PROBLEMAS DE ESTIMACION Y VALIDACION DE MODELOS DE DINAMICA DE SISTEMAS BAJO CONSIDERACIONES DE INCERTIDUMBRE.

FRANCISCO JAVIER DIAZ SERNA

Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Magister en Ingeniería de Sistemas

Director: ISAAC DYNER R.

M. Sc. Profesor Titular

MEDELLIN

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
Seccional Medellín

FACULTAL NACIONAL DE MINAS

1993

REGISTRO DE CALIFICACIONES ESPECIALES

SEM 01 AÑO 93

DEPARTAMENTO DE: SISTEMAS Y ADMINISTRACION

PROFESOR: FERNANDO ARANGO ISAZA

ASIGNATURA: TESIS

CODIGO	GRUPO

SS-798

- [ ] HABILITACION
- [ ] VALIDACION
- [ ] SUPLETORIOS
- [ ] CORRECCION

CARNE	APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS DEL ESTUDIANTE	%	%	DEFINITIVA
9006522	DIAZ SERNA FRANCISCO JAVIER	APROBADA		
	"PROBLEMAS DE ESTIMACION Y VALIDACION DE			
	MODELOS DE DINAMICA DE SISTEMAS BAJO CONSI-			
	DERACIONES DE INCERTIDUBRE".			

OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD NACIONAL FACULTAD DE MINAS POSGRADO EN SISTEMAS DIRECTOR

Fernando Arango I

FIRMA DEL PROFESOR

Vo.Bo

DIRECTOR DE DEPARTAMENTO

85
993

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

FACULTAD DE MINAS

CONSEJO DIRECTIVO

RESOLUCIÓN 077

Acta 1676, 22 de junio de 1993

"Por medio de la cual se concede la mención MERITORIO a una tesis de posgrado"

EL CONSEJO DIRECTIVO DE LA FACULTAD DE MINAS
en uso de sus atribuciones legales, y

CONSIDERANDO :

Que el estudiante del posgrado en Ingeniería de Sistemas, Francisco Javier Díaz Serna, elaboró su tesis: "Problemas de estimación y validación de modelos de dinámica de sistemas bajo consideraciones de incertidumbre".

Que los jurados solicitaron al Consejo Directivo de la Facultad, el otorgamiento de la mención MERITORIA a la tesis de posgrado, basados en los siguientes criterios:

El trabajo sobrepasa los objetivos propuestos, planteando alternativas metodológicas de interés para la comunidad científica especializada en la dinámica de sistemas.

Presenta una nueva metodología para la construcción y estimación de parámetros y la validación de modelos, que abre el camino a un enfoque estructurado de solución de problemas utilizando la dinámica de sistemas

La metodología propuesta para la evaluación de la incertidumbre en los parámetros contribuye al mejoramiento estructural y temporal de los modelos de la dinámica de sistemas.

El documento, cuidadosamente elaborado, presenta el tema con claridad y madurez, constituyendo un invaluable material de consulta para los especialistas.

Que el consejo Directivo después de analizar le tesis de posgrado en cuestión, ha decidido concederle la mención soliucitada.

24990

R E S U E L V E :

Artículo 1o. Conceder la mención de MERITORIA a la tesis de posgrado en Ingeniería de Sistemas: "Problemas de estimación y validación de modelos de dinámica de sistemas bajo consideraciones de incertidumbre", elaborada por el estudiante **Francisco Javier Díaz Serna**, bajo la dirección del docente Isaac Dyner R.

Artículo 2o. Entregar copia de esta resolución al docente Isaac Dyner R., Director de la Tesis de Posgrado.

Artículo 3o. Entregar copia de esta resolución al estudiante de Posgrado en Ingeniería de Sistemas Francisco Javier Díaz Serna, en la ceremonia de grado durante la cual se dará lectura al contenido de la misma.

Artículo 4o. La presente resolución rige a partir de la fecha de su expedición.

Dada en Medellín, a los veintidós días del mes de junio de mil novecientos noventa y tres.

FACULTAD NACIONAL DE MINAS

GONZALO JIMENEZ CALAD
Presidente

ANIBAL ARBELAEZ JARAMILLO
Secretario Académico

A mis seres queridos.

Especialmente a mi madre.

RESUMEN

La Dinámica de Sistemas es una metodología de modelamiento para la simulación de sistemas dinámicos. Como procedimiento alternativo frente a otras escuelas de modelamiento, se constituye en un paradigma de simulación continua para la planificación y el control de sistemas complejos, donde se hace énfasis no en la búsqueda de soluciones óptimas sino en el proceso de construcción de modelos útiles para el entendimiento del sistema y para la formulación de políticas efectivas en su mejoramiento.

