiento de materia prima y embarque.

Figura 71.

### Modelo Esquemático del Proceso Pedido – Producción - Entrega



Tomado de *Administración de producción y operaciones: planeación, análisis y control* por Hopeman, 1993:57.

### Modelo de Relaciones Causales

En consecuencia, con el modelo esquemático del Proceso Pedido – Producción - Entrega que se observa en la Figura 71 se elabora un modelo de relaciones causales del proceso del taller. Se parte del principio de que muchas situaciones de procesos industriales o de otra índole pueden mejorarse con el desarrollo de un modelo que muestre las interacciones como relaciones causa-efecto (Senge y Roberts, 1995: 130).

En la Figura 72 se refleja la totalidad del modelo de relaciones causales del Proceso PPE, y considerando tanto el proceso reforzador como los sistemas compensadores, se establecen las relaciones causa-efecto más

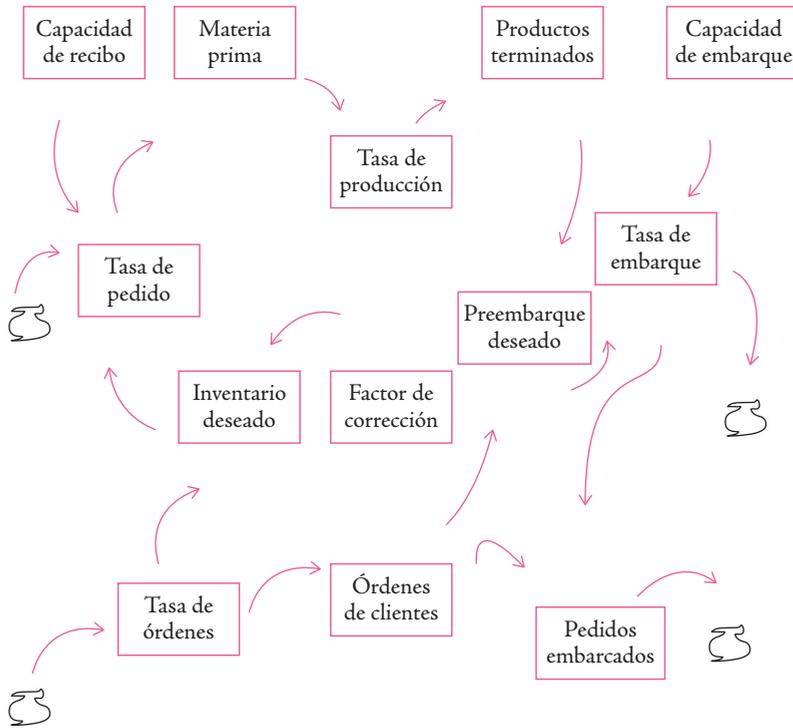
importantes y los cambios en el proceso de flujo. Este tipo de modelo consiste en relacionar promedios de flujo, niveles y estados; Por ejemplo, si el nivel de interés es la población, entonces este dependerá de la interacción con la tasa de nacimiento, la tasa de mortalidad y los estados de fertilidad y mortalidad. Para un nivel de población y una fertilidad dadas, una tasa de nacimiento particular tenderá a incrementar el nivel de la población, indicando un ciclo de retroalimentación positiva. Asimismo, para un nivel de población y una mortalidad dadas, la tasa de mortalidad particular tenderá a disminuir el nivel de población; por lo tanto, esto indica un ciclo de retroalimentación negativa.

En este caso particular, el nivel de inventario de la materia prima va a depender de la tasa de pedidos y de la tasa de producción. La tasa de pedidos hará aumentar el nivel de la materia prima y la tasa de producción o la velocidad con que la materia prima se transforme en productos terminados hará caer el nivel. De igual manera sucede con el nivel de productos terminados, que disminuirá por la tasa de embarque.

El nivel de órdenes de los clientes influye tanto en los niveles de materia prima como los de productos terminados, y crecerá, a su vez, por la tasa de las órdenes. La Figura 72 muestra las relaciones causales del Proceso Pedido-Producción-Entrega de un taller típico de metalmecánica.

Figura 72.

## Relaciones causales del Proceso Pedido – Producción - Entrega



Elaboración propia de los Autores.

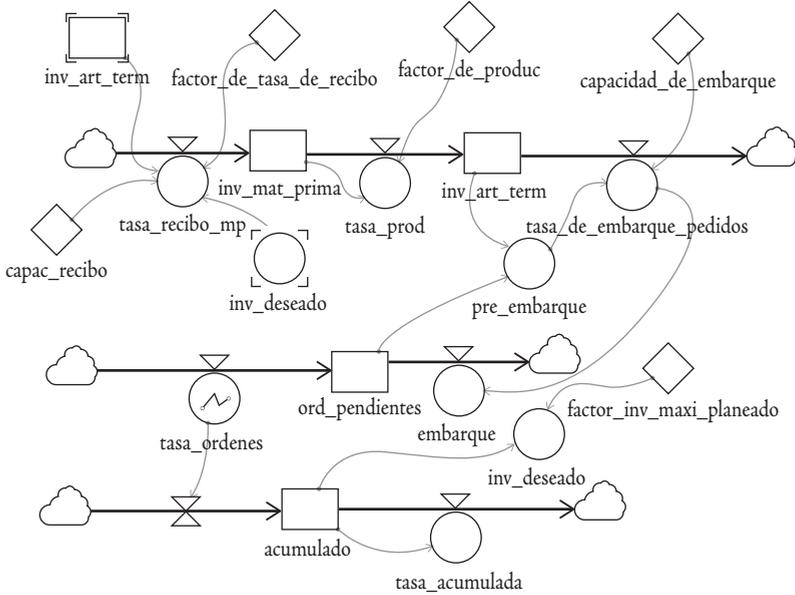
## Resultados del Modelo Informático

El modelo formulado a través de las relaciones causales involucradas en el proceso, o utilizando algún arquetipo sistémico, facilita la creación del modelo informático mostrado en la Figura 73. La definición de los elementos de un sistema es imprecisa y no se sabe con exactitud qué pautas de conductas producirán los sistemas. En el modelo informático de un sistema se puede ver lo que sucede cuando llevamos nuestras premisas a sus conclusiones lógicas. En este caso se hará una simulación de las políticas que en materia de capacidad o inventario puede aplicar la Gerencia,

dadas las variaciones en los pedidos (órdenes de clientes); estas simulaciones se denominarán ensayos y se mostrarán cuatro de ellas.

Figura 73.

### Modelo Informático del Proceso Pedido – Producción - Entrega



Elaboración propia de los Autores, Desarrollado en Powersim.

### *Ensayo en el cual se aceptan todos los pedidos recibidos*

El siguiente ensayo muestra los resultados de una política gerencial orientada a recibir todos los pedidos, independientemente de la capacidad necesaria para responder oportunamente. Las Figuras 74 y 75 ilustran el resultado de las interacciones del modelo a lo largo de 30 unidades de tiempo, que es la base utilizada en todos los ensayos. La única variable que cambia es la tasa de órdenes (ver Figura 4) que aumenta hasta 60 unidades de pedidos, de manera sostenida, hasta el período 25.

Figura 74.

### Variaciones de Tasas

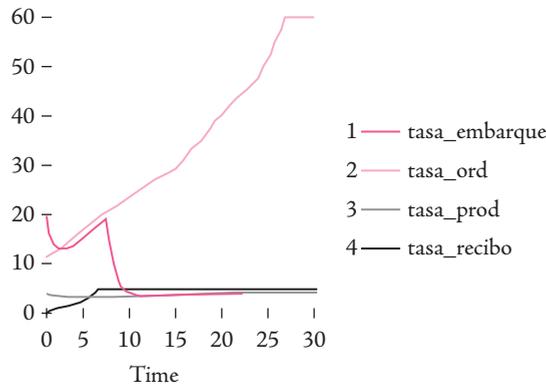
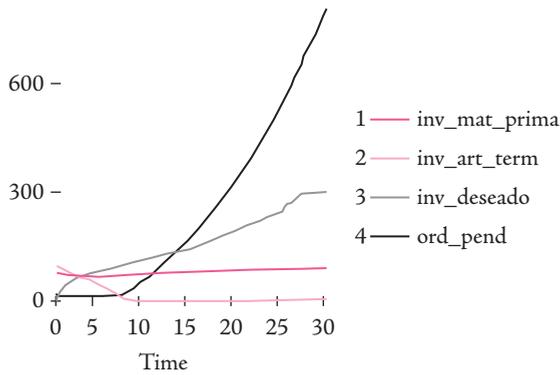


Figura 75.

### Variaciones de Niveles



Elaboración propia de los Autores.

La tasa de embarques declina luego de un pico de incremento en la semana 6 hasta igualarse a partir del período 10 con las tasas de recibo y producción. Se observa que aun cuando reciba más pedidos no aumenta la tasa de embarque, y, en consecuencia, la tasa de recibo de materia prima y de producción permanecen estables, porque no ha ocurrido cambio en la capacidad de recepción de materiales ni en la capacidad de producción.

Al analizar los niveles (ver Figura 75) crecen tanto el nivel de órdenes pendientes como el del inventario deseado, que reflejan el impacto del promedio ponderado a partir del período 5 donde comienzan a crecer. Se observa disminuir el inventario de artículos terminados hasta 0 en el período 10, lo que, dada la gran cantidad de pedidos recibidos, provoca un aumento en la cantidad de órdenes pendientes y, por lo tanto, un incremento del incumplimiento a los clientes.

La Gerencia de Producción que simula esta condición podría explorar los efectos de cambiar algunas políticas para aliviar ciertos problemas, tales como: incrementar la producción, aumentar el sobretiempo, o subcontratar los pedidos; también puede reforzar rápidamente las tasas de recibo de materia prima.

### *Ensayo con aumento de 20 a 30 unidades de pedidos*

Este ensayo de simulación es parecido al anterior, pero con la diferencia de aceptar pedidos de manera controlada. Se comprobarán los efectos del aumento de un paso en la tasa de órdenes de 20 a 30 unidades de pedido (ver figura 76). Este solo cambio generará numerosas oscilaciones en el sistema y aunque la variación ocurra solo en un período y la nueva tasa de órdenes permanezca constante después de ese paso, las órdenes pendientes crecerán. La tasa de embarque se atrasa unos dos períodos y luego se equilibra con la tasa de órdenes, pero en un nivel inferior junto con las tasas de recibo y de embarque.

Figura 76.

### Variaciones de Tasas

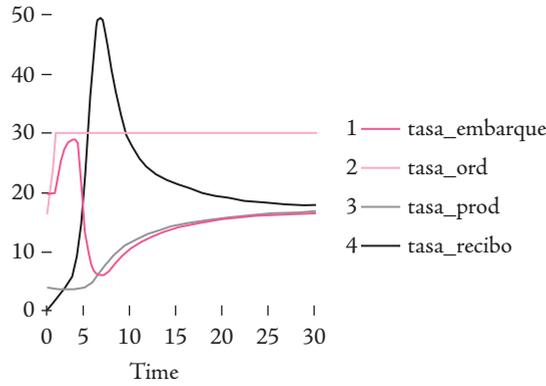
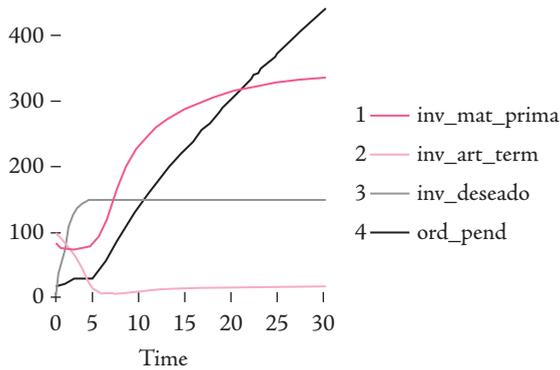


Figura 77.

### Variaciones de Niveles



Elaboración propia de los autores.

La tasa de recibo sube rápidamente a medida que, a lo largo de la simulación, el inventario deseado supera al inventario de artículos terminados. El mecanismo que causa tal aceleración es la relación entre el inventario deseado y el inventario de artículos terminados. Esta relación cambia durante el curso de la simulación a medida que el inventario deseado se estabiliza en cerca de 150 unidades de pedido y el inventario de

artículos terminados en aproximadamente 20 unidades de pedido (ver Figura 77).

Se observa que la tasa de recibo oscila y es una característica de la corrección exagerada y de la amortiguación mientras transcurre la simulación. La tasa de producción depende parcialmente del inventario de materias primas, en el cual el factor de productividad define la fracción de materia prima que se procesa en cada período. Durante las primeras etapas de la simulación con la demanda en 30 unidades de pedido (UP) la tasa de producción está limitada a menos de 20 UP a pesar de que el inventario de materia prima se reposiciona en una cantidad mucho mayor, a consecuencia de una tasa de recibo hasta 50 UP en el período nueve y después de descender se estabiliza alrededor de las 20 UP hasta el final de la simulación, al igual que la tasa de producción (ver Figura 78).

Con respecto a los cambios en los volúmenes de inventario (ver Figura 77) las órdenes pendientes crecen de manera importante, y en consecuencia, la gerencia debe tomar las acciones apropiadas para evitar incumplimientos innecesarios y el inventario deseado se mantiene constante después del período cinco. Las órdenes pendientes siguen una ruta ascendente antes de estabilizarse. Sin embargo, el volumen deseado de inventario es el promedio móvil ponderado de las órdenes anteriores. Puesto que cubre 10 períodos de tiempo, tiene una característica natural de desahogo caracterizada por el aumento de un paso en el cambio en la tasa de órdenes.

El inventario de materia prima y el de artículos terminados presentan características de oscilación. Esta oscilación inicial y posterior estabilización está relacionada con las tasas de recibo y producción respectivamente. Se recordará que el nivel de inventario de materia prima está en función de la tasa de recibo y producción, por lo tanto, está influido por estas trayectorias en el cambio de la tasa. En forma similar, el inventario de artículos terminados está en función de la tasa de producción y em-

barque. Aunque ambas tasas se equilibran después del período 15, el inventario de productos terminados baja en principio y luego se estabiliza.

### *Ensayo con incremento de capacidad de recepción de materia prima*

---

En este ensayo se trabajará con una política de capacidad que es el aumento de la capacidad de recepción de materia prima de 2 a 20 UP como parámetro tope de capacidad (ver Figura 78). La tasa de recibo rápidamente se posiciona en 5 UP por período, mientras las de producción y embarque tienden a igualarla casi al término de la simulación, luego de un acercamiento gradual. Este cambio no genera oscilaciones. La tasa de órdenes permanece igual en 20 UP, constante a lo largo de la simulación.

Figura 78.

---

#### Variaciones de Tasas

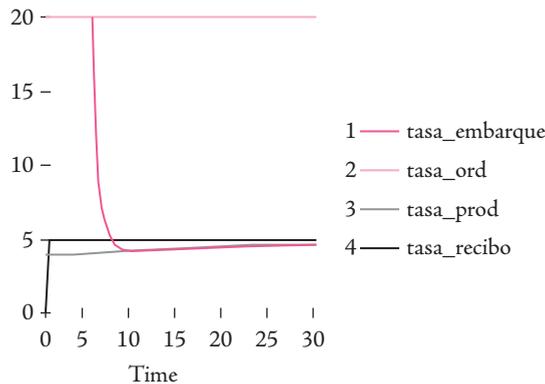
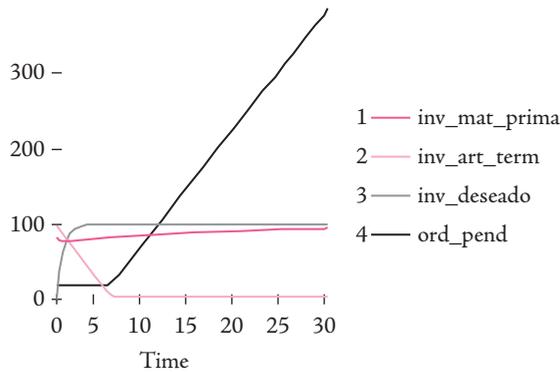


Figura 79.

### Variaciones de Niveles



Elaboración propia de los Autores.

Las órdenes pendientes crecen linealmente a partir del período 8, tal como en el ensayo anterior, lo que significa que el aumento en la capacidad de recepción, como política aislada, tampoco fue suficiente para reducir las probables demoras en las entregas de los pedidos, dado el bajo inventario de artículos terminados y a pesar de que el inventario de materia prima aumenta en la simulación.

Para minimizar los reclamos, la gerencia debe seguir ensayando otras políticas, tales como disminuir el tiempo de espera del cliente. En resumen, con este ensayo de continuar recibiendo órdenes de manera constante a razón de 20 UP por período si solo se mejora la capacidad de recepción de la materia prima, tampoco se reduce el nivel de órdenes pendientes, el cual crece linealmente a partir del período 7 (ver Figura 79).

### *Ensayo con pérdida de mercado acelerada*

La Figura 80 muestra el resultado de las interacciones del modelo a lo largo de 30 unidades de tiempo. La única variable que se cambia es la tasa de órdenes que declina desde 20 UP hasta 0 unidades en el período 11. Este ensayo puede ser el escenario de una pérdida constante y acelerada

de mercado en el tiempo, para productos metalmecánicos, y si no se hace ningún cambio en las otras variables ocurrirán los resultados mostrados en los distintos niveles (ver Figura 80).

Figura 80.

### Variaciones de Tasas

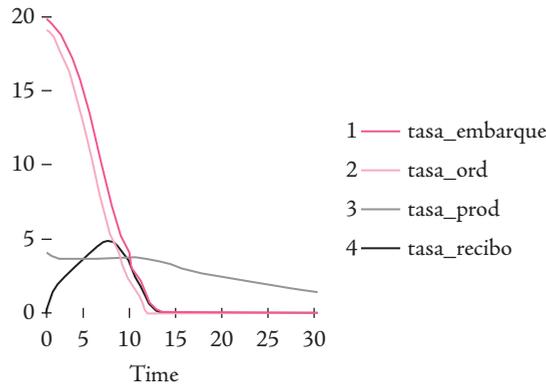
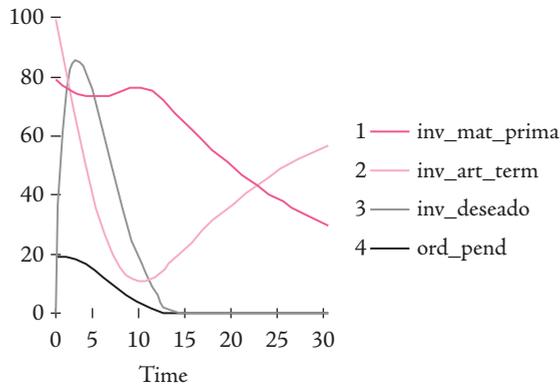


Figura 81.

### Variaciones de Niveles



Elaboración propia de los Autores.

El inventario deseado declinaría más lentamente que la demanda real debido al promedio móvil analizado durante 10 períodos. Cuando el

inventario deseado se compara con el inventario de artículos terminados se observa una tendencia hacia la baja a partir del período 13 e incide en un aumento en la tasa de recibo durante 8 períodos, seguido por una disminución de esta tasa durante el resto de la simulación. La razón de que esto ocurra es que durante los primeros períodos las órdenes fueron tomadas principalmente del inventario de artículos terminados y se da una situación en la que el inventario real resulta menor que el inventario deseado. Esto, a su vez, es provocado por la restricción en la tasa de producción, la cual representa la vigésima parte de la materia prima que entró en producción durante cualquier período dado; esto restringe el flujo durante los primeros períodos; en este caso el problema crítico es el elevado inventario residual de productos terminados que resulta en esas circunstancias (Hopeman, 1993: 58).

Una revisión de los cambios en los volúmenes muestra que el inventario deseado disminuye uniformemente, de acuerdo con las declinaciones reales de la demanda. La restricción de la productividad hace que al principio aumente el inventario de materias primas en el mismo orden en el que se reciben más unidades de las que se producen. Después del período 11 el inventario de materia prima comienza a descender a medida que las unidades producidas exceden a las unidades recibidas en cada iteración. El inventario de artículos terminados ha bajado durante 10 períodos, a medida que los embarques se hacen con las existencias. Después del período 10 el inventario de artículos terminados continúa acumulándose en el mismo orden en el que la demanda disminuye y la producción en el taller continúa.

La comparación de tasas indica lo que está sucediendo con el taller: la tasa de órdenes baja hasta cero en forma lineal mientras que la tasa de embarques desciende en forma similar con los embarques hechos de existencias del inventario de artículos terminados. Por otro lado, la tasa de recibos aumenta durante 9 períodos para compensar los retiros hechos del inventario de artículos terminados y luego disminuye a medida que el

exceso de existencias se hace evidente. Por último, la tasa de producción primero está restringida, luego sube ligeramente por varios períodos y posteriormente cae a medida que se va reduciendo el inventario de materia prima.

La gerencia que simula esta condición podría explorar los efectos de cambiar algunas variables para aliviar ciertos problemas, tales como el aumento del factor de productividad o la rápida restricción de las tasas de recibo; también podría comenzar a comprender un poco mejor los modelos de interacción implicados entre las tasas de flujo, los volúmenes y las capacidades en la producción. Tal modelo de simulación también permite probar, por anticipado, los efectos de las decisiones en un simulador gerencial.