El propósito de este trabajo es presentar una propuesta metodológica adecuada para la formulación de modelos de dinámica de sistemas que incluyan la estimación dinámica de parámetros, la validación prospectiva del modelo y que, además, incorporen de manera apropiada la componente de incertidumbre y el riesgo institucional inherente en situaciones de grandes inestabilidades causadas por la variabilidad en las condiciones de un entorno, generalmente dinámico e incierto.

El interés de la propuesta es fundamentalmente metodológico. Se presentan guías prácticas para el poceso de modelamiento tratando de recoger algunas bases conceptuales implícitas en la metodología de la dinámica de sistemas, se avanza en su discusión teórica y se hacen algunos aportes los cuales presentan implicaciones teóricas en cuanto a la concepción y formulación de los modelos e implicaciones prácticas referentes a la aplicación de tales modelos en los procesos de planificación y control.

La propuesta metodológica se basa en un acercamiento recursivo donde a través de todo el proceso de modelamiento se va obteniendo una aproximación mejorada en la construcción de un modelo confiable y útil para los propósitos perseguidos. Cuando se dispone de un modelo confiable por ser capaz de reproducir el comportamiento histórico -o hipotético- del sistema, se recomienda la formulación de un modelo intervenido, el cual debe ser útil para efectos de planificación y control.

Las técnicas de estimación propuestas incluyen características dinámicas, prospectivas, cualitativas, de flexibilidad y de control que estimulan la indagación sobre información adicional para los parámetros.

Finalmente, se presenta como caso de estudio un modelo de apoyo para la formulación de estrategias institucionales, el cual fué aplicado a la Universidad Nacional de Colombia pero elaborado -de manera general- en el contexto de una institución operando bajo condiciones similares: una estructura de sistemas altamente centralizados pero con pobre integración institucional y pobres herramientas de tecnología de la información.

TABLA DE CONTENIDO

pág.

1. INTRODUCCION 1

2. REVISION BIBLIOGRAFICA 11

2.1 EL PROBLEMA FILOSOFICO 11

2.2 GENERALIDADES DE LA DINAMICA DE SISTEMAS 26

2.3 ALGUNAS APLICACIONES DE LA DINAMICA DE SISTEMAS ..44

2.4 ASPECTOS METODOLOGICOS 53

2.5 ANALISIS DE LA PROBLEMATICA 74

3. MARCO TEORICO 80

3.1 LA ESTIMACION DE PARAMETROS 85

3.2 LA VALIDACION DEL MODELO 88

3.3 EL ANALISIS DE SENSIBILIDAD 94

3.4 LA INCERTIDUMBRE 98

4. PROPUESTA METODOLOGICA 105

4.1 EL MODELO SIMPLIFICADO 107

4.1.1 El modo de referencia 107
4.1.2 Los mecanísmos básicos 109
4.1.3 La hipótesis dinámica 110
4.1.4 Estimación preliminar 111
4.1.5 Evaluación preliminar 113

4.2 EL MODELO MEJORADO 115

4.3 EL MODELO INTERVENIDO 117

4.3.1 Planeamiento del sistema 117
4.3.2 Intervención sobre el modelo 118
4.3.3 Simulación del modelo 119
4.3.4 Análisis de resultados y evaluación de política122
4.3.5 Implantación del modelo 122
4.3.6 Realimentación y control 123

4.4 ESPECIFICACION ESTRUCTURAL DEL MODELO.
El Diagrama Causal 124

4.5 ANALISIS DE SENSIBILIDAD 127

4.6 ESTIMACION DE PARAMETROS 132

4.6.1 Estimación dinámica de parámetros 133
4.6.2 Estimación prospectiva: Parámetros como
funciones de otras variables 137
4.6.3 Estimación controlable: Parámetros como
funciones de planeación y control 138
4.6.4 Estimación flexible: Objetivos endógenos
como funciones de la realización del sistema.139
4.6.5 Estimación cualitativa 142