### *Discusión de Resultados*

---

Cuando se aceptan todos los pedidos de los clientes, aunque superen la capacidad de entrega de la empresa, es de esperarse que el nivel de pedidos pendientes aumente considerablemente. La curva de órdenes pendientes (ver Figura 5) muestra un comportamiento exponencial creciente a partir de la semana 8; esto sucede porque se toman decisiones con base en las capacidades de materia prima, de producción y de despacho sin considerar el nivel de pedidos apropiado para dichas capacidades.

Si se propone un incremento escalonado de pedidos de 20 a 30 UP se observa que el inventario de artículos terminados disminuye hasta cero en el período 10, lo que dada la gran cantidad de pedidos recibidos provoca un aumento en la cantidad de órdenes pendientes y el consiguiente incremento del incumplimiento a los clientes.

Se demuestra con estos dos resultados que dicho modelo de empresa no responde apropiadamente a los pedidos de los clientes al aceptar todo lo solicitado e incluso cuando el crecimiento es controlado, sus respectivas capacidades en recepción de materia prima, producción y embarque no son suficientes.

Un comportamiento distinto en el nivel de pedidos pendientes se hace evidente cuando se mantiene el nivel de pedidos constante a lo largo de la simulación, es decir, 20 UP, el inventario de materia prima y artículos terminados presentan características de oscilación. Esta oscilación inicial y posterior estabilización está relacionada con las tasas de recibo y producción respectivamente. Se cree que por el hecho de recibir de manera constante pedidos se pueden controlar las variables de recepción de materiales, de producción y de despacho; sin embargo, no sucede así, por ser la tasa de 20 UP muy elevada. En cambio, con una tasa constante en 5 UP, las capacidades de recepción de materia prima, de producción y de despacho responden apropiadamente, es decir, no reflejan demoras en la entrega.

Muchos talleres, dada la incertidumbre del mercado, se acostumbraron a recibir todos los pedidos de los clientes obligados por procesos licitatorios que otorgan pedidos con base en el menor precio, independientemente de si tienen la capacidad o no para cumplir apropiadamente. Lo recomendable según el modelo PPE, para aliviar ciertos problemas de entrega, es mejorar la capacidad de producción con sobretiempos, subcontratando pedidos o haciendo alianzas de cooperación entre empresas y aumentar rápidamente la tasa de recibo de materia prima.

Al disminuir los pedidos de manera acelerada de 20 UP hasta 0 UP en 11 unidades de tiempo se demuestra que debe aumentarse rápidamente la productividad de la empresa y restringir la llegada de materia prima para no perder cuotas de mercado, y reducir costos por inventarios excesivos de productos terminados.

Cuando se utiliza el modelo simulado se hace más explícito cómo funcionan las relaciones entre las tasas de flujo, los niveles y las capacidades y ante una disminución drástica de la demanda, que aquí denominamos pedidos, en un lapso corto se observa cómo se incrementa la materia prima y los productos terminados debido a la carencia de despachos. Es obvio que este comportamiento suceda: no hay pedidos de clientes, por

lo tanto, aumenta la materia prima si se continúa comprando de la misma manera, y se incrementa el inventario de artículos terminados porque el taller sigue produciendo al ritmo que llega la materia prima. El crecimiento de artículos terminados presenta como comportamiento una curva exponencial decreciente que es compatible con el comportamiento del nivel de materia prima que a partir del día 15 comienza a decrecer.

## Sistema de Gestión de Proyectos (GEPI)

En este capítulo se presenta el Modelo Conceptual de la Gerencia Estratégica de Proyectos para Industrias (GEPI) orientado al Sector Industrial mediante el uso de la herramienta de los lazos causales y tomando en consideración las variables más influyentes del Portafolio de Proyectos de las Industrias (PPI).

Para la elaboración del Modelo Conceptual, las primeras acciones precisan establecer los factores e influencias representativas en la estructura sistémica prevaleciente. En este caso, se muestran los factores presentes en el crecimiento de los niveles de producción a partir de niveles de portafolios de proyectos, desde la perspectiva de base observacional bibliográfica y de investigaciones al respecto.

Desarrollar el Modelo Conceptual de relaciones causales facilita la elaboración del Modelo de Flujo GEPI, necesario para hacer los ensayos de portafolios de proyectos y explorar el comportamiento del nivel de producción por medio de la comparación con niveles de portafolios y proyectos diferentes.

La construcción del modelo causal se inició en el marco de los aportes propuestos por Checkland (1981) para identificar el propósito esencial de la actividad del sistema, apoyándose en la Definición-Raíz que se expuso en el Capítulo III. Es importante aclarar que para desarrollar el Modelo Conceptual se utilizó como herramienta el concepto de Definición-Raíz propuesto por Peter Checkland en la Metodología de Sistemas Suaves (MSS).

## *Modelo Conceptual GEPI de lazos causales - Gerencia Estratégica de proyectos para industrias*

---

Esta segunda fase implicó definir las relaciones causales entre los elementos que integran el sistema en un modelo causal que se denomina de ahora en adelante Modelo Conceptual de Interrelación Dinámica para pronósticos de resultados de planificación-inversión y ejecución de proyectos industriales, según el Modelo GEPI, teniendo en cuenta que este solo muestra los lazos causales y no recoge otras características, tales como información sobre el tiempo de simulación o sobre la naturaleza y la magnitud de las variables.

En la Figura 82 se puede ver el Modelo GEPI; se representaron las relaciones que implican algún bucle de retroalimentación y las de origen externo; asimismo, se muestran los seis bucles de retroalimentación que estructuran el modelo.

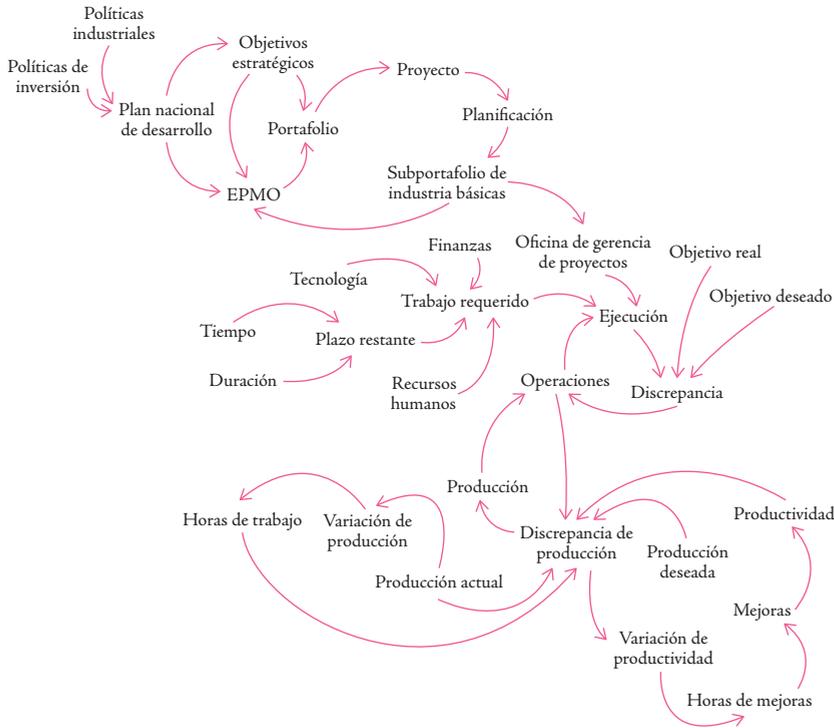
El Modelo Conceptual que se plantea en este libro está compuesto por seis bucles de retroalimentación que se describen a continuación:

- Bucle 1: refuerzo de estrategias del Plan Nacional de Desarrollo o Plan Estratégico Sectorial o Plan Estratégico Corporativo.
- Bucle 2: refuerzo del portafolio de proyectos.
- Bucle 3: reajuste del portafolio por autorización de proyectos en la Oficina de Gerencia de Proyectos (PMO).
- Bucle 4: reajuste del proyecto por ejecución, cierre o diferimiento.
- Bucle 5: reajuste por recuperación de producción.
- Bucle 6: refuerzo de la productividad por mejoras operativas.

Los Bucles 1, 2 y 6 son bucles de retroalimentación positiva, es decir, tienden a desestabilizar el comportamiento del sistema y a disparar la salida del mismo; en cambio, los Bucles 3, 4 y 5 son bucles de retroalimentación negativa que regulan y equilibran el sistema.

Figura 82.

## Modelo Conceptual de Gerencia Estratégica de Proyectos para Industrias (GEPI)



Tomado de la Tesis Doctoral *Modelo Basado en Ecuaciones de Interrelación Dinámica para Pronóstico de Resultados de Planificación-Inversión y Ejecución de Proyectos Industriales* por Carmelina Cadenas Anaya, Desarrollado en Vensim, 2019: 151.

Con la finalidad de analizar la gestión estratégica de proyectos, el modelo considera la interacción de los siguientes subsistemas: estratégico, proyectos y producción. Los subsistemas o constructos consideran dimensiones para el análisis y son agentes críticos en el objeto de estudio del presente Trabajo; el modelo ayuda al proceso de toma de decisiones para:

- Mostrar el alineamiento de la estrategia corporativa.

- ✦ Reflejar cómo las industrias deben asignar los recursos a los proyectos.
- ✦ Identificar cómo los proyectos que se autorizan en el portafolio agregan valor a la organización en términos de producción y productividad.

Con frecuencia, el proceso de toma de decisiones puede mejorarse con el desarrollo de un modelo que muestre las interacciones como relaciones causa-efecto. La Dinámica de Sistemas proporciona un lenguaje de modelado beneficioso, en el cual se enlazan esta clase de modelos que relacionan flujos y niveles; enseguida se describen los bucles y su influencia en cada una de las variables que se consideraron en el Modelo GEPI.

### *Bucles del Modelo*

---

Bucle 1: de retroalimentación positiva que relaciona causalmente tres variables externas: las Políticas Industriales, las Políticas de Inversión y el Plan Nacional de Desarrollo (PND) -en el caso del Sector público- o el Plan Estratégico Corporativo -en el caso del Sector privado-, con las dos variables internas del sistema: la Oficina Corporativa de Gerencia de Portafolio y los objetivos estratégicos.

Para mayor comprensión de las políticas se revisaron las definiciones planteadas por la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), que es el organismo especializado de las Naciones Unidas encargado de promover y acelerar la industrialización de los países en desarrollo en el plano mundial, regional, nacional y sectorial. Este organismo define las Políticas industriales como la consecución de un equilibrio entre las siguientes acciones claves:

1. Fijar condiciones estables a largo plazo para favorecer el funcionamiento eficaz de una economía de mercados, promoviendo y manteniendo un elevado nivel de competencia que fomente la competitividad empresarial.

2. Elegir los instrumentos adecuados para acelerar el ajuste estructural mediante el incremento de la capacidad de innovación, el impulso a la creación, el desarrollo de las pequeñas y medianas empresas, y la inversión en el recurso humano.
3. Actuar como moderador del cambio estructural, de cara a la organización, tomando iniciativas cuando la importancia económica, política y social lo requiera (Comisión Económica para América Latina - CEPAL, 2017: 35).

Ortega (2015: párrafo 14) en su artículo *Algunos conceptos de política industrial* presenta otra definición:

Las Políticas Industriales son el paquete de medidas que determina el Estado para fomentar el desarrollo de industrias o sectores industriales, con el objetivo claro de aportar al crecimiento de la economía, promover la generación de fuentes de empleo y contribuir con “la ampliación del mercado y sobre todo, con la acumulación de excedentes que posibiliten el aumento de la inversión productiva en un país.

- Las principales motivaciones que presiden la elaboración de acciones regionales son las siguientes:
- El elevado grado de concentración geográfica de la población.
- Los niveles migratorios condicionados por la concentración productiva.
- Las diferencias en los niveles de renta per cápita.

Por otro lado, las Políticas de Inversión las define Buján (2018: párrafo 5) como:

El mapa de ruta que guía el proceso de inversión de una cartera o portafolio. En estas el inversor especifica el tipo de riesgos que está dispuesto a asumir, los objetivos de la cartera y sus restricciones, así como las necesidades de liquidez y otras circunstancias específicas del inversor y de su portafolio.

Según Buján (2018: párrafo 12):

Lo primero que se debe hacer es una correcta planificación financie-

ra, después de haber definido las necesidades y el horizonte temporal con base en el binomio rentabilidad-riesgo de las opciones disponibles. Con base en esto se comprende cada uno de los portafolios, partiendo de la asignación estratégica de activos.

Estas dos variables, las Políticas Industriales y las Políticas de Inversión, constituyen el impulso externo para el Plan de Desarrollo de la Nación o para el Plan Estratégico Corporativo. Henry Mintzberg (1990: 38) en su libro *El Proceso estratégico: conceptos, contextos y casos* define la estrategia como el patrón o el plan que integra las principales metas y políticas de una organización y que a su vez establece la secuencia coherente de las acciones que se deben realizar.

La Planificación Estratégica se probó inicialmente en la industria privada y luego -en los años noventa del siglo pasado- se introdujo como una forma moderna de gestionar las instituciones públicas. Sobre esto comenta Armijo (2011: 11) en su Manual de Planificación Estratégica e Indicadores de Desempeño en el Sector Público del Instituto Latinoamericano y del Caribe de Planificación Económica y Social (ILPES):

El uso de la Planificación Estratégica en el ámbito público se concibe como una herramienta imprescindible para la identificación de prioridades y asignación de recursos en un contexto de cambios y altas exigencias por avanzar hacia una gestión comprometida con los resultados.

Armijo (2011: 15) también afirma que “teniendo esto en consideración, el proceso de elaboración de un Plan Estratégico en el ámbito público debe ser simple e incorporado en la rutina de la toma de decisiones directivas, así como en el proceso presupuestario” En el caso del Modelo GEPI se consideran importantes las variables de entrada externas para iniciar el modelo propuesto.

El Plan Estratégico Corporativo en el ámbito privado o el Plan Nacional de Desarrollo en el Sector público son instrumentos formales y legales por medio de los cuales se trazan los objetivos estratégicos, y

posteriormente, el nivel de cumplimiento de estos objetivos estratégicos permite la evaluación de su gestión. En la parte general se señalan los propósitos y objetivos de largo plazo, las metas y prioridades de la acción en el mediano plazo, y las estrategias y orientaciones generales de las políticas económica, social y ambiental que serán adoptadas por el gobierno corporativo o por el gobierno del país (según sea el caso). Por otro lado, el Plan de Inversiones contiene los presupuestos plurianuales de los principales programas y proyectos de inversión y la especificación de los recursos financieros requeridos para su ejecución y sus fuentes de financiación.

**Bucle 2:** corresponde al refuerzo del portafolio de proyectos. Es un bucle de polaridad positiva que implica las relaciones causales de los objetivos estratégicos y el portafolio de proyectos gestionado por la Oficina de Gestión de Portafolios de Proyectos Estratégicos (Enterprise Portfolio Management Office-EPMO por sus siglas en inglés).

Todos los proyectos que se generan en las estrategias conforman el portafolio, y un portafolio es una colección de elementos (proyectos, programas y otros trabajos, tales como mantenimiento y operaciones en curso) que se agrupan para facilitar la gestión efectiva de ese trabajo en busca de alcanzar los objetivos estratégicos (Project Management Institute-PMI, 2017). Estos portafolios son administrados por los equipos de planificación que en este caso particular se agruparán en un nuevo subportafolio para las industrias o para el sector productivo.

La Oficina de Gerencia de Proyectos (PMO) corporativa es un cuerpo o entidad dentro del Sector de industrias que tiene varias responsabilidades asignadas en relación con la dirección centralizada y coordinada de aquellos proyectos que se encuentran bajo su jurisdicción, y es la responsable de administrar todos los recursos humanos, físicos, tecnológicos y financieros necesarios en la realización del trabajo requerido para completar los proyectos durante su ciclo de vida o duración.

Estas relaciones causales se muestran en el bucle de reajuste por autorización de proyectos de la Oficina de Gerencia de Proyectos (PMO); es un bucle de polaridad negativa que, conjuntamente con los Bucles 1 y 2, estabilizan el sistema.

Estas relaciones causales están basadas, en primera instancia, en los conceptos presentados en el Capítulo III del presente Libro en el apartado correspondiente a portafolios, y posteriormente son verificados en las observaciones realizadas a los documentos de metodologías de otras empresas.

Bucle 3: corresponde al reajuste del portafolio por autorización de proyectos en la Oficina de Gerencia de Proyectos (PMO). En la base observacional de la Gerencia Estratégica de Proyectos este bucle de desaceleración del sistema viene dado por la forma de priorizar y seleccionar los proyectos a los cuales se les asigna presupuesto para ejecución.

Bucle 4: es el reajuste del proyecto por ejecución y corresponde a un bucle negativo con impulsos de variables externas. Este punto coincide con una restricción en el modelo debido a que las variables externas (recursos financieros, recursos humanos, recursos tecnológicos), así como el tiempo representado en el cronograma de los proyectos son finitos y compiten por la asignación a los proyectos autorizados en el portafolio.

Este punto es medular en proyectos. La triple restricción constituye uno de los principios fundamentales de la Gerencia de Proyectos que se ha especificado desde la primera edición de la Guía fundamental para Gerencia de Proyectos publicada por el Project Management Institute (2017: 48); en su sexta edición se expone así la triple restricción:

En todo proyecto existen muchas restricciones, pero hay tres que se consideran especialmente más importantes y son comunes para todos los proyectos; estas son: el costo, el tiempo y el alcance, y conforman lo que se denomina la triple restricción de un proyecto.

En el caso del Modelo GEPI la triple restricción se incorpora en el Bucle 4; allí el impulso viene restringido por los recursos que compiten con los multiproyectos del portafolio y desaceleran el crecimiento del sistema.

Bucle 5: se relaciona con el reajuste por recuperación de producción. Este bucle tiene polaridad negativa y encaja con una desaceleración del sistema debido al cumplimiento de metas de producción por proyectos ejecutados y que tienen un límite de crecimiento en el momento en que disminuye la discrepancia de las brechas entre el objetivo de producción propuesto y las metas reales alcanzadas.

Bucle 6: el reajuste de la productividad por mejoras representa un bucle de crecimiento del sistema; su polaridad es positiva y refleja el incremento de la productividad por mejoras operativas.

Los proyectos se consideran el «vehículo para lograr los objetivos estratégicos» y son parte de la estrategia. Cada proyecto del portafolio terminado y entregado a Operaciones debe contribuir con el logro de las metas operativas y con la disminución de las brechas entre lo planificado y lo logrado. Finalmente, el modelo mide la variación de la productividad, ya que cada proyecto culminado debe producir mejoras operativas que se representan en este último bucle de reajuste.

Seguidamente se desarrolla el Modelo de Forrester o de Flujo para ensayar distintos escenarios y para probar la hipótesis planteada: *el esfuerzo financiero tiene mayor impacto en el portafolio de proyectos de las industrias básicas que cualquier otro tipo de esfuerzos*. En ese sentido, la modelación permite verificar la hipótesis (variable de prueba o input) y brinda una base para diseñar laboratorios de aprendizaje que son útiles para equipos de trabajo en la Gerencia de Proyectos.

## *Modelo de flujo de la Gerencia estratégica de proyectos para industrias (GEPiF)*

---

Para el desarrollo del Modelo de Flujo GEPiF se utilizó el software de simulación dinámica Vensim (versión PLE x 32); como se explicó anteriormente, este programa permite simular de una forma sencilla la complejidad de los sistemas reales; para esto se requiere una serie de símbolos que permiten representar situaciones y comportamientos determinados, los cuales se describen a continuación:

- ✦ Niveles: es un acumulador que incorpora flujos de entrada y flujos de salida con un valor inicial en cada período de tiempo durante el proceso de la simulación.
- ✦ Tasas: representan las entradas y salidas de los niveles; pueden estar formadas por constantes, variables y ecuaciones.
- ✦ Auxiliares: son variables expresadas en cálculos a través de una ecuación o expresiones matemáticas. Sirven para generar el cálculo de valores que serán utilizados por otros componentes del modelo.
- ✦ Constantes: valores que no cambian a lo largo de la simulación.