4.7 VALIDACION DEL MODELO 145

4.8 LA INCERTIDUMBRE 150

5. CASO DE ESTUDIO: UN MODELO DE APOYO PARA LA
FORMULACION DE ESTRATEGIAS INSTITUCIONALES 156

5.0 INTRODUCCION 156

5.1 SELECCION DE ESTRATEGIAS INSTITUCIONALES 158

5.2 EL MODELO INICIAL: "A MODEL FOR MANAGEMENT MODERNIZATION AND INSTITUTIONAL IMPROVEMENT" 161

5.3 PROPOSITOS DEL MODELO 162

5.4 EL MODELO MEJORADO 164

5.5 ESPECIFICACION ESTRUCTURAL 169

5.6 DEFINICION DE VARIABLES Y ECUACIONES 172

5.6.1 Módulo I: Ciclo de Descentralización 172
5.6.2 Módulo II: El ciclo Liderazgo-Proyectos 176
5.6.3 Módulo III: El ciclo Recursos 180
5.6.4 Módulo IV: El ciclo Sistemas de Información....181
5.6.5 Módulo V: Resistencia al Cambio 182
5.6.6 Módulo VI: Capacitación 182
5.6.7 Módulo VII: Planificación 182
5.6.8 Cálculo del Indice de Tendencia 183

5.7 ANALISIS ESTRUCTURAL: EL DIAGRAMA CAUSAL 184

5.7.1 Los Ciclos de Liderazgo 184
5.7.2 Los Ciclos de Descentralización 185
5.7.1 Otros Ciclos de Realimentación 186

5.8 ANALISIS DE SENSIBILIDAD 187

5.8.1 El Liderazgo 187
5.8.2 La Capacitación 188
5.8.3 La Descentralización 188
5.8.4 La Resistencia al Cambio 189
5.8.5 Los Sistemas de Información 189

5.9 ESCENARIO PLANIFICADO 189

5.9.1 El Liderazgo 189
5.9.2 La Capacitación 191
5.9.3 La Descentralización 192

5.10 ANALISIS DE RESULTADOS 193

5.10.1 El Escenario Básico 193
5.10.2 Escenario Planificado 197
5.10.3 Escenario Optimista Moderado 197
5.10.4 Escenario Optimista 201
5.10.5 Escenario Básico sin Recursos Adicionales por Liderazgo 203
5.10.6 La Componente de Incertidumbre 205

5.11 APLICACION DE LA PROPUESTA METODOLOGICA AL CASO DE ESTUDIO 210

6. CONCLUSIONES 216

ANEXO. ECUACIONES DEL MODELO PARA LA FORMULACION DE ESTRATEGIAS INSTITUCIONALES 226

BIBLIOGRAFIA 233

LISTA DE FIGURAS

Pág.

FIGURA 2.1 Marco de trabajo conceptual para entender la influencia de paradigmas alternativos ..30

FIGURA 4.1 El procedimiento recomendado 108

FIGURA 4.2 Realización vs. Objetivos de sistema 141

FIGURA 4.3 La utilidad del modelo 150

FIGURA 5.1 Diagrama causal: Modernización administrativa y mejoramiento institucional 163

FIGURA 5.2 Diagrama causal: Un modelo de apoyo para la formulación de estrategias institucionales171

FIGURA 5.3 Escenario Básico 194

FIGURA 5.4 Escenario Planificado 198

FIGURA 5.5 Escenario Optimista Moderado 199

FIGURA 5.6 Escenario Optimista 202

FIGURA 5.7 Escenario Básico sin recursos adicionales por liderazgo 204

FIGURA 5.8 Escenario Básico Determinista 206

FIGURA 5.9 Escenario Básico, semilla 4051.E+3 208

FIGURA 5.10 Escenario Básico, semilla 8246.E+3 209

FIGURA 5.11 Escenario Básico, semilla 8433.E+3 211

1. INTRODUCCION

"Las teorías son redes que lanzamos para apresar aquello que llamamos 'el mundo': para racionalizarlo, explicarlo, y dominarlo. Y tratamos de que la malla sea cada vez más fina" (1).

La cultura occidental está inmersa en la concepción de un mundo manejable en el cual los problemas deben ser activamente resueltos y no pasivamente soportados. Se realizan grandes esfuerzos para dirigir la evolución de los procesos sociales y económicos; se cree que el futuro puede y debe ser diseñado por decisiones y acciones basadas en el entendimiento científico, el cual es un intento racional y lógico de comprensión de las causas, y posiblemente su alteración, mediante la medición cuidadosa y/o la experimentación ingeniosa.

La planificación de sistemas es una tarea requerida por los gobiernos, las industrias, el comercio, las empresas y organizaciones de todo tipo para enfrentar los retos que representa un entorno generalmente dinámico e incierto.

---

1 Popper, Karl. La lógica de la investigación científica. p. 57

En el estudio de las instituciones es común la utilización de representaciones o modelos de diversa naturaleza desde los verbales o mentales hasta los ideales o matemáticos.

Para efectos de planeación y control, el énfasis recae no tanto en la búsqueda de modelos óptimos como en la construcción de aquellos que puedan convertirse en herramientas útiles para el entendimiento del sistema y para la formulación de políticas efectivas en su mejoramiento.