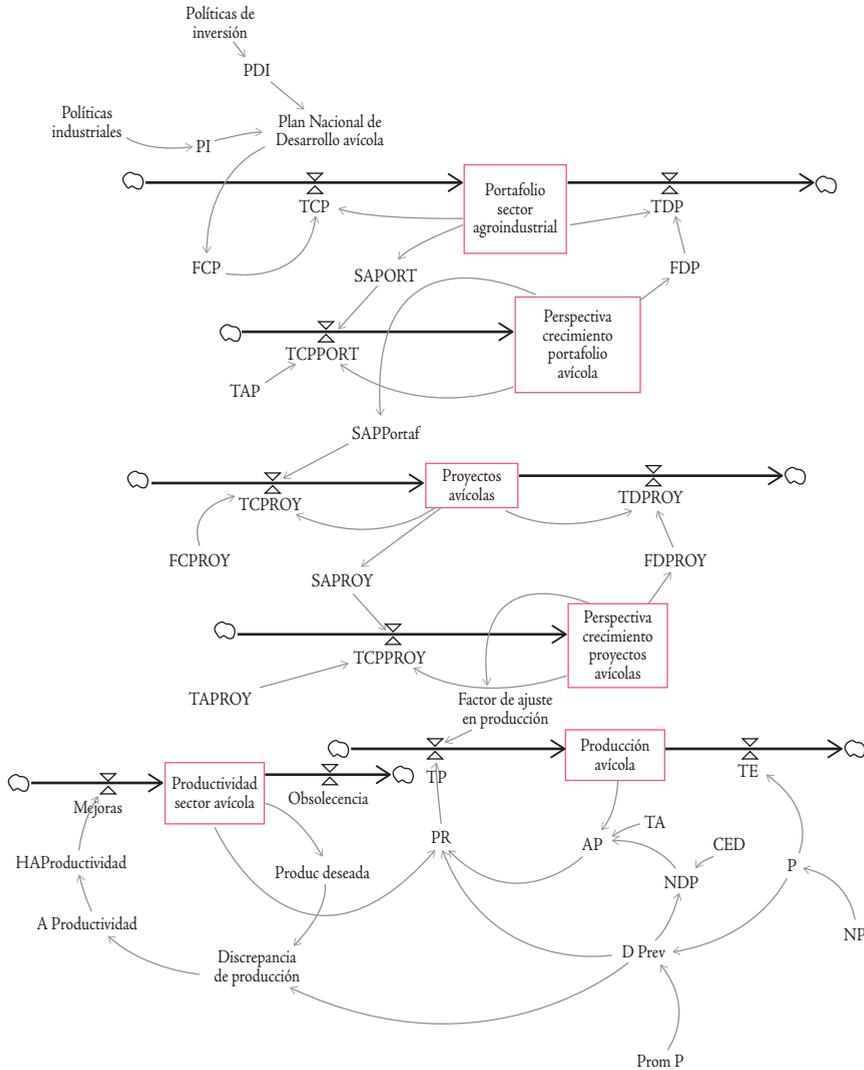
Para generar el Modelo de Flujo se representan las interrelaciones entre las diferentes unidades por medio del proceso operativo de funcionamiento generado en el Modelo Conceptual.

Se obtuvieron los valores de tasas, constantes y variables que introducidos en el Modelo de Flujo representan la conducta que sigue a la gestión de portafolios de proyectos en la industria básica, específicamente en el Sector de aluminio primario.

En la Figura 83 se muestra el Modelo GEPiF.

Figura 83.

## Modelo de Flujo de la Gerencia Estratégica de Proyectos (GEPiF)



Tomado de la Tesis Doctoral *Modelo Basado en Ecuaciones de Interrelación Dinámica para Pronóstico de Resultados de Planificación-Inversión y Ejecución de Proyectos Industriales* por Carmelina Cadenas Anaya, Desarrollado en Vensim, 2019: 218.

El Diagrama de Forrester GEPiF mostrado en la Figura 83 representa un sistema que responde a la Gestión Estratégica de Proyectos In-

dustriales que comienza con el ciclo de retroalimentación positivo. Un aumento en este ciclo despierta a un inmóvil ciclo de portafolio de proyectos negativo. El ciclo negativo no aparece espontáneamente, está presente en cualquier momento, pero su tamaño depende de la fuerza de las variables Políticas Industriales y Políticas de Inversión que se encuentran en el ciclo positivo.

Cuando el ciclo positivo incrementa todas las variables que aparecen involucradas en él, el ciclo negativo se ve también amplificado hasta que cambia la dominación y el ciclo negativo se hace dueño de la situación.

Al suponer un portafolio en un medio ambiente con recursos limitados, la variable crítica es el número de proyectos a los cuales se les puede asignar recursos para su realización. La cantidad de proyectos del portafolio aumenta debido a la tasa de crecimiento del portafolio; esta tasa de crecimiento refuerza el ciclo de retroalimentación positivo. Sin embargo, un ciclo de retroalimentación negativo está escondido. Al aumentar el número de proyectos y al ser fija la cantidad de recursos, la fuente de financiación que corresponde a cada proyecto desciende. Cuando el monto de los recursos no es suficiente, algunos proyectos empiezan a ser cerrados o diferidos en el portafolio. El ciclo negativo reduce la velocidad de crecimiento hasta que la cantidad de recursos es suficiente para soportar el número de proyectos del portafolio.

Los sistemas que siguen un comportamiento de crecimiento de poblaciones, como el de portafolio de proyectos, están caracterizados por contenciones o límites del crecimiento (este modelo de crecimiento de poblaciones se explica en el Anexo 3 de este Trabajo). En el caso de los proyectos, la limitación es la cantidad de recursos. Esta contención indica el número máximo de proyectos que el sistema puede soportar.

Varios niveles y flujos producen un comportamiento del tipo portafolio de proyectos. La Figura 50 representa una estructura del Modelo GEPIF que muestra de forma intuitiva ciclos de retroalimentación, la

limitación de un sistema de portafolios de proyectos en el Sector Industrias Básicas y su impacto en la variable producción.

Dos ciclos de retroalimentación regulan el flujo de salida del nivel. Un conector enlaza el valor actual del nivel al flujo de salida y origina un ciclo negativo. El segundo de los ciclos negativos pasa a través del factor de decrecimiento del portafolio, responsable de que cambie la dominación del ciclo. El nivel -inicialmente- crece solo si el factor de crecimiento del portafolio es más grande que su factor de decrecimiento. Cuando el factor de crecimiento del portafolio es más grande que el factor de decrecimiento, el flujo de entrada es mayor que el flujo de salida y el sistema crece exponencialmente.

El nivel, sin embargo, no puede crecer infinitamente. Cuando el nivel aumenta hace que la variable efecto del nivel se multiplique; esta variable determina el efecto del nivel en la variable tasa de decrecimiento del sistema. Cuando el efecto del nivel toma valores mayores a 1, la variable tasa de decrecimiento aumenta. Cuando el efecto del nivel aumenta hasta que las variables tasa de decrecimiento y tasa de crecimiento sean iguales, entonces el flujo de salida coincide con el flujo de entrada y cesa el crecimiento. El sistema se encuentra en equilibrio.

El volumen del flujo positivo no es constante. Por el contrario, el ciclo negativo va aumentando a medida que lo hace el nivel. El flujo de salida es el producto del nivel y la variable tasa de decrecimiento; aquí está la clave para entender cuál es el ciclo que domina: la tasa de decrecimiento aumenta cuando lo hace el nivel. Cuando este es pequeño, el ciclo de retroalimentación es negativo, pero cuando el nivel aumenta, el ciclo negativo se va haciendo cada vez mayor. Finalmente, la retroalimentación negativa conduce al sistema al equilibrio.

Esto ocurre con cada uno de los cuatro niveles que se representan en el modelo GEPIF (portafolio, proyecto, producción y productividad) lo que permite en cada ciclo de retroalimentación, al utilizar la lógica matemática de la Dinámica de Sistemas, ver el comportamiento del sistema

cuando se ajustan o se prueban niveles de portafolio y proyectos, y su incidencia en la producción y en la productividad, que analizamos aquí.

### *Ecuaciones del Modelo GEPIF*

---

En el caso del modelo GEPIF se deducen las ecuaciones siguiendo el modelo basado en ecuaciones, representado gráficamente en la Figura 83. Estas ecuaciones son las siguientes:

*Ecuaciones de nivel o de estado:* basadas en el modelo de símil hidrodinámico de Forrester.

$$\frac{d\text{portafolio}}{dt} = \text{Tasa de crecimiento del portafolio} \\ - \text{Tasa de decrecimiento del portafolio}$$

$$\frac{d\text{proyecto}}{dt} = \text{Tasa de decrecimiento del proyecto} \\ - \text{Tasa de decrecimiento del proyecto}$$

$$\frac{d\text{producción}}{dt} = \text{Tasa de Producción} - \text{Tasa de Entrega}$$

$$\frac{d\text{productividad}}{dt} = \text{Mejoras} - \text{Obsolescencia}$$

*Ecuaciones de flujo o de decisión:* basadas en el modelo de bucles de retroalimentación positivo y negativo de Forrester.

$$\text{Tasa de crecimiento del portafolio} \\ = \text{Factor de Crecimiento del Portafolio} * \text{Portafolio}$$

$$\text{Tasa de decrecimiento del portafolio} \\ = \text{Factor de Decrecimiento del Portafolio} * \text{Portafolio}$$

$$\begin{aligned} & \text{Tasa de decrecimiento de la Perspectiva del portafolio} \\ & = \frac{\text{Situación actual del Portafolio} - \text{Perspectiva del Portafolio}}{\text{Tasa de Ajuste del Portafolio}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Tasa de crecimiento del proyecto} \\ & = (\text{Factor de decrecimiento del proyecto} * \text{Proyecto}) \\ & + \text{Situación actual del portafolio} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Tasa de decrecimiento del proyecto} \\ & = \frac{\text{Proyecto}}{\text{Factor de decrecimiento del proyecto}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Tasa de crecimiento de la Perspectiva del proyecto} \\ & = \frac{\text{Situación actual del Proyecto} - \text{Perspectiva del Proyecto}}{\text{Tasa de Ajuste del Proyecto}} \end{aligned}$$

$$\text{Tasa de producción} = \text{Factor de Ajuste de la Producción} * \text{Producción}$$

$$\text{Tasa de entrega} = \text{Pedidos}$$

$$\text{Mejoras} = \text{HAProductividad}$$

Cada uno de los parámetros utilizados se ha considerado estrictamente mayor que cero. Las tasas de crecimiento y de decrecimiento de cada una de las variables de nivel se corresponden con los valores a los que se incrementan y disminuyen las variables de nivel o de estado.

### *Variables y parámetros del Modelo de Flujo GEPIF en lenguaje Vensim*

---

A continuación se describen las constantes, variables, flujos y niveles que tiene el Modelo GEPIF y se genera una breve descripción de la función que cumplen.

## *Variables de nivel*

---

Nombre: portafolio.

Significado: conjunto de proyectos que conforman el portafolio estratégico.

Unidad de medida: unidad.

Ecuación de nivel:  $\text{INTEG (Tasa de Crecimiento del Portafolio - Tasa de Decrecimiento del Portafolio)} / \text{INTEG (TCP-TDP)}$ .

Descripción: determina acumulaciones del número de portafolios y consecuencias de las Políticas de inversión.

Nombre: perspectiva del portafolio (Perspectiva port.).

Significado: se refiere a la manera como la Gerencia Estratégica observa el desarrollo del Portafolio en cuanto a su concreción.

Unidad de medida: unidad.

Descripción: determina la percepción de la ejecución del portafolio.

Nombre: proyectos.

Significado: proyectos del portafolio de las industrias.

Unidad de medida: proyectos.

Ecuación de Nivel:  $\text{INTEG (Tasa de Crecimiento del Proyecto - tasa de decrecimiento del proyecto)} / \text{INTEG (TCPROY-TDPROY)}$ .

Descripción: determina acumulaciones de proyectos seleccionados del portafolio.

Nombre: perspectiva del proyecto (Perspectiva proy.).

Significado: se refiere a la manera como la Gerencia Funcional de Proyectos y Estratégica observa el desarrollo del Proyecto.

Unidad de medida: unidad.

Ecuación de Nivel: tasa de crecimiento del proyecto.

Descripción: determina la perspectiva de los proyectos en ejecución.

Nombre: producción.

Significado: cantidades producidas en las industrias en un período de tiempo.

Unidad de medida: toneladas (t por tiempo).

Ecuación de Nivel: INTEG (tasa de Producción – tasa de entrega) IN-TEG (TP-TE).

Descripción: determina la cantidad producción en toneladas en un período de tiempo determinado.

Nombre: productividad.

Significado: valoración entre producto e insumo.

Unidad de medida: toneladas por hora hombre (T/h-h).

Ecuación de Nivel: INTEG (Mejoras – Obsolescencia).

Descripción: determina la cantidad de producción en toneladas producidas por hora/hombre realmente efectiva en un período de tiempo determinado.

### *Variables tasas o variables de flujo*

---

Nombre: tasa de crecimiento del portafolio-TCP.

Significado: es la tasa a la cual crecen los portafolios alineados con la Política de Inversión.

Unidad de medida: unidad.

Ecuación del flujo: factor de crecimiento del portafolio\*portafolio o (FCP\*Portafolio)

Descripción: determina la cantidad de componentes del portafolio que ingresan por unidades de tiempo.

Nombre: tasa de decrecimiento del Portafolio-TDP.

Significado: es la tasa a la cual decrecen los portafolios alineados con la Política de Inversión.

Unidad de medida: unidad por tiempo.

Ecuación del flujo: factor de decrecimiento del portafolio\*portafolio o (FDP\*Portafolio).

Descripción: determina la cantidad de componentes del portafolio ejecutados, cerrados o diferidos por unidades de tiempo.

Nombre: tasa de crecimiento de la perspectiva del portafolio-TCPPORT.

Significado: es la tasa a la cual crece la percepción de la Gerencia Estratégica sobre el desarrollo del portafolio.

Unidad de medida: unidad por tiempo.

Ecuación del flujo: [(Situación actual del portafolio – perspectiva del portafolio)/TAP)] o [(SAPORT-perspectiva Port) /TAP)].

Descripción: determina la tasa actual de la perspectiva del portafolio en ejecución.

Nombre: tasa de crecimiento del proyecto-TCPROY.

Significado: es la tasa a la cual crece la ejecución del proyecto.

Unidad de medida: unidad.

Ecuación del flujo: (Factor de crecimiento del proyecto\*proyecto) + situación actual del portafolio o (FCPROY\*Proyecto) + SAPPortaf.

Descripción: determina la tasa de crecimiento de la ejecución del proyecto.

Nombre: tasa de decrecimiento del proyecto-TDPROY.

Significado: es la tasa a la cual decrece la ejecución del proyecto.

Unidad de medida: unidad.

Ecuación del flujo: proyecto/factor de decrecimiento del proyecto o (Proyecto/FDPROY).

Descripción: determina la tasa de crecimiento de la ejecución del proyecto.

Nombre: tasa de crecimiento de la perspectiva del proyecto-TCPPROY.

Significado: es la tasa a la cual crece la percepción de la gerencia funcional, de Proyectos y Estratégica sobre el desarrollo del proyecto.

Unidad de medida: unidad por tiempo.

Ecuación del flujo:  $[(\text{Situación actual del proyecto} - \text{perspectiva del proyecto})/\text{TAPROY}]$  o  $[(\text{SAPROY-perspectiva del proyecto})/\text{TAPROY}]$ .

Descripción: determina la tasa actual de la Perspectiva del Proyecto en ejecución.

Nombre: tasa de producción-TP.

Significado: es la tasa a la cual crece la producción.

Unidad de medida: tonelada por unidad de tiempo (t/h).

Ecuación del flujo: factor de ajuste de la producción\*producción o (Factor de ajuste en producción\*PR).

Descripción: determina la tasa de producción por unidad de tiempo.

Nombre: tasa de entrega (TE).

Significado: tasa a la cual se entregan los productos.

Unidad de medida: tonelada por unidad de tiempo (t).

Ecuación del flujo: pedidos (P).

Descripción: determina la tasa a la cual se entregan productos según los pedidos de los clientes por unidad de tiempo.

Nombre: mejoras.

Significado: tasa a la cual crece hora-hombre de ajuste de producción.

Unidad de medida: horas-hombre.

Ecuación del flujo: horas de ajuste de producción o (HA Productividad).

Descripción: determina la tasa con la cual se incrementan las horas de ajuste de la producción.

Nombre: obsolescencia.

Significado: tasa a la cual decrece la productividad en la industria.

Unidad de medida: horas-hombre.

Ecuación del flujo: productividad.

Descripción: determina la tasa a la cual decrecen las horas-hombre de productividad.

### *Variables auxiliares*

---

Nombre: políticas de inversión (PDI).

Significado: políticas de inversión en determinado tiempo.

Unidad de medida: unidad.

Ecuación del flujo: STEP (variable de entrada del modelo).

Descripción: determina la cantidad de políticas de inversión.

Nombre: políticas industriales.

Significado: políticas en correspondencia con el desarrollo industrial durante determinado tiempo.

Unidad de medida: unidad.

Ecuación del flujo: STEP (variable de entrada del modelo).

Descripción: determina la cantidad de políticas industriales.

Nombre: Plan Nacional de Desarrollo.

Significado: Plan Nacional de Desarrollo.

Unidad de medida: constante.

Ecuación del flujo: Políticas Industriales + Políticas de Inversión (PDI+I).

Descripción: conjunto de criterios y directrices que regulan el monto, destino y ritmo del ejercicio de los recursos destinados para el portafolio de inversiones.

Nombre: factor de crecimiento del portafolio-FCP.

Significado: es el factor de crecimiento de portafolios en correspondencia con las Políticas.

Unidad de medida: 1/año

Descripción: es el valor de crecimiento del portafolio según las Políticas de Inversión del Sector industrial.

Nombre: situación actual del portafolio-SAPORT.

Significado: es la situación actual del portafolio de las industrias básicas.

Unidad de medida: 1/año.

Descripción: esta variable auxiliar describe la situación actual del portafolio.

Nombre: factor de decrecimiento del portafolio-FDP.

Significado: es el factor de decrecimiento del portafolio.

Unidad de medida: constante.

Descripción: esta constante describe el decrecimiento del portafolio.

Nombre: SAPPortaf.

Significado: situación actual de la perspectiva del portafolio.

Unidad de medida: constante.

Descripción: esta constante describe la situación actual de la perspectiva del portafolio.

Nombre: factor de decrecimiento del proyecto-FDPROY.

Significado: es el factor de decrecimiento del proyecto.

Unidad de medida: constante.

Descripción: esta variable auxiliar es el factor al cual decrece el proyecto según la perspectiva que se tenga del proyecto.

Nombre: situación actual del proyecto (SAPROY).

Significado: es la situación actual del proyecto que se está ejecutando.

Unidad de medida: constante.

Ecuación del flujo: proyecto.

Descripción: esta variable auxiliar es la situación actual del proyecto que está en ejecución.

Nombre: factor de ajuste de producción.

Significado: es el factor de ajuste de acuerdo con los proyectos ejecutados que incrementan la producción.

Unidad de medida: constante.

Descripción: esta variable auxiliar permite ajustar la producción de acuerdo con los proyectos finalizados que entran en operación e incrementan la producción.

Nombre: horas de ajuste de la productividad (HA Productividad).

Significado: son las horas/hombre de ajuste de la productividad.

Unidad de medida: constante.

Descripción: esta variable auxiliar permite ajustar las horas/hombre de productividad de acuerdo con los ajustes de la productividad.

Nombre: ajuste de la productividad (A Productividad).

Significado: son los ajustes de la productividad.

Unidad de medida: horas/hombre por tonelada producida (h/h/t).

Descripción: esta variable auxiliar permite ajustar la productividad a partir de la discrepancia de la producción.

Nombre: producción deseada.

Significado: diferencia de producción deseada.

Unidad de medida: toneladas (t).

Ecuación del flujo: productividad.

Descripción: esta variable auxiliar es la producción deseada a partir de la productividad.

Nombre: producción (PR).

Significado: producción.

Unidad de medida: toneladas (t).

Ecuación del flujo:  $(D \text{ Prev}-AP)*\text{Productividad}$ .

Descripción: esta variable auxiliar es la producción real.

Nombre: ajuste de producción (AP).

Significado: ajuste a la producción.

Unidad de medida: toneladas por mes (t/mes).

Ecuación del flujo: (número de pedidos – producción) o tiempo de ajuste  $[(NDP-\text{Producción})/TA]$ .

Descripción: esta variable auxiliar es el ajuste a la producción real.

Nombre: número de pedidos (NDP).

Significado: es el número de pedidos.

Unidad de medida: toneladas (t)

Ecuación del flujo:  $\text{Demanda Prevista}^* \text{cobertura de la existencia deseada}$   
 $(D \text{ Prev}^*CED)$

Descripción: esta variable auxiliar es el número de pedidos solicitados.

Nombre: Demanda Prevista (D Prev).

Significado: Demanda Prevista

Unidad de medida: toneladas (t).

Ecuación del flujo:  $\text{SMOOTH}(P, \text{Prom } P)$ .

Descripción: esta variable auxiliar que define los pedidos previstos.

Nombre: pedidos (P).

Significado: es la cantidad de pedidos.

Unidad de medida: toneladas (t).

Ecuación del flujo:  $\text{producción} + NP$ .

Descripción: esta variable auxiliar es la cantidad de pedidos.

Nombre: número de pedidos (NP).

Significado: es el número de pedidos.

Unidad de medida: unidad.

Ecuación del flujo: STEP (variable de entrada del modelo).

Descripción: esta variable auxiliar es el número de pedidos.

### *Constantes*

---

Nombre: (TAP) tiempo de ajuste del portafolio.

Significado: tiempo de ajuste del portafolio.

Unidad de medida: mes.

Ecuación del flujo: 3 meses.

Descripción: es el tiempo que tarda en ajustarse el portafolio de proyectos.

Nombre: (TAPROY).

Significado: tiempo de ajuste del proyecto.