Los métodos de simulación son adecuados para problemas poco estructurados, cuando no existen criterios claros o explícitos de optimalidad y cuando la solución analítica no es simple. En estos casos se intenta más la búsqueda de representaciones apropiadas para el funcionamiento del sistema que el hallazgo de la solución óptima. Los modelos de simulación se han convertido en un poderoso instrumento de análisis, especialmente en el proceso de toma de decisiones donde es fundamental el conocimiento de las posibles alternativas y sus consecuencias más probables.

El proceso de modelamiento exige que las suposiciones y la lógica sean hechas explícitas de tal manera que queden abiertas al debate; la simulación infaliblemente producirá el comportamiento implicado por tales suposiciones. Este proceso requiere de gran capacidad de espíritu crítico y cierta imaginación. Aracil (1986), expresa que está presidido, en gran parte, por la experiencia, la intuición, la inspiración e incluso la suerte.

Bajo las diferentes escuelas metodológicas de modelamiento subyacen algunos conceptos comunes pero, además, cada una tiene sus propios conjuntos específicos de teorías, técnicas matemáticas, lenguajes y procedimientos aceptados para construir y validar sus modelos.

Según el concepto de Paradigma de Kuhn, ante el mismo sistema, cada escuela puede definir diferentes problemas, seguir distintos procedimientos y usar diferentes criterios para evaluar sus resultados. Por tanto, cada modelador debe reconocer las suposiciones implícitas subyacentes bajo su propia metodología ya que éstas no son directamente observables, operan en el fundamento de

cada método y son parte del inconsciente más que del razonamiento consciente.

Los modelos estadísticos y econométricos han jugado un papel importantísimo en la explicación de algunos fenómenos y en la elaboración de pronósticos de gran precisión y exactitud para el corto plazo produciendo resultados altamente confiables bajo condiciones de estabilidad del sistema.

Sin embargo, bajo condiciones de marcada inestabilidad, los futuros tendenciales podrán ser cada vez menos probables y por tanto será necesario planificar los escenarios deseados. De esta manera las herramientas clásicas deberán cuando más ser utilizadas para la construcción de escenarios tendenciales pero estableciendo claramente que pueden ser los menos probables por cuanto los modelos, generalmente, no recogen espirales de realimentación y efectos sinergéticos como producto de la combinación de variables.

Las pruebas estadísticas no pueden automáticamente determinar la validez de un modelo aunque suelen proveer información útil para juzgar y comunicar su utilidad. El

reto es diseñar nuevos indicadores que posibiliten el logro de estos propósitos incorporando otros tipos de información.

La dinámica de sistemas puede ser considerada como una metodología apropiada para la simulación de problemas del mundo real, pretende comprender y atacar las causas -no sólo los síntomas- de una situación problemática, incorpora fuertes y fecundas raíces filosóficas y metodológicas basadas especialmente en las relaciones causales con efectos de realimentación utilizando el enfoque sistémico.

Esta nueva disciplina para el estudio de sistemas dinámicos fué originada en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (Cambridge U.S.A.) a partir de los trabajos del profesor Jay W. Forrester autor, entre otros, de "Industrial Dynamics", "Urban Dynamics" y "World Dynamics" publicados en 1961, 1969 y 1972 respectivamente. Esta última publicación sirvió de base para el libro "Los límites del crecimiento" el cual condujo a la popularización de la dinámica de sistemas a causa de las polémicas surgidas por sus hallazgos más significativos, los cuales han sido confirmados en

posteriores publicaciones del Club de Roma tales como "Mas allá de los límites del crecimiento".

La comunidad académica de esta disciplina se ha consolidado. Actualmente dispone de su propia revista, programa cada año la Conferencia Internacional de Dinámica de Sistemas publicando los trabajos allí presentados y ha irradiado su campo de acción a varios paises del mundo.

Esta metodología de modelamiento es considerada como una herramienta adecuada para la planificación de sistemas. Trata de anticipar posibles comportamientos ante cambios introducidos en sus condiciones corrientes y permite dar respuestas a preguntas del tipo: Qué pasaría si... tales circunstancias se presentan?, para lo cual facilita la construcción de escenarios que incluyan variaciones tanto en las condiciones actuales como en las políticas y los mecanismos de toma de decisiones.

En la búsqueda de una mayor solidez para la metodología de dinámica de sistemas no debería descartarse la incorporación, entre otros, de herramientas matemáticas y/o estadísticas apropiadas. Algunos de sus practicantes empiezan a sentir la necesidad de utilizar tales