Unidad de medida: constante.

Ecuación del flujo: 3 meses.

Descripción: es el tiempo que tarda en ajustarse el proyecto.

Nombre: factor de crecimiento del proyecto-FCPROY.

Significado: es el factor de crecimiento del proyecto.

Unidad de medida: constante.

Ecuación del flujo: 0.10 para simulación 1.

Descripción: esta constante es el factor según el cual crece el proyecto en el tiempo

Nombre: promedio de pedidos (Prom P).

Significado: es el promedio de pedidos.

Unidad de medida: unidad

Ecuación del flujo: constante (2).

Descripción: esta constante son los pedidos promedio.

Nombre: CED.

Significado: cobertura de la existencia deseada.

Unidad de medida: mes.

Ecuación del flujo: constante (8).

Descripción: esta constante es la existencia que se desea tener dada la nueva demanda.

Nombre: tiempo de ajuste (TA).

Significado: es el tiempo de ajuste para la producción.

Unidad de medida: mes.

Ecuación del flujo: constante (1).

Descripción: esta constante es el tiempo de ajuste para la producción.

### *Asignar valores a los parámetros del Modelo*

---

En el caso del modelado en Dinámica de Sistemas la precisión no suele aportar grandes ventajas, ya que aunque se conozca el pasado, es de mayor utilidad conocer si este valor se va a mantener en el futuro o no.

En los Anexos 1 y 2 se presenta el resumen del documento Vensim; allí se informan las ecuaciones de nivel, las ecuaciones de flujo, las ecuaciones de variables auxiliares y constantes, y los códigos y algoritmos en lenguaje Vensim para las dos pruebas realizadas. Los valores asignados en cada simulación obedecen a escenarios de pruebas en los cuales el experto construye laboratorios de aprendizaje dentro de un medio virtual.

## *Análisis de resultados*

---

Una vez validada la arquitectura del modelo se procede a incrementar la confianza en el mismo; se comprueba su robustez y su elasticidad mediante el análisis del comportamiento de una serie de escenarios alternativos y representativos del sistema real.

## *Análisis de escenarios*

---

Para continuar con la validación del modelo se ensayan portafolios de proyectos en el sector avícola colombiano de Cundinamarca cambiando los parámetros de entrada y adaptándolos a este nuevo sector y entorno.

## *Ensayo 1*

---

En la Figura 84 se presenta el Ensayo 1 con el sector avícola colombiano y se toman los siguientes valores iniciales:

Parámetros de decisión:

Nivel portafolio agroindustrial: 5 portafolios.

Nivel proyectos avícolas: 26 proyectos.

Nivel Producción avícola: 1 800 000 toneladas.

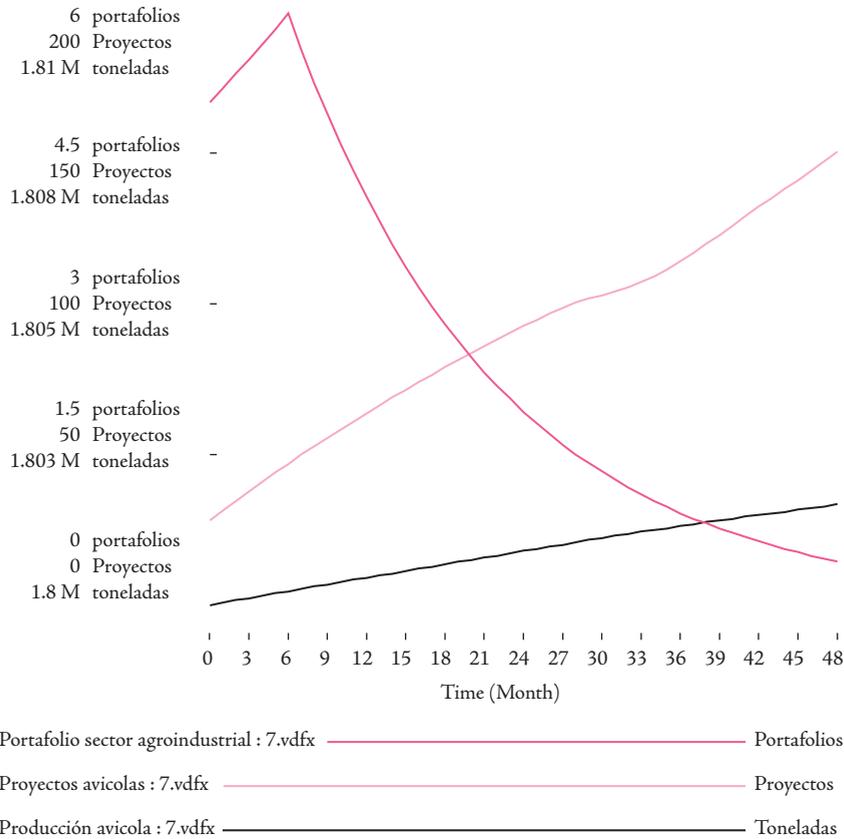
Tiempo de Ajuste Portafolio agroindustrial: 4 años.

Tiempo de Ajuste Proyectos avícolas: 1 año.

En los meses iniciales de la simulación se observa un incremento en los niveles del portafolio agroindustrial, de los proyectos avícolas y de la producción avícola, lo que muestra consistencia con las políticas del Estado colombiano de incrementar carteras de proyectos para impulsar la producción. Sin embargo, a partir del octavo mes y hasta el término de la simulación, la generación de portafolios para la planificación, inversión y ejecución de proyectos industriales disminuye gradualmente y tiene un

Figura 84.

## Ensayo 1. Sector avícola



Tomado de la Tesis Doctoral *Modelo Basado en Ecuaciones de Interrelación Dinámica para Pronóstico de Resultados de Planificación-Inversión y Ejecución de Proyectos Industriales* por Carmelina Cadenas Anaya, 2019: 219.

impacto en el crecimiento de los proyectos en marcha y en el ascenso moderado de la producción.

## Ensayo 2

En la Figura 85 se expone el Ensayo 2 en el sector avícola colombiano y se toman los siguientes valores iniciales:

Parámetros de decisión:

Nivel portafolio agroindustrial: 5 portafolios.

Nivel proyectos avícolas: 26 proyectos.

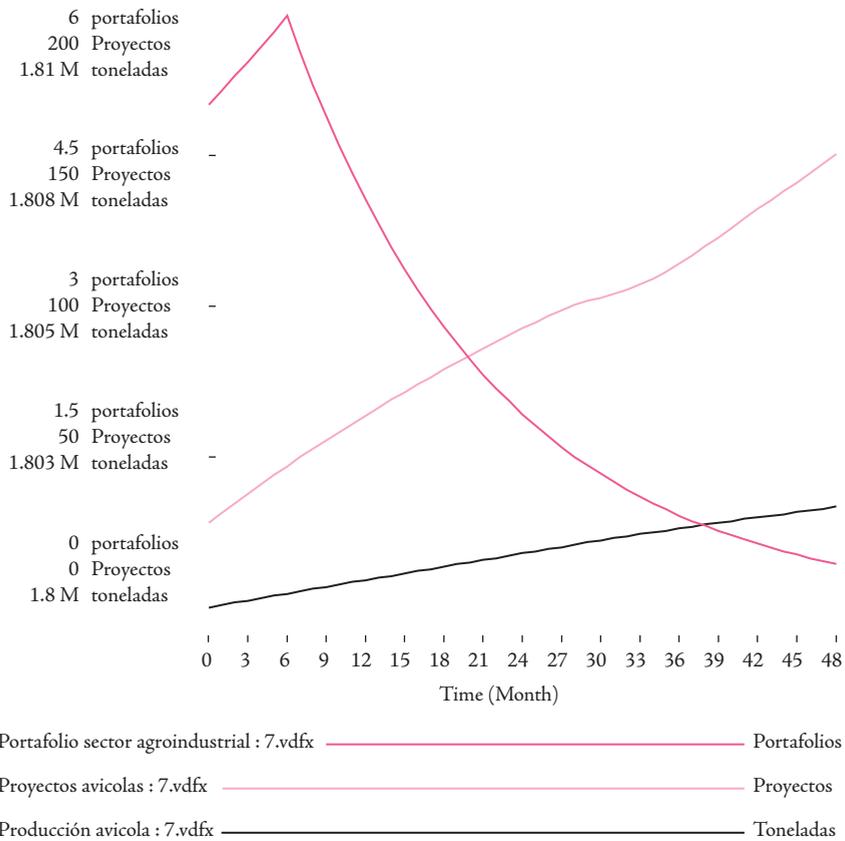
Nivel Producción avícola: 1 800 000 toneladas.

Tiempo de Ajuste Portafolio agroindustrial: 4 años.

Tiempo de ajuste Proyectos avícolas: 1 año.

Figura 85.

## Ensayo 2. Sector avícola



Tomado de la Tesis Doctoral *Modelo Basado en Ecuaciones de Interrelación Dinámica para Pronóstico de Resultados de Planificación-Inversión y Ejecución de Proyectos Industriales* por Carmelina Cadenas Anaya, 2019: 219.

En este ensayo se acortan los tiempos de ajuste, tanto en portafolio agroindustrial como en proyectos avícolas, y se observa una caída más brusca en las variables de nivel del portafolio agroindustrial, pero se mantiene el crecimiento de proyectos avícolas ya en marcha y la producción. Esto demuestra una dinámica de generación de políticas públicas en el sector, que de inmediato tienen un impacto significativo, pero luego su efecto es suavizado por los proyectos ya en marcha.

### *Discusión de resultados*

---

Se puede interpretar, de los dos escenarios, que las áreas estratégicas y operacionales del sector avícola colombiano sincronizan las estrategias considerando las capacidades de producción en equipamiento y fuerza laboral, mejoran el flujo del sistema en todos sus ámbitos e impulsan, desde las políticas industriales y de inversión, la creación de proyectos en números mayores al 10%.

Esta situación permite concluir que se confirma de nuevo -parcialmente- la hipótesis dinámica, es decir, que el esfuerzo financiero en los portafolios de proyectos no es el único factor de importancia que se tiene que considerar en la estrategia para impulsar el crecimiento sostenido de la producción en las empresas avícolas colombianas.

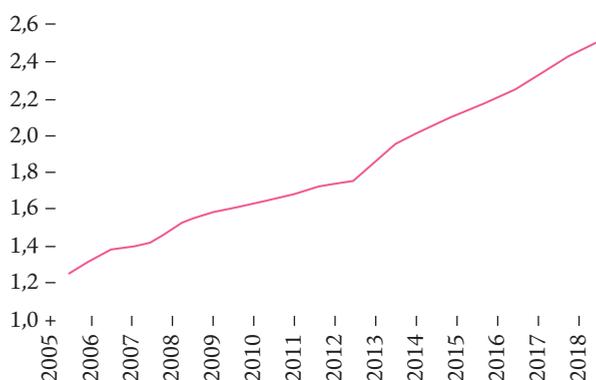
Los diversos esfuerzos tales como: esfuerzo en tiempo que se va a invertir, esfuerzo en el riesgo que se va a asumir, esfuerzo en recursos humanos (RRHH) que se va a destinar, esfuerzo en plataforma tecnológica que se va a usar, y esfuerzo en infraestructura que se va a utilizar, traducidos en el Diagrama de Forrester en las ecuaciones de flujo, son fundamentales y tienen incidencia en el crecimiento de este importante sector industrial. Dichos esfuerzos se ven reflejados en las tasas de entrega entre las áreas de Proyectos y Producción que, en el caso colombiano, mejoran considerablemente al estar en un promedio de seis meses, tanto en el Área de Portafolios como en el Área de Proyectos.

Esto demuestra la sensibilidad del modelo para incrementar la producción cuando las tasas de entrega de Proyectos a Producción son, en promedio, menores a un año. La evidencia permite concluir que todos los esfuerzos son variables esenciales que se deben considerar en el proceso de toma de decisiones en la Gerencia Estratégica de Portafolio de Proyectos.

Esta prueba puede validarse con la información que proporciona el sistema real. En la Figura 86 se muestran los resultados que se obtuvieron entre los años 2014 y 2018 en el Sector avícola.

Figura 86.

### Producción Avícola 2005 - 2018



Tomado del Documento *Pulso Avícola* por FENAVI 2018: 24.

La Federación Colombiana de Avicultores de Colombia-FENAVI (2018: 1) en su Boletín *Fenaviquin* afirma que:

El ritmo de crecimiento del sector avícola no tiene paralelo con otra actividad de la producción agropecuaria; durante catorce años ha logrado una tasa de crecimiento equivalente al año de 5.0%, de lejos por encima del crecimiento de la economía y, desde luego, del crecimiento vegetativo de la demanda que ha sido inferior al 1 %.

La Federación Colombiana de Avicultores de Colombia-FENAVI (2018: 1) también considera que:

Para 2019 en más de una década el sector avícola no ha tenido un crecimiento negativo, aunque en el renglón del huevo se registró una variación en esta dirección en los años 2007 y 2012, no obstante, se proyecta una tasa de -0.6 %.

## Anexo 1

### Ejercicio para la Metodología de los Sistemas Suaves (SSM)

**Objetivo:** Este ejercicio se diseña para tener una buena comprensión de la SSM y cómo utilizarla en la práctica.

Es necesario recordar aquí que no hay respuesta ‘correcta’ o ‘incorrecta’ para este ejercicio; lo que se requiere es presentar su pensamiento acerca de la situación problema y de un modelo de sistema relevante para ese pensamiento.

**Situación del problema:** una sociedad coral local de Calgary tiene siempre dificultad en los nombramientos de sus oficiales y comité, y para conseguir la participación de la gente en trabajos corales relacionados. Esta sociedad debe ejecutar un número de tareas no corales para su desarrollo. ¿Cómo podía esta dificultad ser dirigida y ser examinada?

**Requisito 1:** utilizar una visión enriquecida para dirigir la etapa «expresar la situación problema» [«Problem Situation Expressed»] en SSM para esta situación problema.

**Requisito 2:** formular una «Definición Raíz» [«Root Definition»] para esta situación problema.

**Requisito 3:** hacer un análisis de CATWOE. Este modelo se explica ampliamente en la página 135 de la Tesis Doctoral de la Doctora Carmelina Cadenas en su Definición Raíz.

**Requisito 4:** producir con base en la Definición Raíz. Tome como ejemplo las actividades: identificar necesidades de la comunidad local, atraer miembros, conseguir fondos para la coral y promover presentaciones de la coral, cuáles se pueden desarrollar para construir la situación problema.

**Requisito 5:** utilizar el método de comparación de la «visualización tabular» [«Tabular Display»] para realizar la comparación entre el mundo verdadero y el mundo intelectual.

## Ejercicio de niveles y tasas

---

1. El dueño de una casa invierte parte de su tiempo en la reparación de su propiedad para mantener sus condiciones físicas, ¿cuál es la variable de nivel en el lazo de retroalimentación que envuelve su decisión?, ¿cuál es la tasa variable?

-
-

2. La gente duerme parte del día para controlar la degradación de su vitalidad (incremento de su debilidad), ¿cuál es la decisión (tasa) en el lazo de retroalimentación que controla las decisiones de la gente?, ¿cuál es el nivel asociado?


3. Un ejecutivo compra más equipo de manufactura cuando la lista de órdenes sin satisfacer se eleva demasiado, ¿cuál es la variable de nivel que existe en este lazo de retroalimentación?

--

4. En el sistema del ejemplo precedente, ¿cuáles decisiones (o tasas) están involucradas?

--

5. De acuerdo con lo establecido en el ejemplo 3, ¿de qué nivel depende la rata de compra de equipo?

--

6. En el mismo ejemplo 3, ¿de qué nivel depende la tasa de producción?

7. Suponga que la tasa de gastos en publicidad depende de la lista de órdenes no satisfechas y de las condiciones financieras (digamos para simplificar, del balance bancario) de la compañía. La tasa de publicidad cambia la actitud de los clientes hacia el producto; la actitud del cliente influye sobre las órdenes; la lista de órdenes no satisfechas controla los embarques; los embarques incrementan las cuentas por cobrar; las cuentas por cobrar controlan el flujo de efectivo en el balance de bancos; el balance bancario se disminuye por la cancelación de las cuentas por pagar originadas en las obligaciones derivadas de la tasa de gastos de manufactura y de la tasa de publicidad; en este sistema descrito hasta aquí, ¿cuáles niveles se han mencionado?

8. En el ejemplo anterior, ¿cuáles tasas causan cambios en las cuentas por pagar?

9. En el ejemplo 7, ¿de cuál nivel depende la tasa de órdenes?

10. En el ejemplo 7, ¿cuáles tasas causan cambios en el nivel del balance bancario?

11. Como se estableció en el ejemplo 7, ¿hay alguna tasa de flujo que dependa de otra tasa de flujo?, ¿el valor actual de cualquier nivel depende directamente del valor actual de cualquier otro nivel?

12. En el ejemplo 7 considere el camino desde la tasa de publicidad a la tasa de ordenar, a la lista de órdenes por satisfacer, a las cuentas por cobrar y a la tasa de publicidad. Reinicie este camino en el lazo de retroalimentación identificando todos los niveles y tasas en forma alterna, y subrayando los niveles.

## Referencias

- Ackoff, R. (2004). *El paradigma de Ackoff*. México DF, México: Limusa.
- Aracil, J., y Gordillo, F. (1997) *Dinámica de sistemas*. Madrid, España: Editorial Alianza Universidad Textos.
- Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamic. *System Dynamics Review*, 12(3), 183-210. Recuperado de [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/\(SICI\)1099-1727\(199623\)12:3%3C183::AID-SDR103%3E3.0.CO;2-4](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/(SICI)1099-1727(199623)12:3%3C183::AID-SDR103%3E3.0.CO;2-4)
- Bertalanffy, L. W. (1968). *Teoría general de los sistemas*. México DF, México: Fondo de Cultura Económica.
- Chang, Y., y Makatsoris, H. (2001). Supply chain modeling using simulation. *International Journal of Simulation*, 2(1), 24-30.
- Checkland, Peter. (1981). *Pensamiento de Sistemas, práctica de Sistemas*. Londres, Reino Unido: John Wiley and Sons.
- Checkland, P. Aholes, J. (1994). *La metodología de los sistemas suaves en acción*. México DF, México: Limusa.
- Coyle, R.G. (1997). System Dynamics Modelling: A Practical Approach. *Journal of the Operational Research Society*, 48, 541-545. Recuperado de <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1057/palgrave.jors.2600682?journalCode=tjor20>
- Forrester, J. (1961). *Industrial dynamics*. Cambridge, USA: Wright-Allen Press.
- Geoffrey G. (1980). *Simulación de sistemas*. México DF, México: Editorial Diana.
- Guasch, A., Piera, M., y Figueras, J. (2003). *Modelado y simulación: aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios*. Barcelona, España: UPC.

- Jain, S., Workman, R. W., Collins, L. M., y Ervin, E. C. (2001). Development of a high-level supply chain simulation model. *Simulation Conference, 2001 Proceedings of the Winter*, 2(2), 1129-1137.
- Macaulay, A. (1996). *Ingeniería de Requerimientos*. Londres, Reino Unido: Springer.
- Martín, J. (2003). *Teoría y ejercicios prácticos de dinámica de sistemas*. Madrid, España: Independently Published.
- Meadows, D., Meadows, D., y Randers, J. (1992). *Más allá de los límites del crecimiento*. Madrid, España: El País.
- Mentzer, J., Dewitt, W., Keebler, J., Min, S., Nix, N., Smith, C., et al. (2001). Defining supply chain management. *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1.
- Minegishi, S., y Thiel, D. (2000). System dynamics modeling and simulation of a particular food supply chain. *Simulation Practice and Theory*, 8(5), 321-339.
- Nonino, F., y Panizzolo, R. (2007). Integrated production/distribution planning in the supply chain: The Febal case study. *Supply Chain Management*, 12(2), 150.
- Rico, J. (1992). *Manual de modelos probabilísticos para la toma de decisiones*. Maturín, Venezuela: Universidad de Oriente.
- Senge, P. (1992). *La quinta disciplina*. Madrid, España: Juan Granica.
- Torcat, O. (2011). *Caracterización de las teorías administrativas desde la perspectiva de la conceptualización de los elementos organizacionales*. Ciudad Guayana, Venezuela: Universidad de Guayana.
- Trkman, P., Stemberger, M. I., Jaklic, J., y Groznik, A. (2007). Process approach to supply chain integration. *Supply Chain Management*, 12(2), 116.
- Vieira, G. E. (diciembre de 2004). Ideas for modeling and simulation of supply chains with arena. Actas de la Conferencia de Simulación de invierno de 2004. *Conferencias de Simulación IEEE*. Washington DC, EE. UU.

- Wilson, B. (1990). *Sistemas: metodologías conceptos*. Nueva York, USA: John Wiley & Sons.
- Senge, P., Kleiner, A., Roberts, C. y Ross, R. (1995). *La quinta disciplina en la práctica*. Barcelona, España: Granica.
- Germán Andrés Méndez Giraldo (2016). *Dinámica y pensamiento sistémico*. Bogotá, Colombia: Editorial UD, Universidad Distrital Francisco José de Caldas.





E-ISBN: 978-958-5142-10-7